

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL  
ACERO D3 SOMETIDO A TRATAMIENTOS TÉRMICOS  
CONVENCIONALES Y UN TRATAMIENTO CRIOGÉNICO  
ADICIONAL”**

**Tesis presentada por los Bachilleres:**

**DANIEL AGURTO RIVERA**

**ROMÁN REINALDO PORTILLA FUENTES**

Para Optar el Título Profesional de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

**AREQUIPA - PERÚ  
2014**

## DEDICATORIA

A Dios por darme sabiduría y constancia.

A mi madre Lili por su sacrificio y apoyo constante en mi formación.

A mi adorada Juanita quien quiero y aprecio bastante, supo apoyarme en los momentos más difíciles de mi carrera.

A todos los Ingenieros q me formaron, ayudaron y aconsejaron para mi vida profesional.

Gracias a su formación, cumpliré mis metas.

**Daniel Agurto Rivera**

A mi abuela, por estar siempre en los momentos mas importantes de mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento.

Esta tesis es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre has sido una persona honesta, entregada a tu familia y una gran líder, pero más que todo eso... una gran mujer que siempre pudo salir adelante y triunfar.

A mis queridos padres y hermano quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han contribuido en mi con valores para poder desenvolverme como: hijo y gran profesional.

A mi novia Danya, por haberme apoyado en todo el desarrollo de mi tesis y juntos haber logrado el objetivo final.¡¡ gracias!!

**Reinaldo Portilla Fuentes**

## PRESENTACIÓN

En este trabajo de investigación se busca aumentar la vida útil de los materiales mediante procedimientos térmicos y criogénicos utilizando el método del ensayo de Impacto Charpy que nos ayudara a medir la resiliencia de los materiales.



## RESUMEN

Es común en ingeniería mecánica utilizar aceros de herramientas en condiciones de servicio diversas. En este análisis se estudian los efectos producidos al aplicarle a los aceros de herramienta, altamente aleados de trabajo en frío, un tratamiento criogénico adicional al tratamiento clásico de temple y revenido.

El fin de dicho estudio es predecir si el tratamiento criogénico produciría un aumento de la vida útil en las herramientas fabricadas. Los resultados obtenidos por este acero se contrastan con los obtenidos al realizar los mismos tratamientos criogénicos a un acero, el WNr. 1.2080 (AISI D3).

Para el desarrollo del trabajo de investigación se han identificado las siguientes áreas.

1. Obtención del material WNr. 1.2080 (AISI D3) y fabricación de las probetas.
2. Obtención, estudio y pruebas de dureza, tenacidad y resiliencia de las probetas.
3. Parte experimental.

Los cambios producidos en este acero al variar los distintos parámetros que componen los ciclos de temple, tratamiento criogénico y revenido realizados en su tratamiento térmico, son evaluados a través de las propiedades mecánicas que tienen una mayor incidencia en el rendimiento de las herramientas a las que van destinados estos materiales, es decir: dureza, tenacidad y resiliencia

La caracterización de la dureza se determina a salida de temple, después del tratamiento criogénico así como al final del ciclo térmico completo, mientras que los estudios de la tenacidad y la resiliencia de los materiales, con y sin tratamiento criogénico, se efectúan a partir de la resiliencia obtenida en el ensayo Charpy

Al realizar los mismos tratamientos al WNr. 1.2080 (AISI D3), se obtiene una notable mejora tanto en la dureza como en la resiliencia (magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada).



## ABSTRACT

It is common in mechanical engineering tool steels used in various operating conditions. This analysis examines the effects produced by applying the tool steels, high alloyed cold work, additional cryogenic treatment to conventional treatment hardening and tempering.

The purpose of this study is to predict if the cryogenic treatment would produce an increase in the useful life of the tools manufactured. The results obtained by this steel are compared with those obtained by performing the same cryogenic treatment to steel, WNr. 1.2080 (AISI D3).

For the development of the research work has identified the following areas.

Getting WNr material. 1.2080 (AISI D3) and manufacture of the specimens.

Collection, study and testing of hardness, toughness and resilience of the specimens.

Experimental Part.

Changes in this steel by varying the different parameters that make tempering cycles, cryogenic treatment and tempering heat treatment made are evaluated through the mechanical properties that have a greater impact on the performance of the tools that these materials are intended, ie, hardness, toughness and resilience

The characterization of the output is determined hardness tempering after the cryogenic treatment and at the end of the whole thermal cycle, while studies of the tenacity and resilience of the materials, with and without cryogenic treatment was performed after resilience obtained in Charpy test

When making the same treatments WNr. 1.2080 (AISI D3), one obtains a remarkable improvement in both hardness and resilience (magnitude which quantifies the amount of energy per unit volume that stores a material to be elastically deformed due to an applied voltage).

## INTRODUCCIÓN

Los aceros de herramienta de trabajo en frío son utilizados en procesos de corte u operaciones de conformado en frío. La correcta selección de un acero en concreto, entre esta familia de materiales, se basa principalmente en encontrar la óptima relación entre la tenacidad, la resistencia al desgaste y la dureza ofrecida por el material.

En los últimos años una gran variedad de aceros han sido desarrollados para mejorar las prestaciones que ya ofrecían los grados tradicionales. Pero, debido a que cada día son mayores las exigencias del mercado, es necesario además, optimizar la relación temperatura - tiempo de los tratamientos térmicos y cuantificar la mejora que podrían tener sobre las propiedades del material la aplicación de tratamientos adicionales al tratamiento clásico para aumentar así la vida útil de las herramientas.

## ÍNDICE

### Contenido

DEDICATORIA.....	ii
PRESENTACIÓN.....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	viii

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1. PROCEDIMIENTO TEÓRICO.....	1
1.1.1. Título de la Tesis.....	1
1.1.2. Descripción.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. Objetivos Generales.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	2
1.3.1. Alcances.....	2
1.3.2. Limitaciones.....	3

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. ACEROS DE HERRAMIENTA.....	4
2.2. ACEROS DE HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRÍO .....	4
2.3. PROCESOS DE OBTENCIÓN.....	5
2.4. APLICACIONES.....	7
2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO.....	7
2.6. MICROESTRUCTURA.....	10
2.7. Constituyentes más Importantes de los Aceros.....	12
2.8. TRATAMIENTOS TÉRMICOS .....	17
2.9. TRATAMIENTO CLÁSICO: TEMPLE Y REVENIDO.....	19
2.9.1 Temple .....	19

2.9.2. Precalentamiento .....	19
2.9.3. Austenización .....	20
2.9.4. Enfriamiento .....	21
2.9.5. Revenido .....	24
2.10. TRATAMIENTO CRIOGÉNICO .....	26
2.10.1. Marco Histórico .....	27
2.10.2. Aplicaciones .....	28
2.10.3. Equipamiento para los tratamientos criogénicos .....	29
2.10.4. MATERIAL USADO PARA EL TRATAMIENTO CRIOGENICO: .....	29
2.11. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA .....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

3.1. MATERIALES .....	44
3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	46
3.2.1. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL .....	46
3.2.2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS REALIZADOS .....	49

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

4.1. ANÁLISIS METALOGRAFICO .....	66
4.2. ENSAYO DE DUREZA .....	72
4.3 REPORTE ENSAYO CHARPY .....	76
CONCLUSIONES .....	79
BIBLIOGRAFÍA .....	80
ANEXOS .....	82

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. PROCEDIMIENTO TEÓRICO.

##### 1.1.1. Título de la Tesis.

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO D3 SOMETIDOS A TRATAMIENTOS TÉRMICOS CONVENCIONALES Y UN TRATAMIENTO CRIOGÉNICO ADICIONAL”

##### 1.1.2. Descripción.

Este procedimiento es de impacto mediante un Péndulo que permite medir la energía absorbida en el instante que fractura la probeta, a este proceso se le conoce como Resiliencia.

#### 1.2. OBJETIVOS.

##### 1.2.1. Objetivos Generales.

Evaluar las propiedades mecánicas y analizar los cambios micro estructurales del acero D3 mediante el ensayo de dureza y ensayo charpy, antes y después del Tratamiento Térmico de Temple y Tratamiento Criogénico.

### 1.2.2. Objetivos Específicos.

- Caracterizar la relación entre las propiedades fundamentales al cambiar la relación temperatura-tiempo en los ciclos de temple y revenido de un nuevo acero de trabajo en frío que surgió en los últimos años: AISI D3.
- Evaluar los cambios producidos al añadirles al tratamiento clásico un tratamiento criogénico adicional, comparando el efecto en las propiedades mecánicas el cambio de medio de temple, temperaturas, velocidades de calentamiento y enfriamiento del ciclo criogénico.
- Cuantificar los resultados obtenidos al aplicarle los mismos tratamientos criogénicos a un material de referencia (WNR1.2080 AISI D3) ya estudiado por varios investigadores.

## 1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.3.1. Alcances

Este procedimiento permite obtener medidas de la resistencia al impacto de las muestras después de ser sometidas a un tratamiento térmico. Este método puede ser usado para propósitos de rutina o inspección, también evalúa el efecto de las variables del tratamiento térmico, materia prima y condiciones de procesamiento que ejercen sobre la resistencia al impacto.

- **Procedimiento método Charpy:** Este procedimiento es de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos donde el péndulo cae sobre el dorso de la probeta y la parte. La diferencia entre la altura inicial del

péndulo ( $h$ ) y la final tras el impacto ( $h'$ ), permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta. En estricto rigor se mide la energía absorbida en el área debajo de la curva de carga, desplazamiento que se le conoce como resiliencia.

### 1.3.2. Limitaciones

- No se debe de calentar la probeta a más de los 1300 °C por que sufriría cambios físicos de deformación.
- Las evaluaciones a realizar al acero D3 serán puntuales, debido a que es un acero no comercial y esto dificulta el abastecimiento en el mercado local.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ACEROS DE HERRAMIENTA

Los aceros de herramienta son principalmente un subgrupo de los aceros aleados, siendo estos materiales los utilizados en la fabricación de herramientas, entendiéndose como herramienta el utillaje utilizado por la industria.

Esta familia de aceros puede clasificarse de distinta forma dependiendo de la característica escogida. Si ésta es el porcentaje de elementos de aleación, se dividen en: aceros de alta, media o baja aleación. Si en cambio, uno se refiere a la aplicación que se les dará, se hablará de: aceros de trabajo en frío, aceros resistentes al choque, aceros rápidos, aceros de trabajo en caliente o aceros para moldes de plástico. Si por el contrario, se clasifican según el mercado y aplicaciones a las que va destinado se clasifican en: aceros de composición estándar y aceros de composición especial. Los aceros del primer grupo son fabricados en una amplia gama de medidas y existe una nomenclatura para referirse a ellos. Por su parte, los del segundo grupo son destinados a aplicaciones específicas, vendidos en una reducida gama de medidas y conocidos por el nombre que una determinada acería ha comercializado.

#### 2.2. ACEROS DE HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRÍO

Bajo la denominación de aceros de trabajo en frío se pueden englobar: los aceros de herramienta al carbono, los aceros de choque y los aceros altos en carbono y en

elementos de aleación. Las principales características de esta familia de aceros son la elevada dureza, la elevada resistencia al desgaste y una moderada tenacidad.

Estos aceros poseen niveles muy controlados de S, O, H, P. En los aceros de trabajo en frío la composición química (%C y % elementos de aleación) suele ir ligada a la dureza y resistencia al desgaste que deban poseer en servicio. Así, la principal finalidad de adicionar elementos de aleación es la formación de carburos, aunque también estos elementos mejoren otras propiedades como puedan ser la resistencia a la corrosión.

Pero aumentar esta última propiedad no es su finalidad principal, como sí lo es en cambio para los aceros inoxidable (aunque algunos grados tengan mayor contenido en Cr que éstos).

La más significativa diferencia metalúrgica entre los aceros de herramienta y los aceros al carbono o aleados es su micro estructura, formada por martensita revenida con mayor o menor porcentaje de carburos de elementos de aleación.

Adicionalmente, estos aceros presentan también una mayor facilidad en la realización de los tratamientos térmicos (mayor templeabilidad y mínima deformación en el tratamiento) y una mayor dificultad a ser mecanizados que los aceros al carbono o aleados.

### **2.3. PROCESOS DE OBTENCIÓN**

El proceso convencional empieza por fundir el acero, previamente seleccionado, en un gran horno de arco eléctrico, seguido normalmente por una refinación y / o un refundido del lingote después de seccionarlo, (son usados ampliamente métodos

como el AOD: refinación sin vacío, por medio de argón-oxígeno, VAD: refinación en vacío con agitación continua de argón, VAR: refundido por arco bajo al vacío o ESR: refundido bajo escoria electroconductora). Una vez refinado, el metal fundido es vertido del horno a un caldero para, posteriormente, ser vaciado a lingoteras para obtener los lingotes.

A pesar de que el acero es muy homogéneo en estado fundido, al solidificarse los elementos de aleación se segregan, resultando en una estructura heterogénea. En aceros con elevado porcentaje en carbono y elementos de aleación, los carburos se precipitan desde la fundición y se forman en cadenas intergranulares burdas. Procesos subsecuentes de forjado y laminación son necesarios para romper y refinar la micro estructura.

El proceso pulvimetalúrgico también comienza con la fusión de la chatarra en un horno de arco eléctrico o de inducción, pero en vez de ser vaciado en lingoteras, el metal fundido pasa a través de una boquilla donde un gas a alta presión hace estallar el chorro de metal, formando pequeñas partículas relativamente esféricas que solidifican rápidamente para, posteriormente, ser acumuladas en forma de polvo. Las partículas así formadas, a diferencia del proceso convencional, no tienen segregaciones y los carburos presentes son extraordinariamente finos, tamaño que se mantendrá en el producto final gracias a la elevada velocidad de enfriamiento.

Una vez obtenido el polvo, éste es cribado y cargado en contenedores de acero que son evacuados y sellados para luego, por vía PIC (Prensado isostático en caliente), ser prensados isostáticamente en caliente a temperaturas cercanas a las de forja y

presiones de alrededor de los 200 MPa. Así se obtiene un compacto totalmente denso que después del proceso de laminación o forja tenga densidad aparente.

## 2.4. APLICACIONES

Los aceros de herramienta de trabajo en frío son usados principalmente en los procesos de conformado en frío (embutición, estampado, acuñado o doblado), procesos de corte, en insertos para moldes de plástico con cargas abrasivas, en punzones y matrices para prensar polvos (pulvimetalurgia) o en hileras para extruir en frío aceros o aleaciones ligeras.

## 2.5. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO.

Entre las principales propiedades mecánicas de los aceros mencionaremos algunas, tales como ductilidad, dureza, maquinabilidad, resistencia, resistencia al desgaste, templabilidad y tenacidad al impacto, entre otras.

- **Ductilidad:** Propiedad de los materiales a poder deformarse sin romperse.

Es una medida de grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. La ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual, %EL, es el porcentaje de deformación plástica.

$$\%EL = [(l_f - l_o) / l_o] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$l_f$  es la longitud en el momento de la fractura

$l_o$  es la longitud de prueba inicial.

El porcentaje de reducción de área % AR se define como

$$\%AR = [(A_o - A_f) / A_o] \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$A_o$  es el área de la sección inicial

$A_f$  es el área de la sección en el momento de la fractura

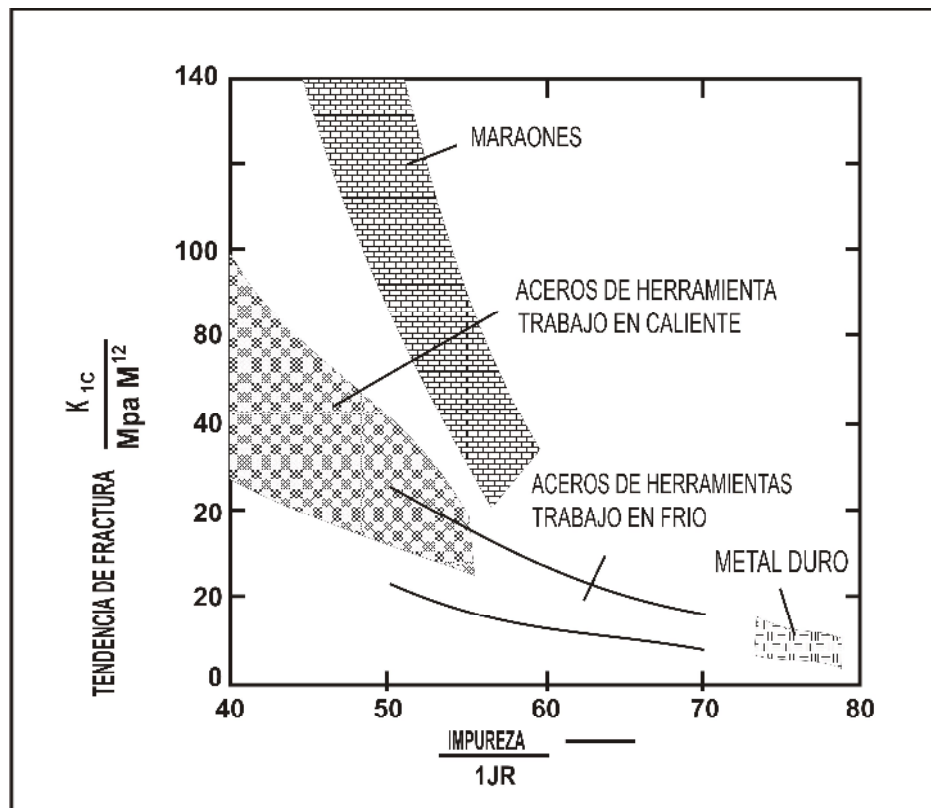
Los valores del porcentaje de reducción de área son independientes de  $A_o$  y  $l_o$ , y tanto  $l_f$  como  $A_f$  se miden después de la rotura, volviéndose a colocar juntas las dos piezas resultantes.

El conocimiento de la ductilidad de un material es muy importante, por ejemplo, indica al diseñador el grado en que una estructura podrá deformarse antes de producir la rotura.

A menudo se dice que los materiales relativamente dúctiles son “indulgentes”, en el sentido de que cualquier error en el cálculo de la tensión de diseño lo ponen de manifiesto deformándose antes de producirse la rotura

- **Dureza:** Resistencia que ofrece un acero a la deformación plástica al dejarse penetrar. Depende del porcentaje de carbono, tipo de carburos que constituyen al acero y micro estructura obtenida en el tratamiento térmico realizado. Al someterse al efecto de la temperatura, la dureza es la resistencia del material al ablandamiento. Cabe resaltar que el cobalto mejora el comportamiento de la matriz y además existen otros elementos formadores de carburos como el Cr, W, Mo y V que favorecen esta característica.

- **Maquinabilidad:** Facilidad de un material para permitir que se mecanice por arranque de viruta y para ser trabajado por corte. Los carburos aleados y las altas durezas dificultan la maquinabilidad.
- **Resistencia:** Capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse o deformarse permanentemente.
- **Resistencia al desgaste:** Resistencia que ofrece un material a deteriorarse cuando está en fricción con otro, resistencia a la pérdida de tolerancias dimensionales y la pérdida de filo. La presencia de carburos aleados mejoran la resistencia al desgaste.
- **Templabilidad:** La templabilidad es una medida de la profundidad a la cual un metal puede endurecerse por medio de procesos normales de tratamiento térmico. A mayor porcentaje de elementos aleantes, mayor es la templabilidad. La templabilidad es necesaria cuando se requieren propiedades homogéneas a lo largo de la sección transversal de la herramienta. El cobalto disminuye la templabilidad.
- **Tenacidad de impacto:** Capacidad que tiene un material a que no se produzcan fisuras o grietas, es la resistencia que opone a romperse (resistencia al impacto), capacidad de resistir a rotura por choque. Depende del porcentaje de carbono y del porcentaje y tipo de elemento de aleación, del tamaño y morfología de los carburos y del tratamiento térmico realizado.



Fuente : Kulmburg , A. jllmaier Tratamiento al vacio de herramientas

**Figura 2.1:** Dureza – Tenacidad para distintos tipos de aceros de herramientas.

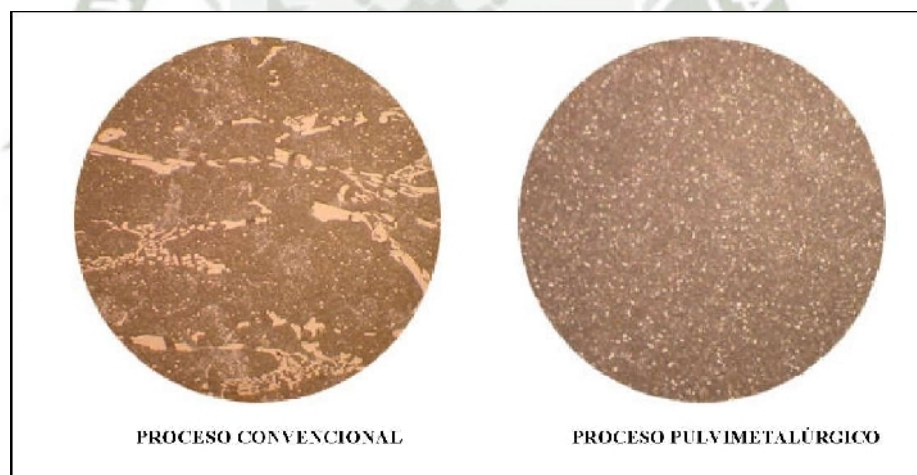
## 2.6. MICROESTRUCTURA

Los aceros de herramienta tienen una microestructura formada por martensita revenida con un mayor o menor porcentaje de carburos de elementos de aleación del grupo IV, V, VI de la tabla periódica. Son ampliamente utilizados el Cr, Mo, W y V aunque en los últimos años se está utilizando ampliamente otro elemento carburígeno como es el Nb en pequeños porcentajes.

El porcentaje de carburos presentes es principalmente función de su composición química. En cambio, la distribución, uniformidad, morfología y tamaño de los carburos depende principalmente del proceso de obtención como se puede apreciar en la figura 2.1.

Los aceros obtenidos por el proceso pulvimetalúrgico, presentan un tamaño de los carburos muy fino y redondeados debido a la rápida solidificación que ha tenido lugar y al pequeño tamaño de los carburos obtenidos en los polvos que posteriormente se sinterizaran vía PIC. También poseen una gran uniformidad y distribución de los carburos, reflejado en una gran isotropía en cuanto a la tenacidad obtenida, tanto en el sentido longitudinal como en el transversal a la dirección de laminación o forja.

En cambio, los aceros obtenidos por el proceso convencional, presentan un gran tamaño de los carburos y una marcada anisotropía, bandeamiento y segregación como consecuencia de la lenta solidificación que tuvo lugar en las lingoteras y los necesarios coeficientes de reducción desde el lingote de colada.



**Fuente :** Elaboración propia

**Figura 2.2:** Típicas microestructuras de los aceros de herramienta obtenidos por el proceso convencional y pulvimetalúrgico a 500X.

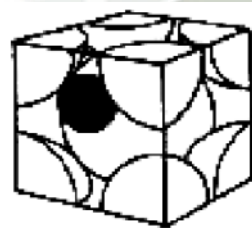
## 2.7. CONSTITUYENTES MÁS IMPORTANTES DE LOS ACEROS.

Entre los principales componentes de los aceros están la Ferrita, la Austenita, la Martensita y los Carburos.

- **Ferrita:**

Se le denomina hierro alfa debido a que cristaliza en el sistema cúbico y además es de material ferromagnético. Es una solución sólida intersticial de carbono en una red cúbica centrada en el cuerpo de hierro.

Un corte ilustrativo de la celda unitaria de la ferrita se indica en la figura 2.3, donde los átomos de hierro ocupan las esquinas y el centro del cubo. Esta red es conocida como cúbica centrada en el cuerpo. Los pocos átomos que acepta la ferrita encuentran colocación en los espacios que quedan entre las esferas de hierro. El átomo negro representa al carbono, el cual se ubica en los huecos más grandes que quedan entre los átomos de hierro. La ferrita acepta muy poco carbono en su interior.



**FERRITA**

**Figura 2.3:** Red cristalina cúbica centrada en el cuerpo de la fase ferrita del acero.

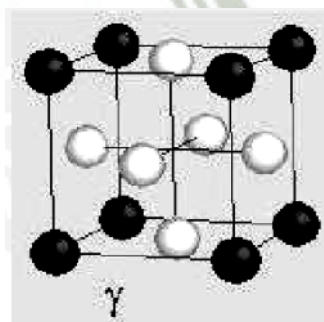
- **Austenita:**

Es dúctil. Según su contenido de carbono, presenta una dureza alrededor de los 300HB. Se auto endurece rápidamente durante el trabajo con impacto y posee buenas cualidades de resistencia a la abrasión por rayado.

Los átomos de hierro en la fase austenita asumen las posiciones en una red cristalina cúbica centrada en las caras, como se observa en la figura 2.4, los átomos de hierro se acomodan ocupando las esquinas y el centro de cada cara en una estructura cúbica. En este caso, los átomos de carbono caben en el centro de cada una de las aristas de los cubos. La austenita tiene una capacidad para aceptar mayor cantidad de carbono que la ferrita.



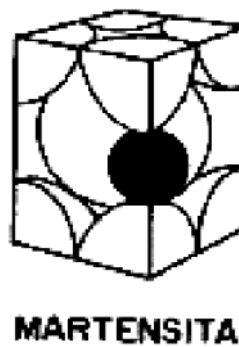
**Figura 2.4:** Red cristalina cúbica centrada en las caras de la fase austenita del acero.



**Figura 2.5:** Estructura de la austenita.

- **Martensita:**

Es el constituyente de los aceros templados, está conformado por una solución sólida sobresaturada de carbono y se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros desde su estado austenítico a altas temperaturas como se aprecia en la figura 2.6.



**Figura 2.6:** Red cristalina de la fase martensita del acero.

Es una fase meta estable de estructura tetragonal, obtenida por un enfriamiento brusco de una solución sólida intersticial y que se forma mediante un movimiento de cizalladura en la red. Al observar al microscopio pueden verse agujas o fibras rectilíneas aún más finas orientadas en direcciones paralelas. Dichas agujas aparecen sólo claramente cuando el porcentaje de carbono es alto siendo en otro caso la apariencia más parecida a hebras de paja amontonada. Si el enfriamiento es súbito, el carbono queda atrapado en el mismo sitio donde se encontraba en la austenita y al tratar de acomodarse los átomos de hierro en la red cristalina de la ferrita, el espacio del carbono se vuelve insuficiente. Esto produce una fase llamada martensita, con la red cristalina distorsionada. La martensita no es una fase de equilibrio, el carbono queda atrapado en una

posición donde no cabe en la red cúbica centrada en el cuerpo, produciéndose así una distorsión elástica. Es una fase muy dura y muy elástica. “Es la estructura más resistente a todos los tipos de condiciones suavemente abrasivas y algunos ambientes severamente abrasivos” (Extraído del Manual de Soldadura & Catálogo de Productos de EXSA S.A.). La martensita tiene alta dureza (entre 50 y 68 HRC) que aumenta debido al contenido de carbono en el acero.

El contenido de carbono en el acero suele variar desde muy poco carbono hasta el 1% de carbono, sus propiedades físicas varían con su contenido de carbono hasta un máximo de 0,7 %C.

- **Carburos:**

El porcentaje de carburos presentes es función principal de su composición química, mientras que la distribución, uniformidad, morfología y tamaño de los mismos dependen del proceso de obtención.

El endurecimiento secundario se produce en los aceros aleados por la precipitación de carburos distribuidos en toda la microestructura en el rango de 550 – 600° C generalmente.

La influencia de los carburos en la resistencia al desgaste de los aceros depende de la relación que exista entre la dureza del carburo y la de la matriz. Si la dureza del carburo es similar a la de la matriz, la resistencia al desgaste disminuirá debido a que el carburo actuará como un concentrador de tensiones.

Los elementos formadores de carburos más importantes son los siguientes:

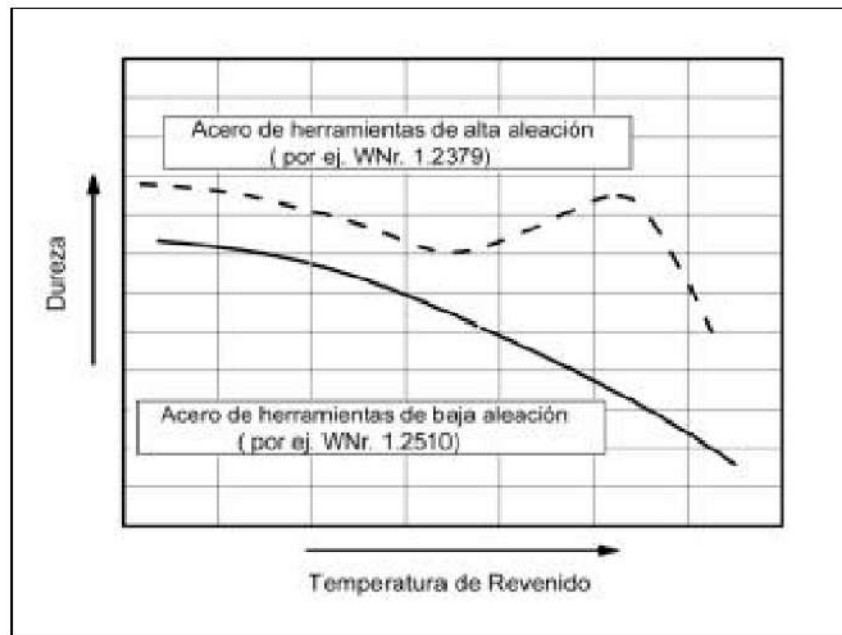
- **Cromo (Cr):** Se encuentra en los aceros en un rango de (0,2 – 30,0) %Cr. Formador de carburos de alta dureza y buena resistencia al desgaste. Cuando el contenido de cromo es mayor al 12%, hay un alto aumento de la resistencia a la corrosión. Mejora la templabilidad y comportamiento mecánica a altas temperaturas. Favorece al endurecimiento secundario.
  
- **Manganeso (Mn):** Se encuentra en los aceros en un rango de (0,25 – 19,00) %Mn. Formador de carburos (no es muy fuerte). Mejora la templabilidad. Cuando el contenido de manganeso es mayor al 11%, es un acero Hadfield, que se endurece por deformación y es usado en la minería.
  
- **Molibdeno (Mo):** Se encuentra en los aceros en un rango de (0,12 – 10,00) %Mo. Fuerte formador de carburos. Aumenta significativamente la templabilidad y la resistencia al desgaste. Mejora las propiedades mecánicas a altas temperaturas. Favorece al endurecimiento secundario.
  
- **Tungsteno (W):** Se encuentra en los aceros en un rango de (0,4 – 21,0) %W. Fuerte formador de carburos. Mejora la templabilidad y la resistencia al desgaste. Mejora las propiedades mecánicas a altas temperaturas. Favorece al endurecimiento secundario.

## 2.8. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El objetivo primordial al realizarse los tratamientos térmicos en los aceros de herramienta de trabajo en frío es conseguir que los útiles y herramientas posean una aceptable y suficiente tenacidad con una determinada dureza y resistencia al desgaste, una vez haya sido escogido el grado que mejor prestaciones pueda aportar a la aplicación que va destinado.

El ciclo térmico básico de los aceros de herramienta de trabajo en frío consiste en calentarlos hasta altas temperaturas para austenizarlos. Esta temperatura dependerá del grado escogido entre esta familia de aceros: temperaturas entre 800 y 880 °C son suficientes para aceros de baja aleación y en cambio temperaturas mayores (1020 - 1070 °C) son necesarias para aceros de trabajo en frío altamente aleados. Posteriormente estos materiales son templados hasta temperatura ambiente y, finalmente, recalentados a temperaturas entre 180 - 550 °C para revenirlos.

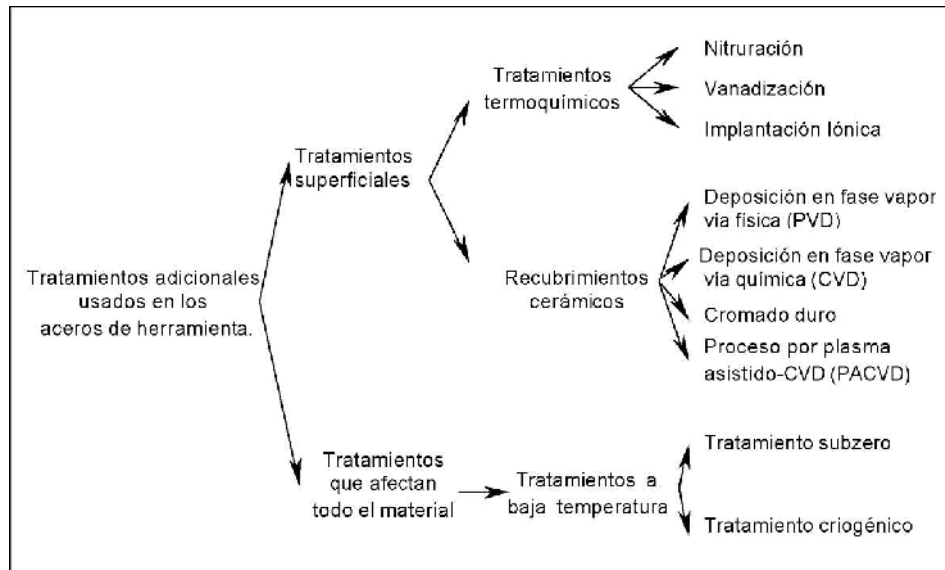
Una característica de los aceros de trabajo en frío de baja aleación es que éstos se reblandecen al ir aumentando la temperatura de revenido. La cantidad de reblandecimiento depende de la temperatura a la que son expuestos y las características del grado. En cambio, aceros de alta aleación pueden mostrar en el revenido un endurecimiento secundario a temperaturas ente los 500 y los 540 °C reteniendo o incluso en algunos grados superando la dureza a salida del temple. En la figura 2.7 se esquematiza el comportamiento de los aceros de alta y baja aleación.



Fuente : Kulmburg , A. jllmaier Tratamiento al vacío de herramientas

**Figura 2.7:** Típico comportamiento durante el revenido de los aceros de herramienta de alta y baja aleación.

A los útiles y componentes de costo relativamente elevado, de costosa sustitución o de alta responsabilidad, pueden realizárseles distintos tratamientos adicionales al tratamiento clásico de temple y revenido para principalmente aumentar la vida útil en determinadas condiciones de trabajo, al permitir bajar el coeficiente de fricción y mejorar la resistencia al desgaste ya sea por incremento de micro dureza superficial o reducción de la afinidad con la pieza a conformar. Distintos tratamientos aplicados a los aceros para la conformación en frío son mostrados en la figura 2.8.



Fuente : Kulmburg , A. jllmaier Tratamiento al vacío de herramientas

**Figura 2.8:** Tratamientos adicionales usados en los aceros de herramienta.

## 2.9. TRATAMIENTO CLÁSICO: TEMPLE Y REVENIDO

En este apartado serán comentadas las distintas etapas de que consta el ciclo tradicional de temple y revenido de los aceros altamente aleados, haciendo especial mención en los aspectos que se han tenido en cuenta para diseñar los ciclos térmicos realizados en el presente proyecto.

### 2.9.1 Temple

El temple consta de 3 etapas: precalentamiento, austenización y enfriamiento hasta temperatura ambiente.

### 2.9.2. Precalentamiento

El precalentamiento es la primera etapa del ciclo térmico que debe realizarse a los aceros de herramienta para minimizar los dos tipos de tensiones que ocurren durante el temple y que pueden traducirse en distorsiones y grietas en la pieza. El

primer tipo de tensiones son las debidas a la expansión térmica que se produce durante el calentamiento y el segundo tipo de tensiones son debidas a la disminución de volumen por la transformación de la matriz ferrítica típica de los aceros en su estado de suministro a una austenítica al alcanzarse la temperatura  $A_1$  como se aprecia en la figura 2.9.

Para los aceros altamente aleados de trabajo en frío normalmente se emplea una sola etapa de precalentamiento si las piezas no son muy másicas ni intrincadas, como las probetas que se ensayan en este proyecto. La temperatura elegida será alrededor de la temperatura  $A_1$  del acero (810 - 880 °C). Si la herramienta o probeta a tratar tuviese una forma intrincada, sería recomendable el uso de dos o incluso tres etapas.

### **2.9.3. Austenización**

La austenización es usada para transformar totalmente la matriz en una estructura austenítica y disolver en parte los elementos de aleación que se encuentran en forma de carburos embebidos en la matriz por mantenimiento isotérmico a la temperatura de austenizado. Es un proceso dependiente de la temperatura y el tiempo y estos parámetros vendrán marcados por la composición química del acero, el tamaño de la pieza y las solicitudes que el acero haya de cumplir. Bajas temperaturas de austenización proporcionan mayor tenacidad, menores distorsiones y cambios dimensionales después del tratamiento térmico, pero desarrollan menor dureza y resistencia al desgaste. En cambio altas temperaturas de austenización pueden proporcionar mayor dureza y resistencia al desgaste, pero en contrapartida,

se obtiene una menor tenacidad y una mayor probabilidad de producirse distorsiones, cambios dimensionales y grietas de temple.

Los problemas que uno puede encontrarse en ésta etapa del ciclo térmico son:

- Falta de tiempo de mantenimiento que produce una insuficiente homogenización de la austenita.
- Insuficiente temperatura de austenizado no produciéndose la adecuada disolución de los carburos, no obteniendo después del temple la dureza deseada
- Crecimiento de grano excesivo al haberse disuelto los carburos que impedían su crecimiento. Esto normalmente es producido por una elevada temperatura de austenización, aunque también es posible obtenerlo por elevados tiempos de exposición a dicha temperatura traduciéndose en un material frágil por éste excesivo tamaño de grano.

#### **2.9.4. Enfriamiento**

Una vez austenizado el acero, el tipo de enfriamiento ideal para los aceros de herramienta con el fin de conseguir la dureza pretendida en el material, debe ser un enfriamiento continuo con la velocidad menos severa y el medio menos energético posible, pero suficientes para alcanzar una matriz martensítica con los carburos embebidos en ella.

La búsqueda del medio menos energético reside en minimizar las tensiones de temple y los cambios dimensionales producidos por la expansión de volumen en la

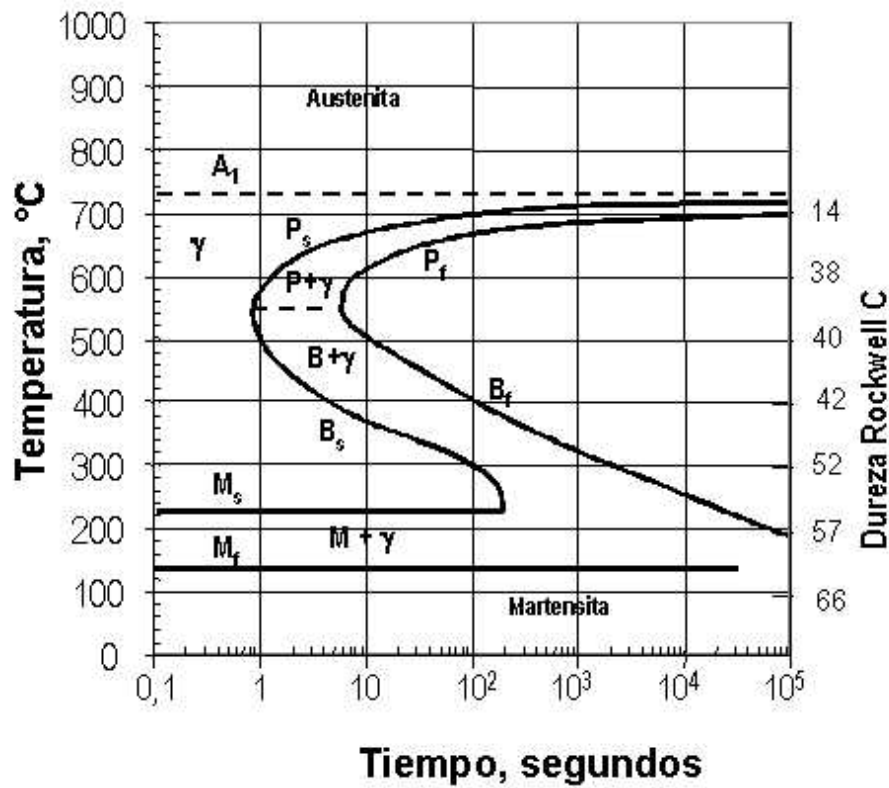
transformación martensítica, al minimizar la diferencia de temperaturas entre la superficie y el núcleo de la pieza.

La intensidad del enfriamiento depende de la templabilidad del acero, las dimensiones de la pieza a tratar y la dureza deseada, determinando estos factores el medio e intensidad deseados.

Los medios de enfriamiento son especificados en las fichas técnicas de los materiales o pueden ser extraídos de los gráficos TEC (Transformación en Enfriamiento Continuo) facilitados en los catálogos de los productos. Los coeficientes de transferencia calorífica a ( $W/m^2 K$ ) se encuentran tabulados en los manuales.

Cuando un acero de herramienta es templado, la matriz no es totalmente convertida a martensita. En general alguna cantidad de austenita queda en la estructura y ella es referida como austenita retenida por no haberse completado totalmente la transformación martensítica ( $M_f$  por debajo de la temperatura ambiente). La cantidad de austenita retenida durante el temple aumenta al aumentar:

- El contenido de elementos alógenos por hacer éstos disminuir las temperaturas de inicio y fin de la martensita ( $M_s$  y  $M_f$ ).
- La temperatura y tiempo de austenización por disolver una mayor parte de elementos de aleación que estaban en forma de carburos.
- El espesor de la pieza.



Fuente : Catalogo Bohler

**Figura 2.9:** Curvas de Tratamientos Térmicos.

**Tabla 2.1: Porcentaje de austenita retenida para distintos grados de aceros de herramienta.**

Acero de Herramienta	Nomenclatura		% Austenita retenida
	AISI	DIN	
Acero de trabajo en caliente al 5% Cr	AISI H13	X40CrMoV5-1	2%
Acero de trabajo en frío al 1,60 % Mn	AISI O2	90MnCrV8	15 - 17%
Acero ledeburítico de trabajo en frío al 12% Cr	AISI D3	X155CrVMo12-1	30%
Acero rápido al molibdeno	AISI M2	HSS 6-5-2	25 - 30%

Fuente Catalogo Bohler

### 2.9.5. Revenido

Después del temple, el acero presenta una microestructura consistente en: martensita, austenita retenida y carburos. Las herramientas en este estado no tienen aún aplicación industrial por la gran fragilidad presentada por la martensita tetragonal resultante del temple y la posible transformación de la austenita retenida. Por tanto, es necesario realizarles un tratamiento de revenido para aumentar la tenacidad por medio de un destensionado y transformación de la martensita, y al mismo tiempo, asegurarse que no haya cambios dimensionales tanto en servicio como en la realización de posibles tratamientos adicionales.

La temperatura a la que se realizan los distintos revenidos depende fundamentalmente de las propiedades que con éste se pretendan conseguir. Existen en el mercado las fichas técnicas de los distintos grados donde se muestran los gráficos de revenido para cada material (dureza alcanzada por el acero después de revenirse a distintas temperaturas), tablas sobre la tenacidad presentada a distintas durezas y una vaga y difusa información en cuanto a la resistencia al desgaste.

Dos son los rangos de revenido realizados a los aceros de herramienta, conociéndose como revenido a bajas temperaturas y revenido a altas temperaturas, existiendo entre ellos una zona prohibida de revenido, entre 250 - 450 ° C por presentarse en ella una fragilidad superior a los otros rangos ya mencionados.

- El revenido a temperaturas bajas (180 - 250 °C) es aplicable a todos los aceros de trabajo en frío. Éste solo produce un destensionado y una ligera transformación de la martensita tetragonal resultante del temple. Un solo

revenido será suficiente si se reviene a estas temperaturas por no producirse la transformación de la austenita retenida.

- El revenido a altas temperaturas (500 - 550 °C) es aplicable a los aceros altamente aleados que presentan dureza secundaria. El número de revenidos a realizar a un acero de herramientas altamente aleado viene indicado en las fichas técnicas y su fundamento se explica a continuación:

Después del primer revenido la microestructura consiste en todos los grados de martensita revenida. Los grados que presentan austenita retenida durante el temple presentarán además martensita tetragonal recién formada durante el enfriamiento del revenido y carburos secundarios producto de la transformación de la austenita retenida durante el revenido. Los grados en los que además de presentar austenita retenida, ésta sea difícil de transformar, presentarán un porcentaje de austenita retenida que aún no ha transformado, pero estando ahora capacitada para hacerlo en el siguiente revenido.

En el segundo revenido la martensita tetragonal recién formada para todos los grados se revendrá y en aquellos grados que aún poseían austenita retenida se producirá su transformación, porque es ahora la austenita más propicia al haberse empobrecido en carbono y elementos carburígenos durante el primer revenido.

El tercer revenido sólo se realiza si durante el segundo revenido ha habido formación de martensita tetragonal durante el enfriamiento, precisamente para revenir ésta martensita recién formada.

Por tanto, se realizaría un solo revenido si no existiese austenita retenida a salida de temple y se deseara revenir a esta temperatura, dos revenidos, si en el primer revenido se realiza toda la transformación de austenita posible, y tres revenidos, si la austenita retenida fuera muy difícil de transformar y hubiese transformación durante el segundo revenido.

## 2.10. TRATAMIENTO CRIOGÉNICO

Bajo el concepto de tratamiento a baja temperatura deben distinguirse dos categorías dependiendo principalmente la temperatura por debajo de 0 °C alcanzada en el proceso:

Tratamiento subcero: Donde las piezas alcanzan unas temperaturas de -80°C, con utilización de hielo seco.

Tratamiento criogénico: Donde la temperatura alcanzada está en unos -196°C, temperatura correspondiente al nitrógeno líquido.

El proceso criogénico no es un sustituto de otros tratamientos térmicos para el acero, sino una extensión del ciclo térmico que involucra, a diferencia de otros tratamientos adicionales, todo el material y no solo su superficie.

Se basa en predeterminar un ciclo térmico que involucre un enfriamiento de las piezas en una cámara criogénica, manteniendo el material a esa temperatura durante 20-40 horas, y finalmente, calentar hasta temperatura ambiente. Las velocidades de enfriamiento y calentamiento deben ser tales que no induzcan ni tensiones residuales ni un choque térmico a las piezas tratadas.

Muchos beneficios han sido adjudicados al tratamiento criogénico, principalmente en los aceros de herramienta y en los elementos de rodamiento ó transmisión de fuerza, algunos son el incremento de:

- Resistencia al desgaste
- Aumento en la vida útil
- Aumento en la tenacidad
- Aumento significativo en la dureza
- Bajo costo de producción

### **2.10.1. Marco Histórico**

A finales del siglo XIX, cuando se empezó a comprimir gases como el oxígeno o el nitrógeno, ya se dieron cuenta que los recipientes que lo contenían mejoraban sus propiedades físicas a temperatura ambiente si no se habían agrietado a baja temperatura por superar la temperatura de transición dúctil-frágil. Este hecho también fue descubierto por la NASA al comprobar mejoras en los materiales de los transbordadores espaciales al regreso de sus misiones.

En cuanto a la industria metal-mecánica, su utilización fue en un primer momento para conseguir una mayor estabilidad dimensional de las herramientas, existiendo desde el principio de su uso cierta desorientación sobre su utilidad más allá. Mientras algunos metalúrgicos lo consideraban y lo siguen haciendo como un gran éxito, señalando que al tratar de esta forma ciertos aceros se conseguía aumentar la vida de la herramienta en más de un 100%, otros investigadores afirmaban que empleándolo no se mejoraba sensiblemente su rendimiento.

### 2.10.2. Aplicaciones

Los tratamientos criogénicos en general se aplican en una gran cantidad de ámbitos:

- En aplicaciones industriales han sido aplicados a los aceros de herramienta para, principalmente, aumentar la resistencia al desgaste, usándose por ejemplo en matrices, punzones, sierras, cuchillas o moldes.
- En instrumentos musicales es utilizado para trompetas, saxos, cuerdas de guitarra y piano. En instrumentos realizados en bronce o latón también se utiliza para proporcionar mejor tonalidad y mayor calidad en el sonido.
- En aplicaciones armamentísticas se aplica a cañones, rifles o revólveres, ya que elimina por completo la austenita retenida y evita así los cambios dimensionales que se dan cuando está transformada en la vida útil del arma.
- En deportes como el golf es utilizado en palos, cabezas y pelotas . En el patinaje se utiliza para la cuchilla de los patines de hielo
- En la industria metal-mecánica son aplicados a aquellos aceros que después del temple conservan todavía en su estructura una cierta cantidad de austenita residual sin transformar, cuyo porcentaje varía con la composición, temperatura de austenización, medio de enfriamiento, tamaño de la pieza, etc. y en él se produce la transformación de esta austenita retenida (al igual que en el tratamiento subcero) causa del aumento en la resistencia al desgaste respecto a los tratamientos subcero.

### 2.10.3. Equipamiento para los tratamientos criogénicos

Tres tipos de sistemas han sido desarrollados para realizar este tipo de tratamientos:

- **Sistema intercambiador de calor:** En este sistema se hace pasar nitrógeno líquido a través de un intercambiador de calor y el gas de salida se recupera para utilizarlo como atmósfera en el horno. La atmósfera de esta cámara es aspirada hacia los serpentines por medio de un ventilador y se hace circular posteriormente a través de las piezas. Ni el nitrógeno líquido ni el nitrógeno gas seco entran en contacto con las piezas.
- **Sistema por pulverización directa:** El sistema de pulverización directa pulveriza el nitrógeno líquido directamente dentro de la cámara, mientras un ventilador hace circular el gas por la misma. En este caso, el gas utilizado no se recupera y tampoco las piezas entran en contacto con el nitrógeno líquido.
- **Sistema por inmersión gradual:** En este sistema si hay inmersión de la pieza a temperatura ambiente en un líquido criogénico. Pasado el tiempo de mantenimiento a la temperatura del líquido criogénico, la pieza se retira del líquido e inmediatamente se somete a un flujo de aire hasta alcanzar la temperatura ambiente.

### 2.10.4. MATERIAL USADO PARA EL TRATAMIENTO CRIOGENICO:

#### - Nitrógeno líquido

El nitrógeno líquido tiene como características generales, ser inerte, incoloro, inodoro, no corrosivo, no inflamable y extremadamente frío. El nitrógeno

constituye la mayor parte de la atmósfera (78,03% en volumen, 75,5% en peso). El nitrógeno es inerte y no es combustible, excepto cuando se calienta a temperaturas muy altas cuando se combina con otros metales, tales como el litio y el magnesio, para formar nitruros, también se combinan con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno y, cuando se combina con hidrógeno en presencia de catalizadores, se forma el amoníaco.

Aunque el nitrógeno es inerte y no tóxico en ciertos momentos puede representar un peligro para el ser humano ya que este puede actuar como asfixiante al desplazar el oxígeno en el aire a niveles por debajo de la que se requiere para sustentar la vida y su inhalación de nitrógeno en cantidades excesivas puede causar mareos, náuseas, vómitos, pérdida de conciencia, y la muerte, como resultado de errores de juicio, confusión o pérdida de conciencia que impide el libre rescate, en bajas concentraciones de oxígeno, la inconsciencia y la muerte puede ocurrir en segundos y sin previo aviso.

#### **Propiedades físicas del nitrógeno líquido:**

- Número atómico: 7
- Peso atómico: 14,008
- Radio atómico covalente: 0,70 Å
- Radio del ion  $N_3^-$ : 1,71 Å
- Abundancia de los isótopos: N14, 99,62%; N15, 0,38%
- Notación espectral:  $1S^2; 2S^2, 2P^3$
- Estado físico: Gas incoloro, inodoro e insípido.

- Fórmula molecular:  $N_2$
- Densidad absoluta: 1,2506 g/L
- Densidad relativa: (aire = 0,9672 kg/m<sup>3</sup>)
- Densidad del Nitrógeno líquido: 8,8071 g/cm<sup>3</sup>
- Solubilidad en agua (cm<sup>3</sup> por litro):
  - a 0 °C.....23,54
  - a 25 °C.....14,34
- Punto de ebullición: -195,8 °C
- Punto de congelación: -209,86 °C
- Temperatura crítica: -147,1 °C
- Presión crítica: 33,5 atm

### **Cambios microestructurales**

En la actualidad no están muy claros los mecanismos por los cuales el tratamiento criogénico mejora la resistencia al desgaste.

Lipson investigó, ya en los años 60, para dos aceros al carbono de 0,89% C y 1,21% Cr, el efecto de los tratamientos criogénicos en los parámetros de celda para la austenita y la martensita. Él encontró que estos parámetros no variaban en aire seco o Helio líquido, así él concluyó que era este refinamiento el resultante del aumento al desgaste obtenido experimentalmente.

En los aceros de herramienta aleados algunos investigadores echan la casi completa transformación de la austenita retenida en martensita a temperaturas criogénicas como la principal causa de la mejora de la resistencia al desgaste. En cambio otros investigadores, justifican la principal causa del aumento de resistencia al desgaste al realizarse el tratamiento térmico, a la formación de finos carburos en la martensita siendo esta explicación la que hoy en día está más asentada.

#### **Análisis en herramientas:**

Un estudio en el cual se probaron diez herramientas construidas con aceros de herramientas y un acero inoxidable, los cuales fueron probados contra el desgaste, utilizando como sistema de desgaste un disco metálico de Ni-Cr-Mo y agua como lubricante para mantener la temperatura, comparando su comportamiento entre unas tratadas únicamente con tratamientos térmicos de altas temperaturas y las otras después de haber sido sometidas a un proceso que incluyó, tratamiento térmico a altas temperaturas y tratamiento criogénico  $-190^{\circ}\text{C}$  ( $-310^{\circ}\text{F}$ ).

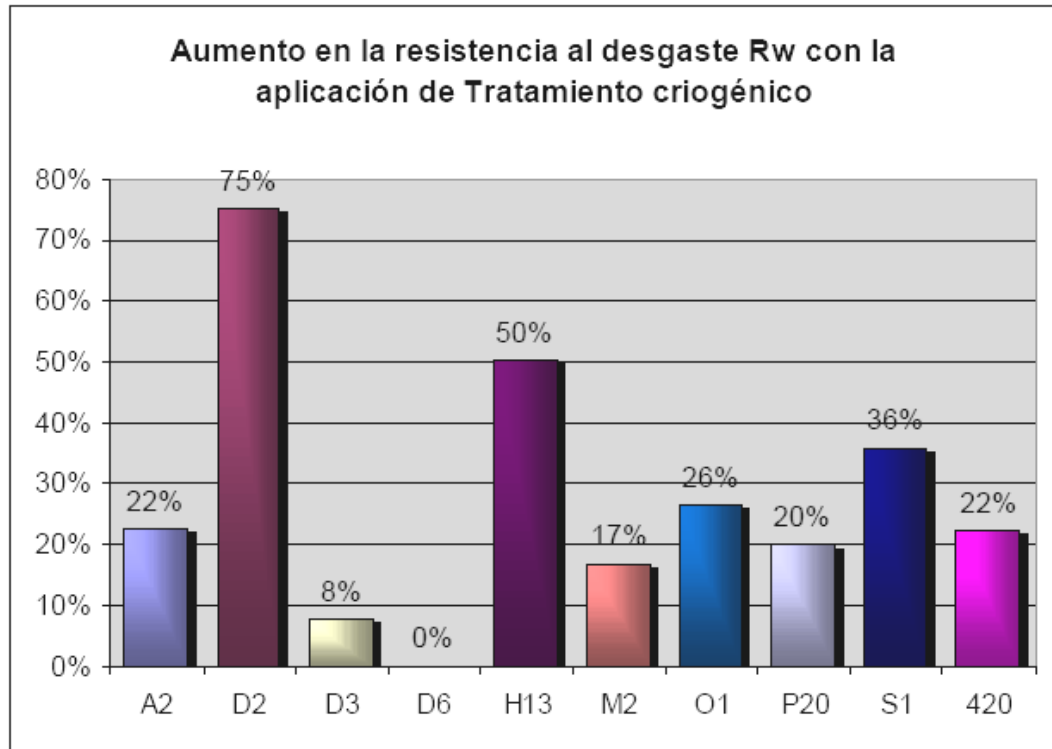
En la tabla 2.2 y en la figura 2.10 se pueden observar los resultados de las herramientas tratadas así como su comportamiento ante el desgaste.

**Tabla 2.2: Comparativa de Resistencia al Desgaste en aceros**

Material	Dureza Vickers Mpa	Desgaste en 600 seg. Mm <sup>3</sup>	Relación de desgaste (Wo) mm <sup>3</sup> /s	Resistencia al desgaste Rw
A2	7305	0.3332	0.0005553	79310
A2 crio	8482	0.2343	0.0003906	97119
D2	6021	0.2458	0.0004097	130420
D2 crio	6021	0.1404	0.0002340	228365
D3	5472	0.1444	0.0002407	244295
D3 crio	5825	0.1259	0.0002098	263258
D6	5433	0.1060	0.0001766	335372
D6 crio	5491	0.1048	0.0001746	335507
H13	4658	0.3217	0.0005361	128850
H13 crio	4795	0.2080	0.0003466	193567
M2	7845	0.1709	0.0002849	143954
M2 crio	8384	0.1368	0.0002281	168255
O1	6658	0.2090	0.0003484	138714
O1 crio	7051	0.1562	0.0002603	175322
P20	5433	0.4977	0.0008296	71394
P20 crio	5884	0.3829	0.0006382	85691
S1	6452	0.3516	0.0005860	85097
S1 crio	6511	0.2565	0.0004275	115592
420	5521	0.8359	0.0013932	41832
420 crio	5795	0.6522	0.0010869	51078

**Fuente:** Estándares Americanos de los Metales

**Figura 2.10.** Aumento de la resistencia al desgaste, en algunos aceros, por medio de tratamientos criogénicos



**Fuente:** Estándares Americanos de los Metales

El grupo de herramientas que experimento el tratamiento en criogénico (-190 °C), mejoro su resistencia al desgaste hasta un 104% hasta el 560% en comparación al grupo que fue tratado únicamente por medios térmicos de alta temperatura. Estos resultados experimentales nos dan una muestra de cómo el tratamiento criogénico mejora notablemente las propiedades de los materiales.

## 2.11. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

### **Ensayo de Impacto Charpy**

La fractura de materiales de ingeniería es casi siempre un hecho indeseable por varias razones las que incluyen, la seguridad de vidas humanas, pérdidas económicas, y la Interferencia con la disponibilidad de productos y servicios.

Aun cuando las causas de fractura y el comportamiento de materiales pueden ser conocidos, la prevención de fracturas puede ser difícil de garantizar. Las causas usuales de ello son la selección de materiales, procesado y diseños inadecuados de los componentes o su mal manejo. Es responsabilidad del ingeniero anticipar y planificar las posibles fracturas y en el caso de que ocurran, determinar sus causas y tomar medidas preventivas apropiadas para futuros incidentes.

Las típicas clases de fracturas son fractura dúctil, fractura frágil, fractura por fatiga, fractura por Creep y fractura debida al medio ambiente. Las fractura simple es la separación de un cuerpo en dos o mas trozos como respuesta a una tensión que puede ser estática (constante o variando lentamente con el tiempo) y a temperaturas que son bajas en relación a la temperatura de fusión del material. Las tensiones aplicadas pueden ser de tracción, compresión, de corte o torcionales.

Los tipos de fracturas típicos son dúctiles y frágiles. Esta clasificación está basada en la capacidad del material a experimentar deformación plástica. Los materiales dúctiles típicamente exhiben una sustancial deformación plástica, con

alta absorción de energía antes de la fractura. Por otro lado, hay una pequeña deformación plástica y una baja absorción de energía en la fractura frágil.

Cualquier proceso de fractura involucra dos etapas, iniciación de la fisura y su propagación como respuesta a las tensiones impuestas. El tipo de fractura es altamente dependiente de los mecanismos de propagación de la fisura.

La fractura dúctil está caracterizada por una gran deformación plástica en la vecindad de la punta de fisura. Además, el proceso se lleva a cabo relativamente lento a medida que la fisura se extiende. Así se dice que la fisura es estable. Esto significa que se resiste a cualquier propagación a menos que haya un incremento en las tensiones aplicadas. Además generalmente se apreciara un incremento grosero en la deformación en sus superficies de fractura. Por otro lado para la fractura frágil, la fisura se puede propagar extremadamente rápido (300 a 2000 m/s) con muy poca deformación plástica. Tales fisuras se llaman inestables y su propagación, una vez comenzada, continuará espontáneamente sin un incremento en las tensiones aplicadas. Se aclara que también pueden existir inestabilidades dúctiles.

La fractura dúctil es casi preferible por dos razones. Primero, la fractura frágil ocurre repentina y catastróficamente sin ninguna advertencia, consecuencia de la espontánea rápida y propagación de la fisura. Por otro lado, en la fractura dúctil la presencia de deformación plástica da aviso que la fractura será inminente, permitiendo que se tomen medidas preventivas. La segunda, es que se requiere mayor energía para inducir la fractura dúctil por los que los materiales dúctiles son generalmente más tenaces. Bajo la acción de una tensión de tracción, la

mayoría de los metales son dúctiles, mientras que los cerámicos son notablemente frágiles.

### **Fractura Frágil.**

La fractura frágil es una particularidad de los materiales que tienen estructura cristalina cúbica de cuerpo centrado (BCC) y hexagonal., Estos materiales tienen suficiente ductilidad alrededor de la temperatura ambiente, pero se vuelven frágiles a bajas temperaturas.

Las superficies de fractura frágil están caracterizadas por dos tipos de marcas llamadas “V Shaped Chevron” y “River Patterns” como se muestran en las figuras 2.11 a y 2.11 b respectivamente.



**Fuente:** Patrones tipo “River Patterns”

Figura 2.11 a.- Patrones tipo “River Patterns” característicos de la fractura frágil. .



**Fuente:** V Shaped Chevron

Figura 2.11 b - Marcas de “V Shaped Chevron” característicos de la fractura frágil

La dirección de movimiento de la fisura es aproximadamente perpendicular a la dirección de las tensiones aplicadas y da una superficie de fractura relativamente plana.

Para la mayoría de los materiales cristalinos frágiles, la propagación de la fisura corresponde a sucesivas y repetidas roturas de los enlaces atómicos a lo largo de planos cristalinos específicos. A este proceso se le conoce con el nombre de clivaje. Este tipo de fractura se dice que es transgranular debido a que las fisuras atraviesan los granos.

Macroscópicamente, la superficie de la fractura tiene una textura granular afacetada como el resultado de cambios en la orientación de los planos de clivaje de un grano a otro. Esta característica es más evidente en una micrografía electrónica de barrido. En algunas aleaciones, la propagación de la fisura se da a lo largo de los bordes de grano, esta fractura se denomina intergranular. En una micrografía electrónica de barrido que muestra una típica fractura intergranular, se puede observar la naturaleza tridimensional

de los granos. Este tipo de fractura normalmente se produce luego de algún proceso que debilita o fragiliza la región de bordes de grano.

La fractura frágil ha ocurrido en gran cantidad de estructuras soldadas tales como barcos, puentes, recipientes a presión, tuberías.

Como resultado de la investigación detallada de la causa y medidas preventivas de la fractura frágil, se encontró que las siguiente tres condiciones deben presentarse simultáneamente:

1. La existencia de un concentrador de tensiones
2. La existencia de tensiones de tracción
3. Falta de tenacidad de la entalla (baja temperatura)

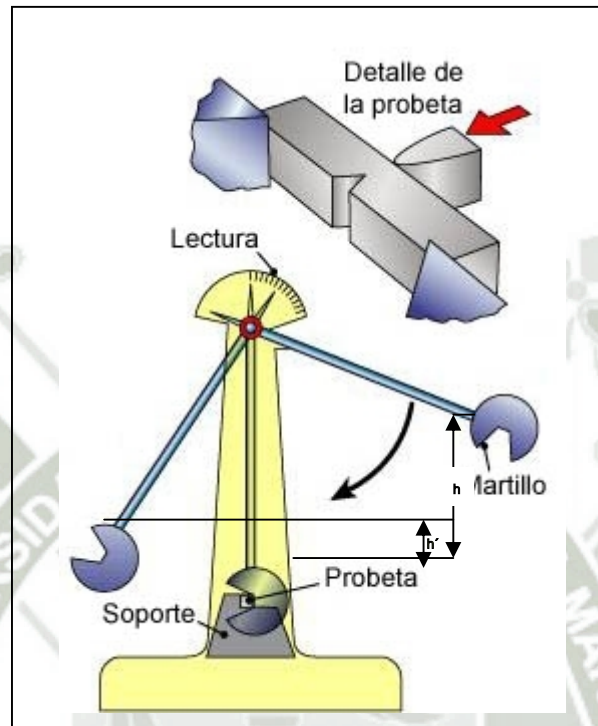
Las entallas que originan la fractura frágil pueden ser defectos de soldaduras tales como fisuras, falta de penetración socavados, y solapes etc.

### **Transición Dúctil – Frágil**

Un acero con bajo % de carbono tiene fractura dúctil alrededor de la temperatura ambiente, pero se vuelve frágil a más bajas temperaturas.

La energía de impacto, también llamada tenacidad de la entalla, se usa para evaluar cuantitativamente esta transición. Los ensayos Charpy y el de Izod fueron diseñados y son aún utilizados para medir la energía de impacto. Para la técnica de Charpy V, la probeta tiene una sección cuadrada, con una entalla maquinada como se muestra en la figura 3.1, junto a la maquina para hacer este ensayo.

La carga es aplicada como un impacto de un martillo pendular con una cierta masa cuando se libera desde una posición fijada a una altura “h”. La probeta a ensayar se posiciona en la base como se muestra en la figura 2.12.

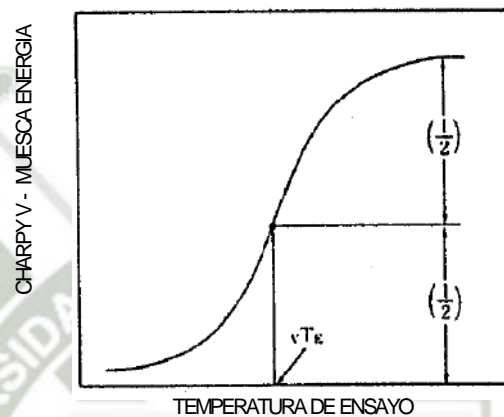


Fuente: Material and surface engineering for precisión Forging Dies.

**Figura 2.12:** Ensayo Charpy.

Cuando el péndulo es liberado, un borde en forma de cuña, golpea (con alta velocidad de impacto) y fractura la probeta en la entalla, la cual actúa como un punto de concentración de tensiones. El péndulo continúa su recorrido alcanzado a una altura máxima “h'”, la que es menor que “h”. La energía de absorción, registrada de la diferencia entre h y h', es una medida de la energía de impacto. En un ensayo de Charpy el tamaño y forma de la probeta tanto como la configuración de la entalla y su profundidad son fijas, pero si las cambiáramos los resultados del ensayo variarían. La temperatura a altas temperaturas la energía de Charpy V es relativamente alta, correlacionándose con el modo de fractura dúctil. Cuando se observa una fractura 100%

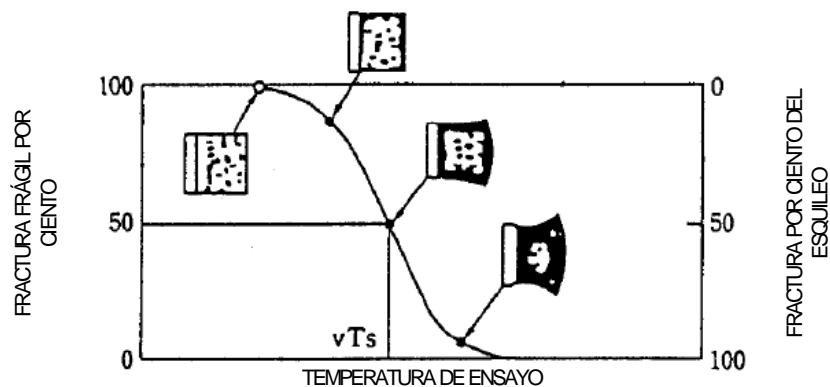
fibrosa la energía se llama “upper shel energy”. A medida que la temperatura desciende, la energía absorbida cae relativamente rápido en un rango de temperaturas estrecho. A menores temperaturas la energía absorbida tiene un valor pequeño y aproximadamente constante. Esta zona corresponde a la fractura frágil. Esta curva es llamada curva de transición dúctil-frágil.



Fuente: Material and surface engineering for precision Forging Dies

**Figura 2.13:** Dependencia de la temperatura del porcentaje de fractura de cizalladura

Alternativamente, la apariencia de la superficie de fractura es indicativa de la naturaleza de la fractura. Para fractura dúctil, esta superficie aparece fibrosa; contrariamente una superficie totalmente frágil tiene una textura granular (o carácter clivaje). Entre la transición dúctil-frágil existen las características de ambos tipos. Frecuentemente el porcentaje de fractura de cizalladura es graficado en función de la temperatura como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 2.14:** Relación entre temperatura y energía Charpy

Para muchas aleaciones hay un rango de temperaturas donde se produce la transición dúctil-frágil; esto presenta alguna dificultad en especificar una sola temperatura de transición dúctil-frágil. No ha sido explicitado un criterio, y entonces esta temperatura es comúnmente definida como la temperatura a la cual la energía de Charpy cae a la mitad de la energía superior (llamada temperatura de energía de transición ( $vTe$ )). Otras formas de definirla es cuando la fractura es del 50% dúctil (llamada Temperatura de transición de la superficie de fractura ( $vTs$ )) o cuando la energía es de 20 Joules. Estos criterios para definir la temperatura tienen aproximadamente los mismos valores. Cuando ejecutamos un ensayo de fractura usando grandes probetas la temperatura de transición es mayor con entallas mas marcadas, espesores mayores, la tensión residual es más grande y la velocidad de carga es más alta. Esto significa que la fractura frágil se produce fácilmente.

No todas las aleaciones muestran una transición dúctil-frágil. Aquellos que tiene estructuras cúbicas de caras centradas (FCC) (incluyendo aleaciones de Al y Cu) permanecen dúctiles aun a extremadamente bajas temperaturas.

Sin embargo, aleación cúbicas centradas en el cuerpo y hexagonales de alto empaquetamiento experimentan esta transición.

La mayoría de los cerámicos también experimentan una transición dúctil-frágil aunque la transición ocurre solamente a elevadas temperaturas, comúnmente por encima de los 1000°C.



## CAPÍTULO III

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1. MATERIALES

En este proyecto se selecciona un acero de trabajo en frío: el WNr. 1.2080. Es un acero de uso no muy común en la industria metal-mecánica es un tipo de acero para herramientas de corte y estampado de alto rendimiento. Es bastante usado en la industria, su nombre comercial es K 100 o ESPECIAL K, su nomenclatura por norma es AISI D3 (DIN X 210 Cr 12).

#### **WNr. 1.2080**

Este es un acero ledeburítico para trabajo en frío de alto carbono y alto cromo. Se le dice ledeburítico porque contiene un porcentaje de carbono mayor al 2%. Es de excelente resistencia al desgaste, excelente resistencia a la deformación por temple y de templabilidad profunda. Es deficiente en su tenacidad al impacto y maquinabilidad. Se usa mayormente para matrices de corte, cuchillas para guillotina, herramientas para roscar, dados de trefilación y herramientas para moletear. Su composición química, equivalencias y algunas propiedades son mostradas en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Composición química, equivalencias y propiedades del WNr. 1.2080.**

EQUIVALENCIA CON DISTINTAS NORMAS								
NORMA	UNE	AISI	DIN	WERSTOFF N°	UNI	AFNOR	BS	JIS
PAÍS	ESPAÑA	ESTADOS UNIDOS	ALEMANIA		ITALIA	FRANCIA	GRAN BRETAÑA	JAPON
Grado	F5212	D3	X210Cr12	1.2080	X205Cr12KU	Z200Cr12	BD3	SKD I
COMPOSICIÓN QUÍMICA EN % PESO								
C	Si	Mn	Cr		V	Mo		
2.00	0.25	0.35	11.5		---	---		

Las probetas necesarias para realizar el estudio fueron extraídas de una barra forjada en el sentido longitudinal de sección 200 x 50 mm.

Sus aplicaciones son rodillos y mandíbulas de laminar rosca, herramientas de estampaciones y acuñaciones profundas, matrices y punzones de troquelar en frío, punzones y matrices para embutición profunda, punzones de grabar marcas con alta carga específica, punzones de enclavar en frío, insertos de moldes para inyectar termoplásticos y termoestables con cargas abrasivas, matrices y punzones de prensar polvos, cuchillas de cizalla, cuchillas de corte circular, calibres y galgas, rodillos para bruñir, hileras para extruir en frío aceros o aleaciones ligeras.

En los anexos se muestran sus propiedades mecánicas fundamentales: dureza y tenacidad respecto a otros aceros de herramienta.

**Tabla 3.2: Propiedades físicas del D3.**

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACERO D3							
Temperatura de ensayo ( K ):	293	373	473	673	873	Otra	Unidades
Dilatación térmica lineal		10.5	11.0	11,5	12.0		$X10^{-6} K^{-1}$
Conductividad calorífica	20						$W . m^{-1} . K^{-1}$
Calor específico	460						$J . Kg^{-1} K^{-1}$
Densidad	7,70						$X10^3 . Kg . m^{-3}$
Modulo de elasticidad a tracción	210						$X10^3 MPa$
Temperaturas de transformación alfa- gamma Ac1 - Ac3						1043 - 1113	K
<i>Dureza HRC</i>			56 <i>HRC</i>	62 <i>HRC</i>			<i>HRC</i>

**Fuente:** Catálogo Bohler

### 3.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.2.1. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Se emplea la técnica de microscopía óptica para caracterizar microestructuralmente el material.

#### Microscopia óptica:

La caracterización microestructural se realiza usando un microscopio óptico de campo invertido, modelo DX 40, que dispone de hasta 100X aumentos de resolución (Figura 3.1). Las microestructuras fueron captadas con una cámara

digital, utilizando siempre el mismo zoom, con el fin de poder comparar los resultados una vez analizados mediante un programa de análisis de imagen (Adobe Photoshop7).



Fuente: elaboración de los Laboratorios de Materiales de la UCSM

**Figura 3.1:** Microscopio Óptico

### CARACTERÍSTICAS

**Revólver** : Cuadruple punta bola invertida tobera con topes positivos y la operación lisa.

**Ocular de gran campo oculares:** 10 X, 25mm, campo 18mm distancia focal.

**Etapa:** Doble capa mecánica,

Tamaño: 180mmX150mm,

**Filtros:** esmerilado, filtro azul y filtro verde filtro amarillo.

**Iluminación:** 6V / 20W lámpara halógena, brillo ajustable.

**Fuente de alimentación:** 220V (50 / 60HZ) o 11 OV (50 / 60HZ).

**Anti-hongo:** Sí.

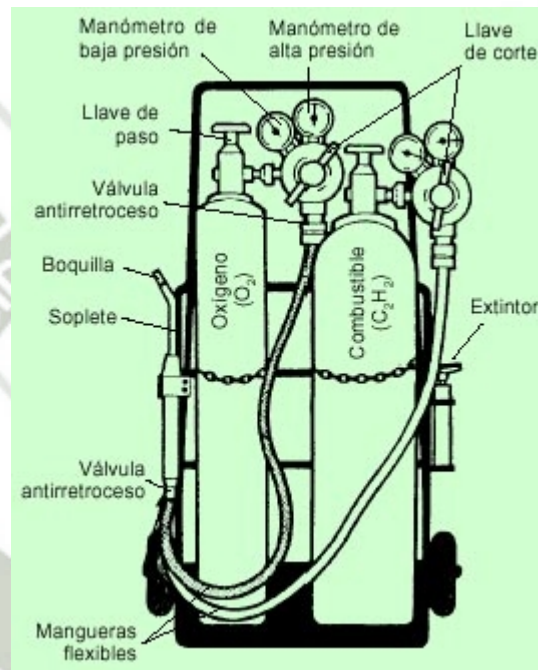
El montaje de las muestras se realizó en frío con una resina acrílica y su preparación mecánica con una máquina automática de esmerilado y pulido de la marca Struers, modelo LABOPOL-1.

Para la preparación mecánica se usaron 2 discos para el esmerilado: un disco formado por diamante embutido en resina y agua como lubricante y refrigerante y otro disco de material composite con pasta de diamante de 9 mm y un lubricante compuesto por una base de etanol. Para el pulido se utilizó un paño con pasta de diamante de 3 mm y el mismo lubricante que en el esmerilado.

La revelación de la microestructura se realizó mediante 2 reactivos químicos: usándose Marble (50 mL de HCl al 32% + 25 mL de una solución acuosa saturada de  $\text{CuSO}_4$ ) cuando querían observarse nítidamente los carburos, y Nital (1-6 mL de  $\text{HNO}_3$  en 100 mL de Etanol) cuando se quería determinar la microestructura.

### 3.2.2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS REALIZADOS

Los tratamientos térmicos de temple y revenido se llevaron a cabo en el laboratorio de Materiales de la UCSM utilizando un Equipo de Soldadura Autógena (figura 3.2) calentando a una temperatura de hasta más de 900 °C controlada por Pirómetros.

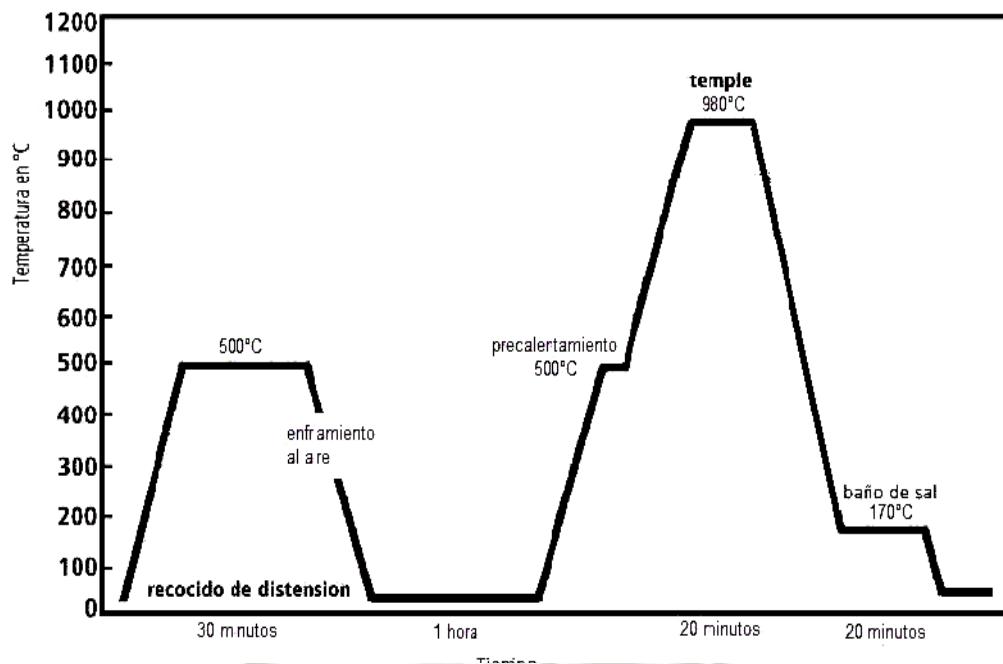


Fuente: laboratorio de Materiales de la UCSM.

**Figura 3.2** Equipo de Soldadura Autógena

Al haberse realizado los tratamientos térmicos con el equipo de soldadura autógena sin atmósfera controlada, con el fin de anular los efectos de decarburación y oxidación que tendrían lugar en la superficie de la probeta que sería ensayada, se tomaron dos medidas:

- Dotar a todas las probetas de un 1 milímetro adicional respecto a las dimensiones finales para, posteriormente, ser eliminado por rectificado.
- Minimizar el efecto de la pérdida de carbono y oxidación producido por los gases de la atmósfera (oxígeno, vapor de agua y anhídrido carbónico) introduciendo las probetas dentro de una caja diseñada para dificultar la entrada y salida de los gases y recubriéndolas con papel para eliminar la mayor parte del oxígeno atrapado.



Fuente: . Los aceros de herramienta y su tratamiento térmico (2a parte)

**Figura. 3.3.** Tiempos en el proceso.

**Los tratamientos criogénicos** fueron realizados en el mismo laboratorio que los tratamientos tradicionales de temple y revenido alquilando una cuba, con nitrógeno líquido en su interior. Se utilizaron unas cestas de acero inoxidable se introduce una cesta atadas a un alambre para poder controlar el tiempo del tratamiento criogénico .

En la realización de los tratamientos térmicos se varió la velocidad de enfriamiento, el tiempo de mantenimiento y la velocidad de calentamiento, indicándose en la siguiente tabla los posibles cambios introducidos para cada etapa:

**Tabla 3.3:** Cambios en el proceso

ETAPA	CAMBIOS INTRODUCIDOS
Medio de enfriamiento	El mismo nitrógeno líquido: Sumergiendo en una cuba de inox la cesta en nitrógeno líquido.
	El nitrógeno a 1 bar de presión: Suspendiendo la cesta dentro de la cuba en contacto con el nitrógeno líquido.
Tiempo mantenimiento	15 días.
	2 días.
Medio de calentamiento	Dejando evaporar totalmente el nitrógeno líquido al destapar el tapón que cerraba la cuba.
	Dejando enfriar al aire las probetas envueltas en lana de vidrio.

Este sistema empleado para realizar los tratamientos criogénicos tiene el impedimento de no poderse controlar la temperatura en su interior, por lo que las velocidades de enfriamiento y calentamiento que definen el ciclo criogénico, tuvieron que ser estimadas a través del coeficiente de transmisión del medio empleado a una determinada presión y un gráfico que relacionase el coeficiente de transmisión térmica y el parámetro de enfriamiento.

**Tabla 3.4:** Temperatura de temple y temperatura de criogenia

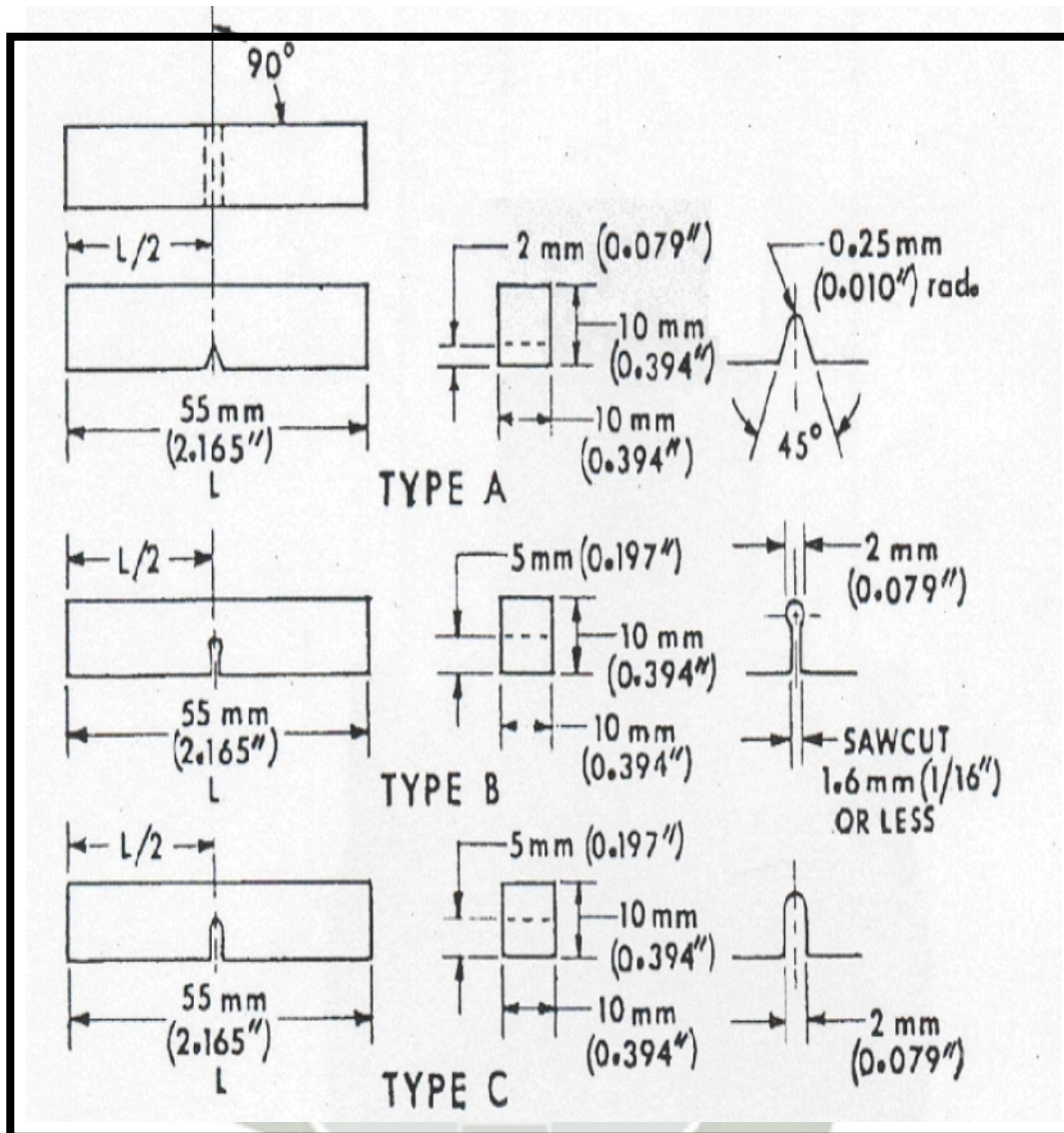
TEMPERATURA DE TEMPLE	TIEMPO	TEMPERATURA DE CRIOGENIA	TIEMPO
980 °C	1 hora de ensayo.	-193 °C APROX	48 horas de ensayo
980 °C	1 hora de ensayo.	-193 °C APROX	48 horas de ensayo
980 °C	1 hora de ensayo.	-193 °C APROX	48 horas de ensayo

**Preparación de la Muestra.**

Para el momento de captura, la muestra presenta las siguientes características: Se capturaron las imágenes de las mitades obtenidas luego del ensayo de impacto de probetas con dimensiones fabricadas según la norma ASTM E23.

Estándares y Métodos para pruebas de impacto con muesca de Materiales Metálicos.

- Las probetas son de Acero AISI D3
- La muestra no fue sometida a desbaste y pulido.
- No se aplicó el ataque químico.



Fuente : Elaboración propia

**Figura 3.4:** Dimensiones de las probetas.

Longitud de muesca a borde:  $90 \pm 2^\circ$

Lados adyacentes:  $90^\circ \pm 10 \text{ mm}$

Dimensiones de la sección transversal:  $\pm 0.075 \text{ mm}$  ( $\pm 0.003 \text{ in.}$ )

Longitud de espécimen:  $+0, -2.5 \text{ mm}$  ( $+0, -0.100 \text{ in.}$ )

Centrado de la muesca:  $\pm 1 \text{ mm}$  ( $\pm 0.039 \text{ in.}$ )

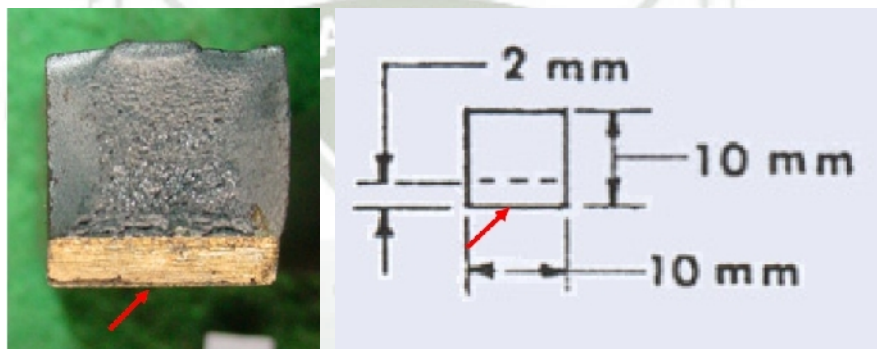
Angulo de la Muesca:  $\pm 1^\circ$

Radio de la Muesca:  $\pm 0.025\text{mm}$  ( $\pm 0.001\text{ in.}$ )

Profundidad de la muesca:

- Especimen tipo A:  $\pm 0.025\text{mm}$  ( $\pm 0.001\text{ in.}$ )
- Especimen tipo B y C:  $\pm 0.075\text{mm}$  ( $\pm 0.003\text{ in.}$ )

Puesto que la muestra que se sometió al ensayo de impacto es del tipo A las medidas que se debe tener en cuenta para la calibración son las mostradas en la figura 3.5.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.5:** Información para calibración.

De lo antes mencionado se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para realizar la calibración:

- La calibración se debe realizar en la arista exterior de la ranura en V, como se indica con la flecha en la figura 3.5, de una de las mitades de la muestra obtenida luego del ensayo de impacto, puesto que esta zona de la muestra no sufre deformación.

Para un procedimiento mas detallado de la calibración véase la sección respectiva en el Manual del Usuario que se presenta en los anexos de este trabajo de tesis. Se

han ensayado probetas sin entalla cuyas dimensiones son mostradas en la figura

3.6.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3.6:** Dimensiones de las probetas utilizadas en la caracterización de la tenacidad.

Procedimiento del ensayo de dureza:

- 1) Lo primero a realizar después de que el soporte o el indentador hayan sido colocados, será la calibración de la máquina con apropiados bloques estandarizados de dureza. Las dos primeras indentaciones realizadas no serán tomadas en cuenta.
- 2) La probeta debe ser sujeta de tal manera que no ocurra desplazamiento durante el ensayo.
- 3) Poner en contacto el indentador con la superficie de la probeta y aplicar la pre carga en dirección perpendicular a la superficie sin impacto o vibraciones.
- 4) Establecer la posición de referencia e incrementar la carga adicional de ensayo, sin impacto ni vibraciones, en un período de 1 a 8 segundos, con lo cual se obtiene la carga total del ensayo dada por la escala de dureza.

- 5) Manteniendo la pre carga del ensayo, retirar la carga adicional de acuerdo al tiempo especificado.
- 6) Durante la realización del ensayo, el aparato deberá ser protegido de choques o vibraciones.
- 7) El número de dureza Rockwell es determinado por la diferencia de profundidades de penetración y es leído directamente.
- 8) Después de cualquier cambio, ya sea retiro o reemplazo del indentador o el soporte, se debe estar seguro que el indentador (o el nuevo soporte) esté correctamente colocado en su posición.
- 9) La distancia entre el centro de dos indentaciones adyacentes debe ser por lo menos tres veces el diámetro de la indentación

### **Metalografía**

El Análisis Metalográfico se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Católica de Santa María.

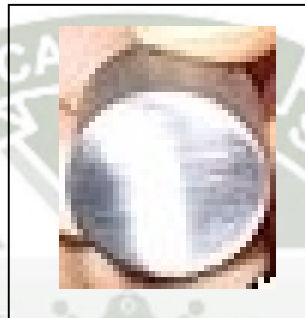
Los procedimientos de ensayo se realizaron de acuerdo a las normas ASTM E3:

“Preparación de Especímenes Metalográficos” y ASTM E407: “Método de Ensayo para Microestructuras de Metales y sus Aleaciones”.

Se necesita una preparación muy cuidadosa de la superficie metálica. La descripción del procedimiento metalográfico empleado se presenta a continuación.

### Preparación de la probeta metalográfica

La metalografía estudia la estructura microscópica de los metales y sus aleaciones. Antes de observar un metal al microscopio, es necesario acondicionar la muestra de manera que quede plana y pulida. **Plana**, porque los sistemas ópticos del microscopio tienen muy poca profundidad de campo y **pulida** porque así observaremos la estructura del metal y no las marcas originadas durante el corte u otros procesos previos.



**Figura 3.7:** Probeta Pulida (Fuente propia)

Las fases de preparación de la probeta metalográfica son las siguientes:

- a. Corte de la muestra
- b. Montaje (opcional)
- c. Desbaste
- d. Pulido
- e. Ataque químico o electrolítico

### a. Corte de la muestra



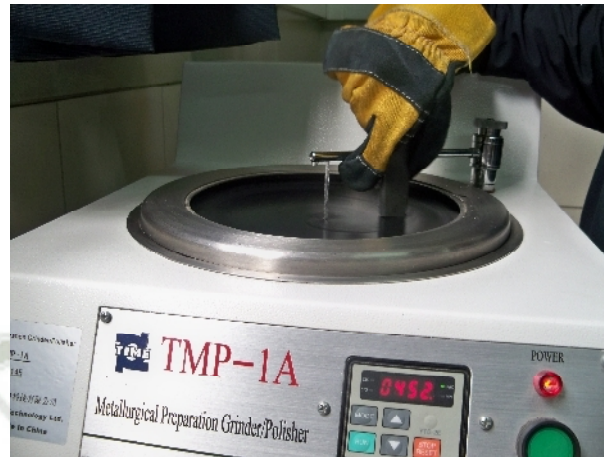
**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

**Figura 3.8:** Cortadora Metalografía

El corte es un proceso en el que se produce calor, por fricción, y se raya el metal.

Si el corte es muy agresivo, no veremos el metal que queremos estudiar sino la estructura resultante de la transformación sufrida por el mismo. Para reducir estos efectos al mínimo, hay que tener en cuenta las siguientes variables: lubricación, corte a bajas revoluciones y poca presión de la probeta sobre el disco de corte.

Las cortadoras metalográficas están provistas de sistemas de refrigeración, regulación de la velocidad de giro del disco y de la presión de corte.

**b. Desbaste**

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

**Figura 3.9:** Pulidora Metalográfica para desbaste grueso.

Durante el proceso de desbaste se eliminan gran parte de las rayas producidas en el corte.

Se realiza en una pulidora empleando discos abrasivos de distintos diámetros de partícula, cada vez más finos.

Cada vez que se cambia de disco, es muy importante limpiar muy bien la probeta con agua abundante para eliminar los posibles restos de partículas del disco anterior, así evitamos que se produzcan rayas por partículas que hayan podido quedar del disco anterior cuando estamos trabajando con un disco de grano más fino.

### c. Pulido

Se realiza con paños especiales, del tipo de los tapices de billar. Como abrasivo, se puede utilizar polvo de diamante o alúmina. El primero se aplica con un aceite especial, para lubricar y extender la pasta de diamante y el segundo con agua.

En el pulido apenas hay arranque de material y lo que se pretende es eliminar todas las rayas producidas en procesos anteriores. El pulido finaliza cuando la probeta es un espejo perfecto.



**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

**Figura 3.10:** Pulidora Metalográfica para desbaste fino.

### d. Ataque químico

En este punto la probeta es plana y está pulida, es un espejo.

El ataque químico pondrá de manifiesto la estructura del metal ya que atacará los bordes de los granos y afectará de manera diferente a las distintas fases presentes en el metal.

Para cada metal y aleación se utiliza un reactivo de ataque diferente. En el caso del acero el más utilizado es el NITAL, que se prepara disolviendo ácido nítrico en etanol. Cuando el acero es inoxidable se suele realizar un ataque electroquímico.

En la fotografía aparece la probeta antes de ser tratada con Nital-5 (nítrico en etanol al 5%). Después del ataque perderá su brillo.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura. 3.11:** Probeta luego de realizarse el pulido final

#### e. Microscopio metalográfico

El microscopio metalográfico se diferencia del ordinario, fundamentalmente, en su sistema de iluminación. La luz no puede atravesar el metal y por tanto la luz entra en el objetivo después de ser reflejada en la probeta metálica.

Los microscopios metalográficos suelen llevar un acoplador para montar una cámara fotográfica o de video ya que, para poder estudiar mejor la estructura del metal, se obtienen microfotografías.

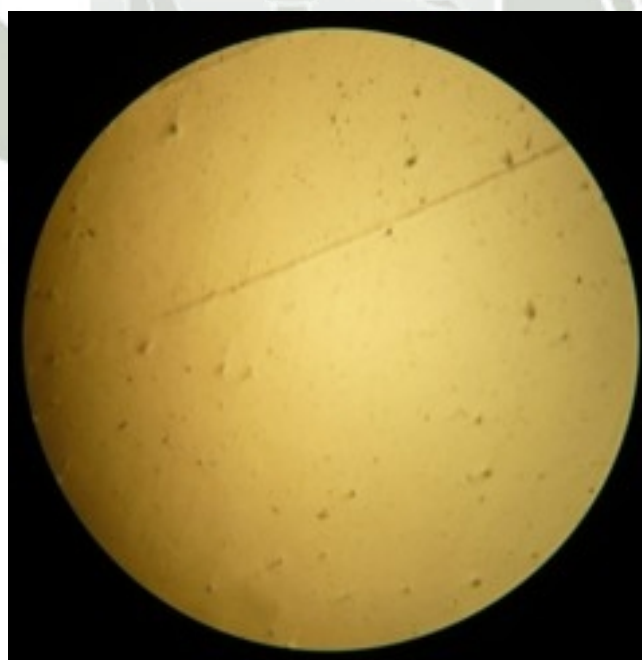


**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

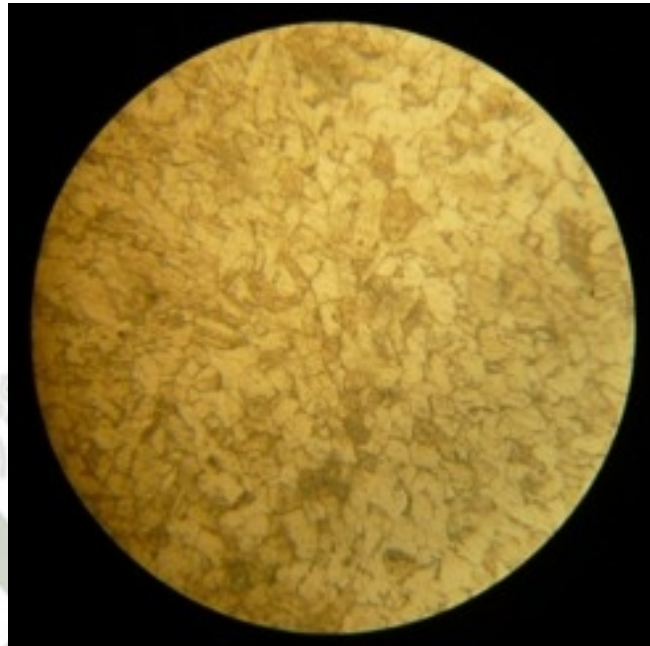
**Figura 3.12:** Microscopio Metalografico DX 40

En la imagen puede verse la probeta sobre la pletina del microscopio, debajo están los objetivos y a la derecha la fuente de luz.

➤ **Resultados**



**Fuente:** Elaboración propia



**Fuente:** Elaboración propia

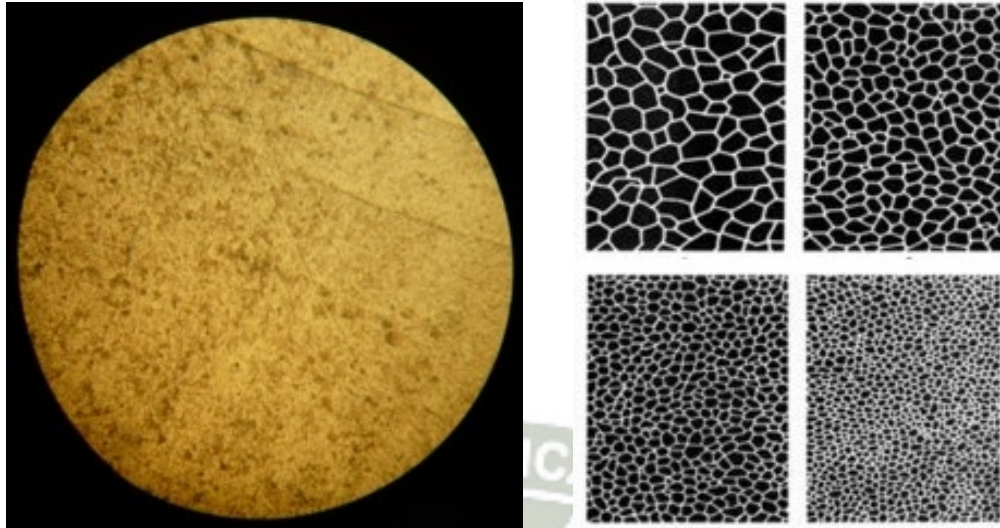
**Figura 3.13:** Probeta metalográfica antes y después del ataque químico.

Estas microfotografías están tomadas a 100X. En ellas se puede observar la probeta antes y después del ataque con ácido nítrico.

La observación directa, sin ataque químico, permite observar la presencia de nódulos de grafito, grietas e irregularidades. Además, en la parte superior se observa una raya no eliminada durante el proceso de pulido.

Después del ataque, aparecen visibles los límites de grano y las distintas fases de la estructura del acero.

➤ **Tamaño de grano**



**Fuente:** Elaboración propia

**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

**Figura 3.14:** Probeta Metalográfica con sus diferentes tamaño de grano

Hay varios métodos para determinar el tamaño de grano de un metal. Uno de ellos consiste en tomar una microfotografía, con una cámara adaptada, a 100X (como la de la imagen de la izquierda) y compararla con los patrones de la ASTM (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales). A partir de estos patrones se pueden deducir el tamaño medio de grano y su superficie.

➤ **Dureza**

La dureza ha sido determinada con un durómetro HOYTOM-tipo Minor 69 mediante el ensayo de penetración, aplicando una carga de 150 Kp con un indentador de cono de diamante con un ángulo entre caras de 120 °. Leyendo

posteriormente por lectura directa, el valor de dureza en la escala Rockwell C. La figura 3.15 muestra una fotografía del durómetro utilizado.

Se ha controlado la dureza obtenida a salida de temple, después de los tratamientos criogénicos y después de realizar los ciclos completos. El valor dado corresponde al promedio de 3 medidas realizadas.



**Fuente:** Laboratorio de Materiales de la UCSM

**Figura 3.15:** Durómetro Digital.

El ensayo de penetración a salida de temple y del tratamiento criogénico se realizó sobre 2 caras desbastadas. En cambio, la dureza después del ciclo completo se obtuvo sobre 2 caras paralelas rectificadas.

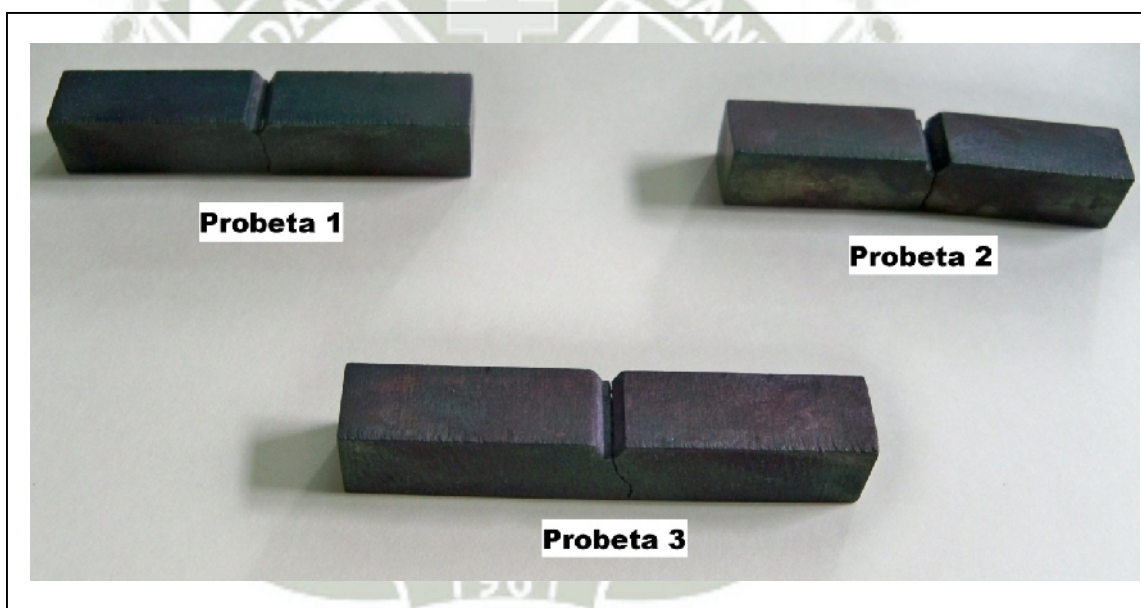
## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1. ANÁLISIS METALOGRÁFICO

##### CARACTERIZACIÓN MICRO ESTRUCTURAL DEL ACERO D3.

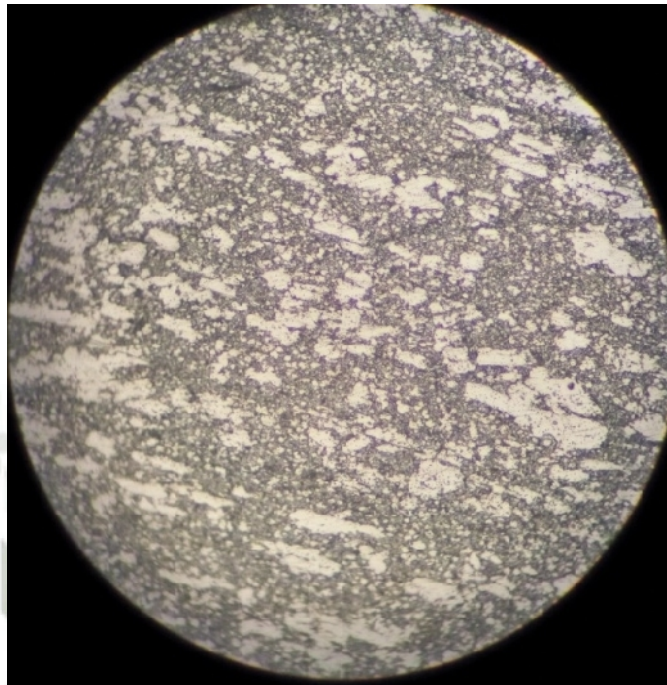
A continuación se muestran las fotografías de la micro estructura, luego de realizar el tratamiento criogénico.



**Fuente:** Elaboración propia

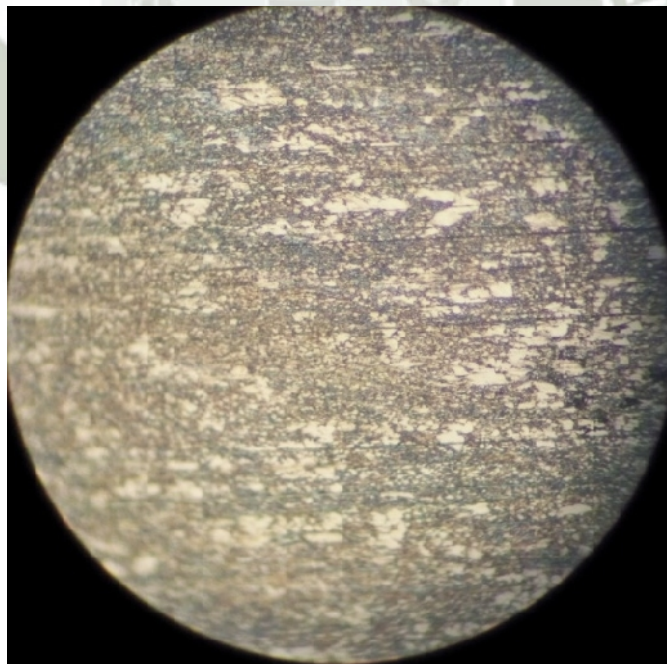
**Figura 4.1:** Probetas del Acero D3

**Probeta 1: Análisis metalográfico**



**Fuente:** Elaboración propia

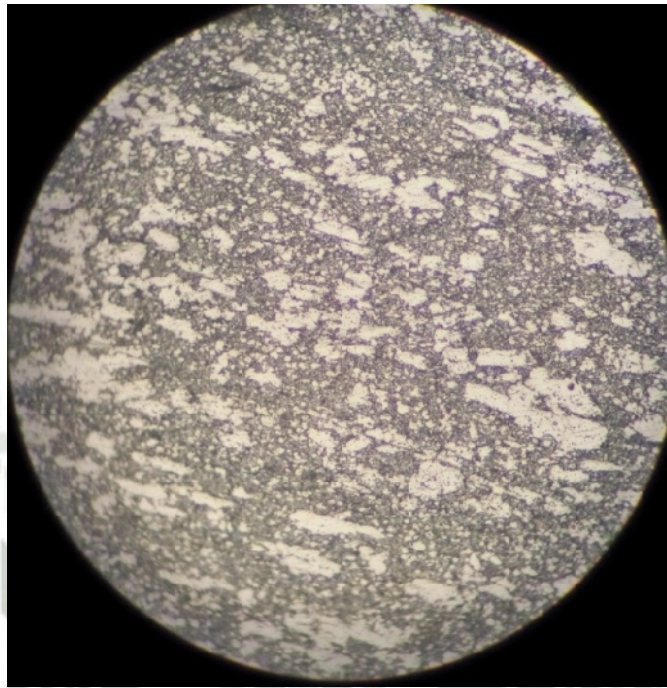
**Figura 4.1a:** Antes de los tratamientos térmicos



**Fuente:** Elaboración propia

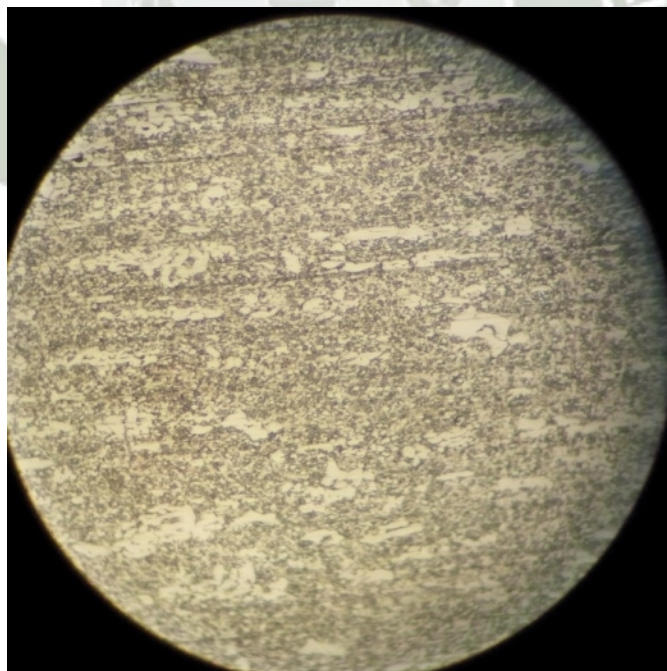
**Figura 4.1b:** Con tratamiento Criogénico.

**Probeta 2: Análisis Metalográfico**



**Fuente:** Elaboración propia

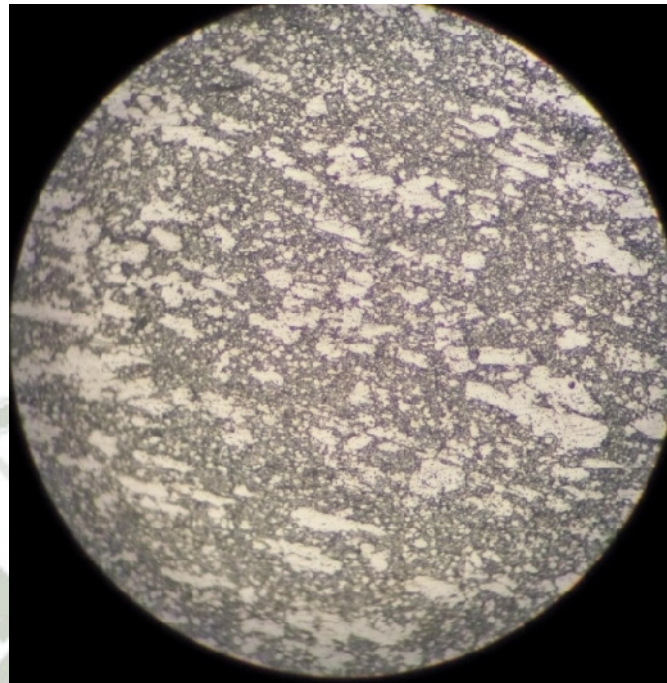
**Figura 4.1c:** Antes de los tratamientos térmicos.



**Fuente:** Elaboración propia

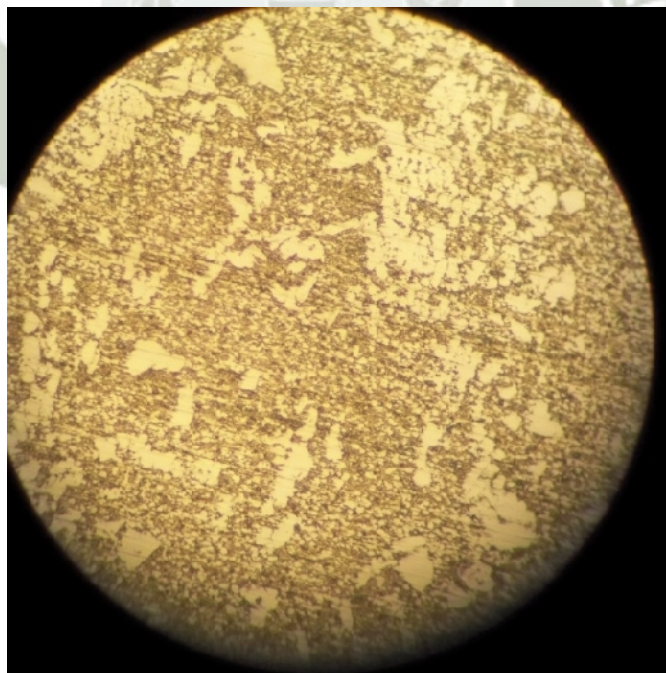
**Figura 4.1d:** Con tratamiento Criogénico.

### Probeta 3: Análisis Metalográfico



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1e: Antes de los tratamientos térmicos.

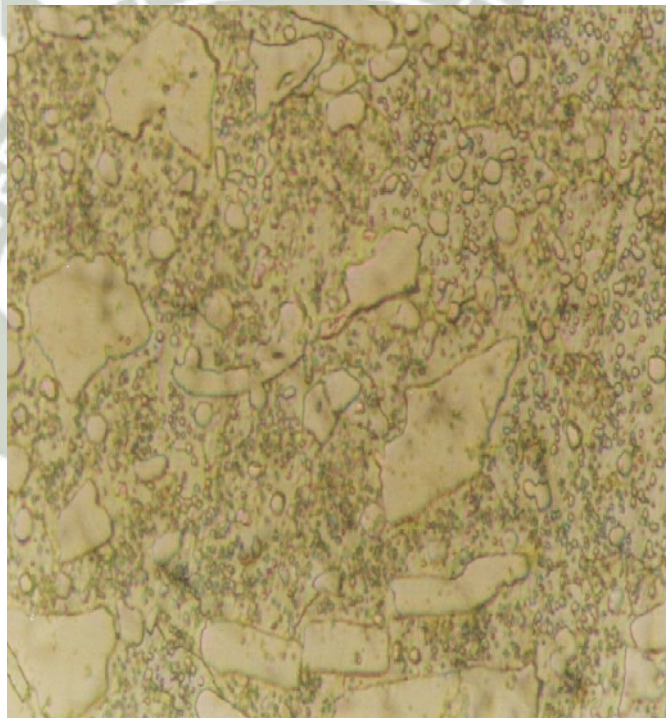


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1f: Con tratamiento Criogénico.

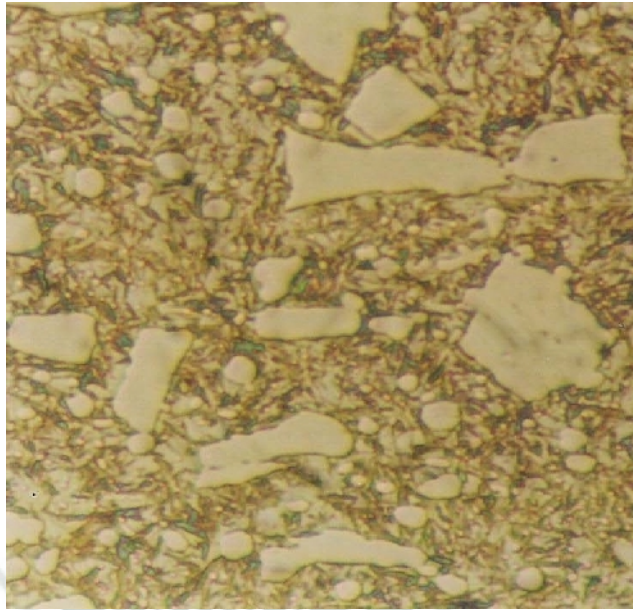
En el análisis metalográfico podemos apreciar la variación en el tamaño de grano, dando lugar a nuevos cambios en sus propiedades mecánicas tales como son su dureza, resistencia al choque y podemos apreciar una gran reducción de los granos, dando lugar al cambio de las faces presentes. Lo cual nos hace suponer la presencia de martensita.

Las fotografías a 100X de una probeta sin tratamiento térmico alguno (Figura 4.2) y de otras con sólo tratamiento de temple convencional (Figuras 4.3 y 4.4) se presentan a continuación.



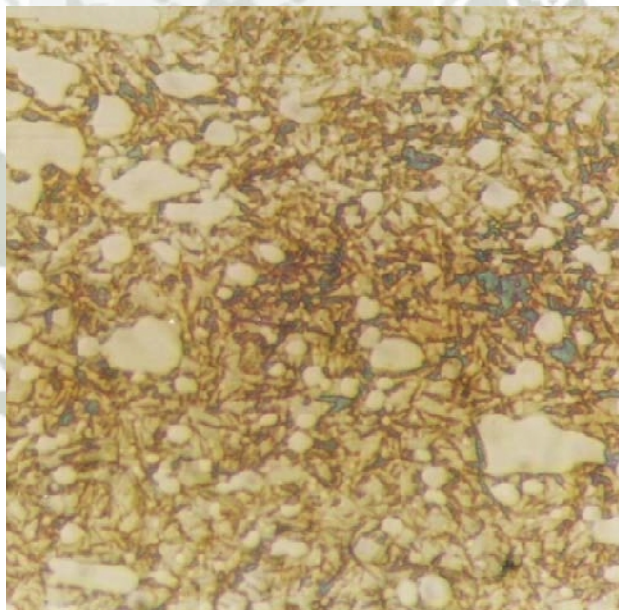
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.2:** Microestructura típica de material sin tratamiento térmico a 100X  
(muestra Sin T.T. de la Probeta 1)



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.3:** Microestructura típica de material tratado térmicamente a 100X  
(Probeta 3)



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4.4:** Microestructura típica de material tratado térmicamente a 100X  
(Probeta 2)

De las fotografías registradas podemos indicar lo siguiente:

- Matriz: martensita revenida, fondo gris moteado.
- Carburos de forma: masivo, poligonal, globular (esferoidal), grueso y fino.
- Discontinuidad microestructural de carburos: Distribución heterogénea.
- Porcentaje de carburos para la muestra Sin T.T.: 20%
- Porcentaje de carburos para la probeta 2: 13%
- Porcentaje de carburos para la probeta 3: 13%

#### 4.2. ENSAYO DE DUREZA.

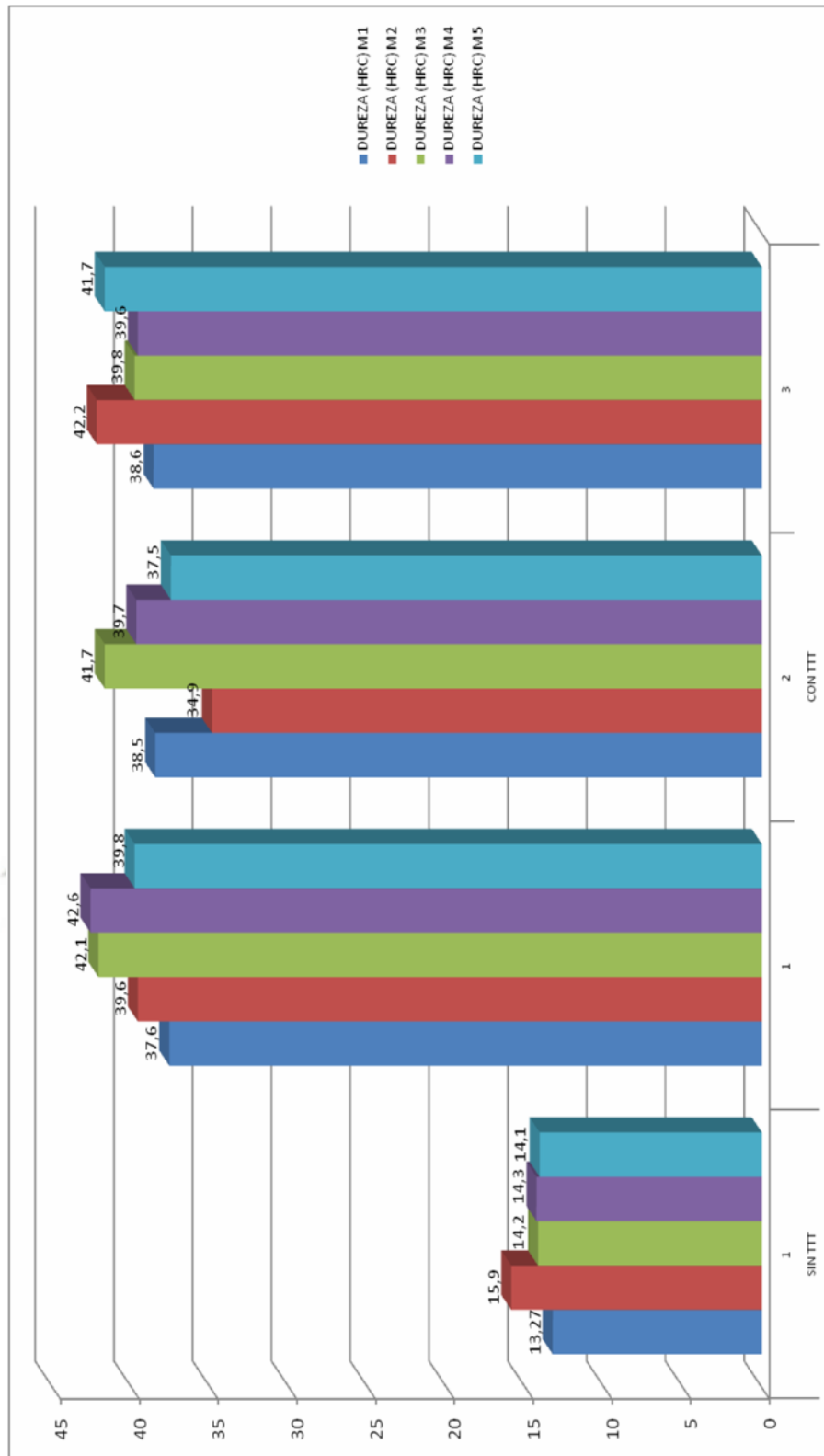
El ensayo de dureza se realizó según la norma ASTM E 18 para la escala Rockwell "C". Los resultados de las durezas obtenidas en el ensayo de Dureza Rockwell C se observan en las Tablas 4.1 para las temperaturas de temple de 940°C y 980°C correspondientes. Las durezas promedios finales están en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.1 Dureza HRC de muestras sin y con TTT.**

MUESTRA		DUREZA (HRC)				
SIN TTT		13.27	15.9	14.2	14.3	14.1
CON TTT	1	37.6	39.6	42.1	42.6	39.8
	2	38.5	34.9	41.7	39.7	37.5
	3	38.6	42.2	39.8	39.6	41.7

**Fuente:** Elaboración propia

Gráfico 4.1 Resultados de Dureza con y sin TTT.

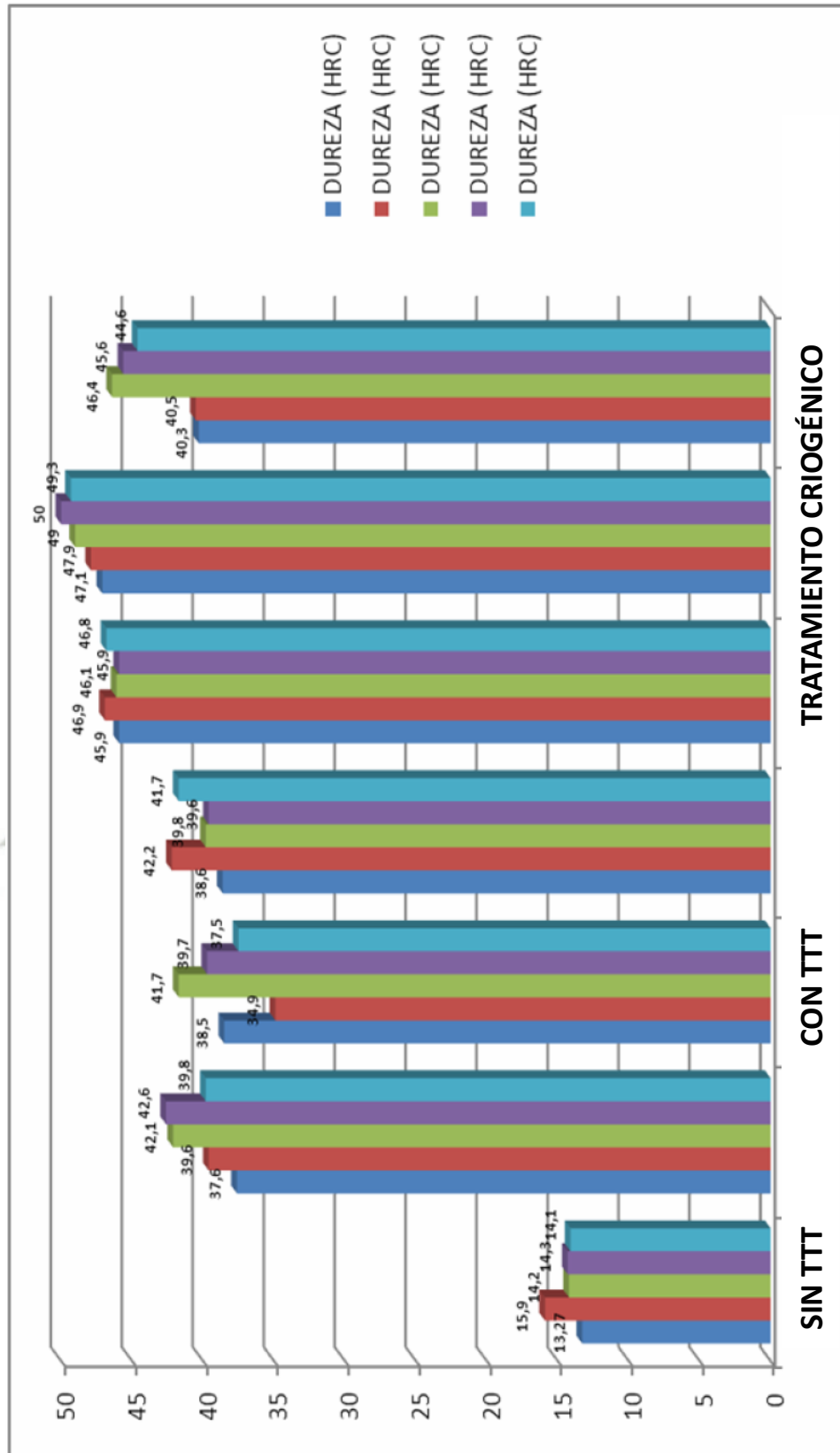


**Tabla 4.2 Dureza HRC de muestras sin TTT, con TTT y con tratamiento Criogénico.**

MUESTRA		DUREZA (HRC)				
SIN TTT		13.27	15.9	14.2	14.3	14.1
CON TTT	1	37.6	39.6	42.1	42.6	39.8
	2	38.5	34.9	41.7	39.7	37.5
	3	38.6	42.2	39.8	39.6	41.7
CON TRATAMIENTO CRIOGENICO	1	45.9	46.9	46.1	45.9	46.8
	2	47.1	47.9	49	50	49.3
	3	40.3	40.5	46.4	45.6	44.6

**Fuente:** Elaboración propia

Gráfico 4.2 Resultados de Dureza HRC de muestras sin TTT, con TTT y con tratamiento Criogénico.

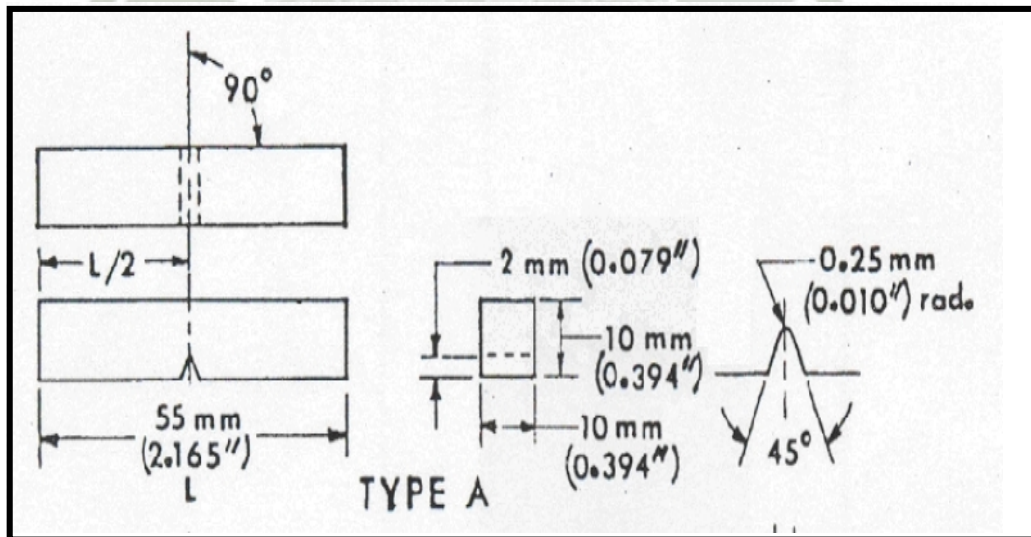


### 4.3 REPORTE ENSAYO CHARPY

Según lo recomendado por la norma ASTM E 23, para el reporte del ensayo de Impacto se debe tener en cuenta lo siguiente:



**Figura 4.5:** Maquina de Charpy

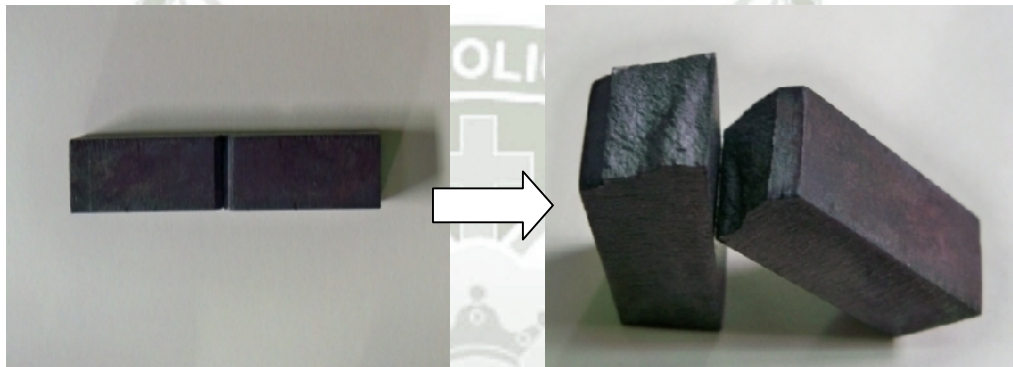


**Figura 4.6:** Características de la probeta para ensayo charpy

De lo antes mencionado se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones para realizar la calibración:

La calibración se debe realizar en la arista exterior de la ranura en V, como se indica con la flecha en la figura, de una de las mitades de la muestra obtenida luego del ensayo de impacto, puesto que esta zona de la muestra no sufre deformación.

Para un procedimiento mas detallado de la calibración véase la sección respectiva en el Manual del Usuario que se presenta en los anexos de este trabajo de tesis.



Fuente: Elaboración propia

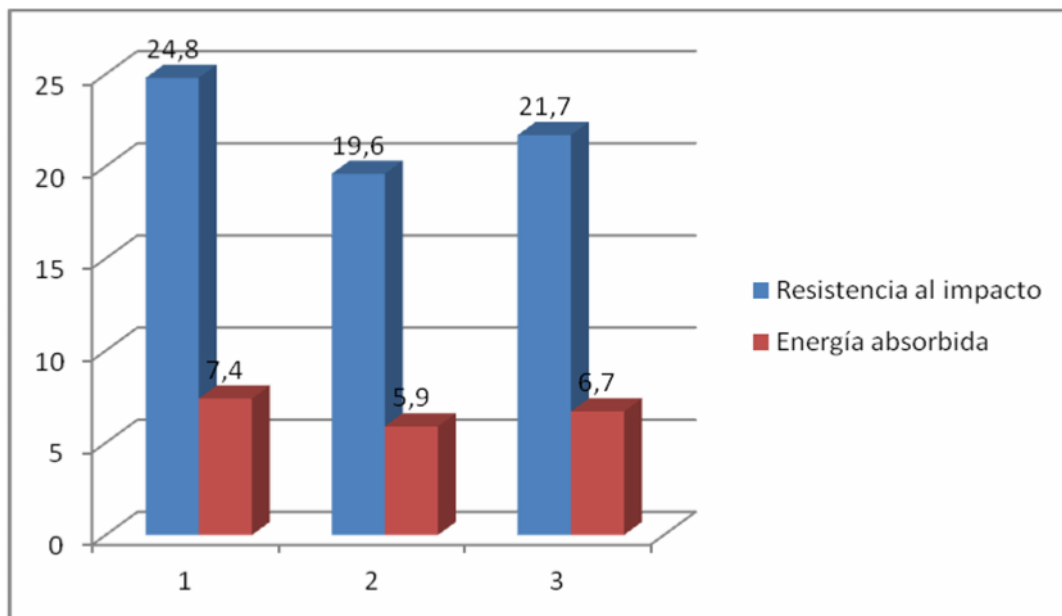
**Figura 4.7:** Probeta antes y después de realizar el ensayo (22°C)

### Valores de Energía Absorbida.

**Tabla 4.3:** Resiliencia de las probetas.

Muestra	Temperatura (°c)	Resistencia al impacto (j/cm <sup>2</sup> )	Energía absorbida (J)
1	22	24.8	7.4
2	22	19.6	5.9
3	22	21.7	6.7

Gráfico 4.3 Resiliencia de las probetas.



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

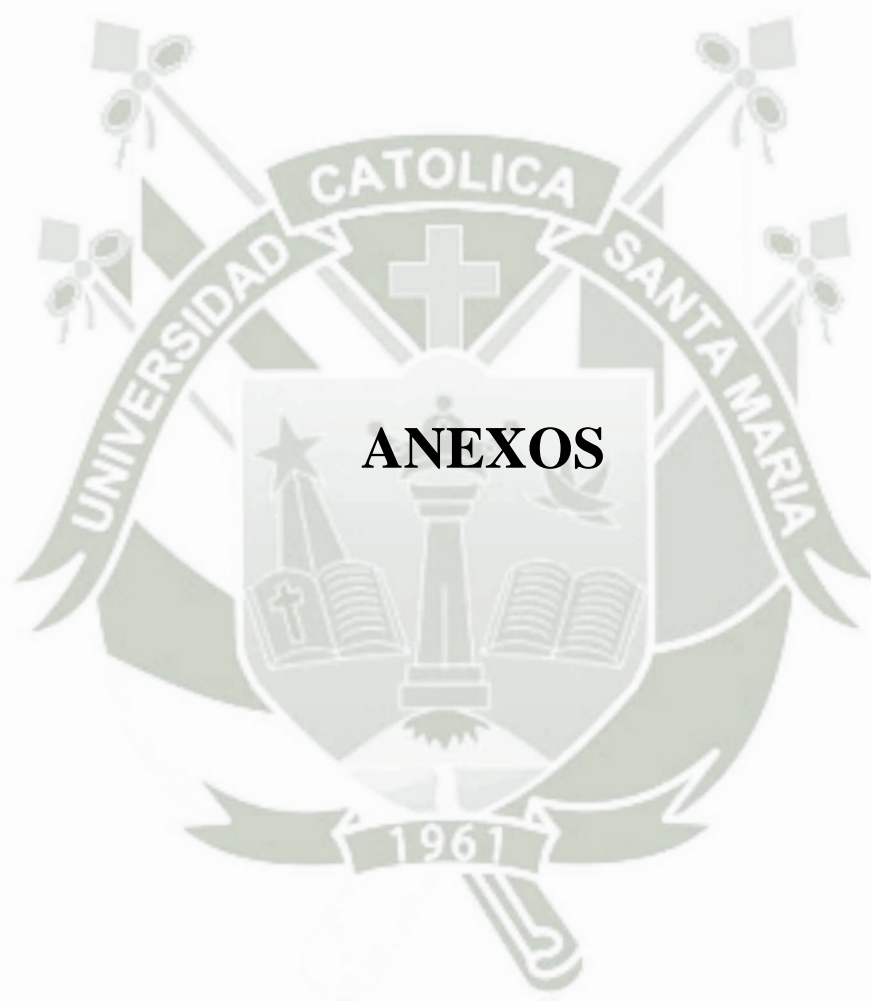
La ejecución de los ensayos y evaluación del presente estudio sobre el acero K100 (AISI D3), nos lleva a las siguientes conclusiones:

- El objetivo directo de los ensayos ejecutados fue medir la variación de sus dureza en la diferentes probetas, las cuales alcanzaron la temperatura deseada de 940 °C; por tanto podemos decir que después de realizados los tratamientos térmicos y criogénicos, si hubo una gran variación en su dureza.
- Para el tratamiento de temple convencional, donde se encontraron los valores de tamaño de granos más altos, se midieron los valores de dureza más bajos. Para el caso de las probetas con tratamiento de temple + criogenia a  $-193^{\circ}\text{C}$ , se midieron la reducción del tamaño de grano, y a su vez dieron los valores de durezas más altos.
- A temperaturas más bajas de tratamiento criogénico, la dureza del acero aumenta. Sin embargo, la variación de resultados a  $-80^{\circ}\text{C}$  en comparación con los de a  $-193^{\circ}\text{C}$  es muy pequeña (1%); esto indicaría, desde el punto de vista ingenieril, que no es justificado el tratamiento térmico de estos aceros a temperaturas criogénicas más bajas de  $-80^{\circ}\text{C}$ . Aún así, desde el punto de vista académico podemos decir que a temperaturas más bajas de tratamiento criogénico, la dureza aumenta.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) ASTM, American Society for Testing and Materials. Standard Test methods for notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, E23-98 , Annual Book of ASTM Standards, 1998.
- 2) ASTM, American Society for testing and Materials. G 65-94. Standard Test Method for Measuring Abrasión Using the Dry Sand/ Rubber Wheel Apparatus. G 65-94, Annual Book of ASTM Standards Report, 1994.
- 3) BABU, S., RIBEIRO, D., SHIUPURI, R. Material and surface engineering for precisión Forging Dies. The Ohio State University. 1999, p.24 [http://www.forging.orQ/members/docs/pdf/DieMatReport.PDF. 19 de Diciembre de 2003 ]
- 4) BAENA, A, M,, PALACIOS, J,M. Los aceros de herramienta y su tratamiento térmico (2a parte). Tratamientos Térmicos 76, Febrero 2003 ,p. 41 - 42.
- 5) BARRON, R, F., MULHERN, C, R. Cryogenics treatment of AISI T8 and C1045 steels. Advances in Cryogenics Engineering Materials, Vol 26, 1980, p. 171 -179.
- 6) BOURNE, G,R,, SAWYER, W, G., KAUFMAN, M,J,. Effects of cryogenic treatment of AISI D2 tool steel. STLE -Annual Meeting 2003. [ http://nersp.nerdc.ufl.edu/-wsawver/presentations/crvostle2003.swf , 8 de enero 2004]
- 7) COLLINS, D,N., DORMER, J. Deep cryogenic treatment of a D2 cold Work tool steel. Heat Treatment of Metals 3, 1997, p. 71.
- 8) DELSTAR METAL FINISHING INC. EMPRESA DE TRATAMIENTOS CRIOGÉNICOS. Grados de aceros de herramienta que mostraron mejoras significativas en la resistencia al desgaste del estudio de R. F. Barron, Louisiana

- Polytecnic Institute, 1974. [<http://www.onecrvo.com/onecrvo/manufact.htm>. 10 febrero 2004]
- 9) HUANG, J,Y., [ et al. ]. Microestructure of cryogenic treated M2 tool steel. Materials Science and Engineering. A339 (1-2), 2003, p. 241 - 244.
- 10) INTEGRATED CRYOGENIC SYSTEMS INC. EMPRESA DE
- 11) KULMBURG, A.JLLMAIER, H., KÜRBISCH, W. Tratamiento al vacío de herramientas y moldes con especial énfasis en un temple óptimo. Tratermat. 1980, p. 437-452.
- 12) LIPSON, C. Wear Considerations in Design. Prentice-Hall, Englewood Clifts, New Jersey. 1967.p. 46.
- 13) MENG, F., [ et al. ]. Role of eta-carbide precipitation's in the wear resistance improvements of Fe-12Cr-Mo-V-1,4C tool steel by cryogenic treatment. ISIJ International. Vol. 34(2), 1994,p. 205 - 210.
- 14) ONE CRYO CRYOGENIC TEMPERING INC. EMPRESA DE TRATAMIENTOS CRIOGÉNICOS. Grados de aceros de herramienta que mostraron mejoras significativas en la resistencia al desgaste del estudio de R. F. Barran. Louisiana polytecnic ínstitute, 1974. [<http://www.onecrvo.com/onecrvo/manufact.htm>. 8 de enero 2004]
- 15) TRATAMIENTOS CRIOGÉNICOS. Grados de aceros de herramienta que mostraron mejoras significativas en la resistencia al desgaste del estudio de R. F, Barron. Louisiana Polytecnic Institute, 1974. [<http://www.cryointegritv.com/extend.htm>. 12 de febrero 2004]



## GUIA DE PRACTICA

### ENSAYO DE CHARPY

#### 1. OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento de los materiales metálicos al ser sometidos a un esfuerzo de impacto.
- Determinar la velocidad en el momento del Impacto y la altura inicial a la que es llevado el martillo seleccionado.
- Identificar los comportamientos frágil y dúctil en la fractura de los metales, mediante observación visual.
- Observar y reconocer las posibles diferencias que presentan los diversos materiales en cuanto a ductilidad y fragilidad (en cuanto a su tolerancia a la deformación).

#### 2. INTRODUCCION

La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturar. Evalúa la habilidad de un material de soportar un impacto sin fracturarse.

Esta propiedad se valora mediante una prueba sencilla en una máquina de ensayos de impacto. Hay dos métodos diferentes para evaluar esta propiedad. Se denominan ensayos de Charpy. La diferencia entre los dos radica en la forma como se posiciona la muestra. La probeta que se utiliza para ambos ensayos es una barra de sección transversal cuadrada dentro de la cual se ha realizado una talla en forma de V.

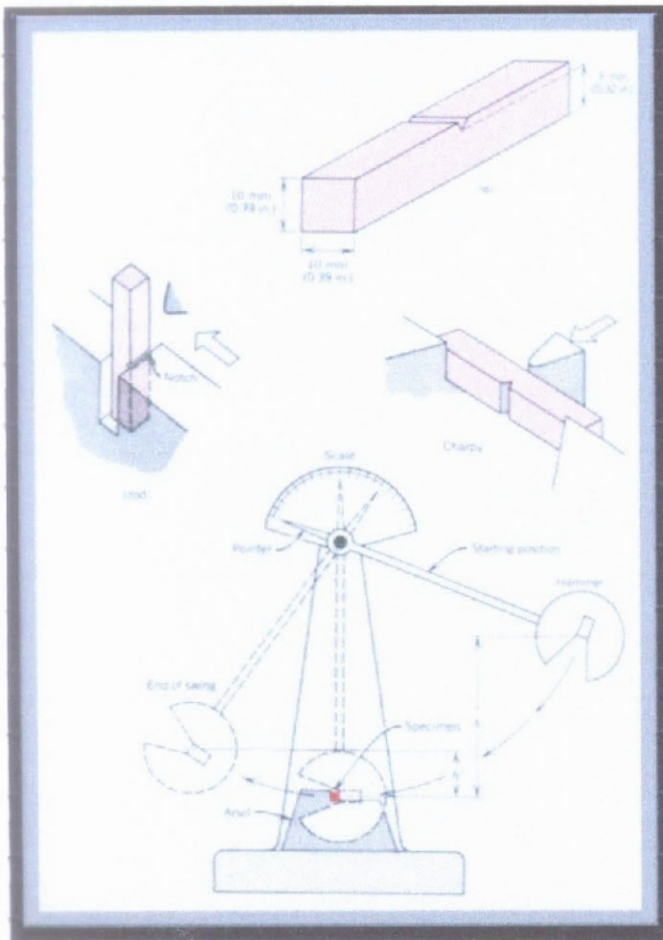
Esta probeta se sostiene mediante mordazas paralelas que se localizan de forma horizontal en el ensayo tipo Charpy. Se lanza un pesado péndulo desde una altura  $h$  conocida, este péndulo golpea la muestra al descender y la fractura. Si se conoce la masa del péndulo y la diferencia entre la altura final e inicial, se puede calcular la energía absorbida por la fractura.

El ensayo de impacto genera datos útiles cuantitativos en cuanto a la resistencia del material al impacto. Sin embargo, no proporcionan datos adecuados para el diseño de secciones de materiales que contengan grietas o defectos. Este tipo de datos se obtiene desde la disciplina de la Mecánica de la Fractura, en la cual se realizan estudios teóricos y experimentales de la fractura de materiales estructurales que contienen grietas o defectos preexistentes.

#### 3. METODO DE ENSAYO

Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillo pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada, realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas el método Izod y el método Charpy. En ambos casos la rotura se produce por flexionamiento de la probeta, la diferencia radica en la posición de la probeta entallada, como se muestra en la figura por lo que se los denomina flexión por choque.

El péndulo de Charpy es un dispositivo utilizado en ensayo para determinar la tenacidad de un material. Son ensayos de impacto de una probeta entallada y ensayada a flexión en 3 puntos. El péndulo cae sobre el dorso de la probeta y la parte. La diferencia entre la altura inicial del péndulo ( $h$ ) y la final tras el impacto ( $h'$ ) permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta. En estricto rigor se mide la energía absorbida en el aérea debajo de la curva de carga, desplazamiento que se conoce como resiliencia. La velocidad que adquiere la masa al golpear la probeta queda determinada por la altura del péndulo. Tras la rotura, la



masa continúa su camino hasta llegar a una cierta altura, a partir de la cual se determina la energía absorbida. Así se medirá la energía absorbida por ese golpe. Las probetas que fallan en forma frágil se rompen en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad se doblan sin romperse. Este comportamiento es muy dependiente de la temperatura y la composición química, esto obliga a realizar el ensayo con probetas a distinta temperatura, para evaluar la existencia de una "temperatura de transición dúctil-frágil".

La energía absorbida por la probeta (en [J]), se puede medir calculando la diferencia de energía del péndulo antes y después del impacto, mediante la altura a la que llega el péndulo después de romper la probeta ecuación 1.1). El problema de este método es que resulta muy inexacto medir la altura a la que llega la masa, entonces como se sabe el ángulo inicial del péndulo ( $\alpha$ ) y la máquina registra el ángulo final ( $\beta$ ), mediante relaciones trigonométricas se llega a relacionar la energía absorbida en función de los ángulos y el largo del brazo en la ecuación 1.2.

$$E_{abs} = m \cdot g \cdot (h - h') \quad (1.1)$$

$$E_{abs} = m \cdot g \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1.2)$$

Cuanta mayor sea la fragilidad del material y menor su tenacidad más fácilmente romperá el péndulo la probeta y mayor altura alcanzará tras el impacto. Materiales muy dúctiles y tenaces que son capaces de absorber grandes cantidades de energía de impacto pueden incluso resistir el choque sin llegar a romperse; en este caso el valor de la resiliencia queda sin determinar.

#### ❖ RESILIENCIA

En materiales sometidos a efectos exteriores instantáneos o variaciones bruscas de las cargas, las que pueden aparecer circunstancialmente, su rotura se produce generalmente, al no aceptar deformaciones plásticas o por fragilidad, aun en aquellos metales considerados como dúctiles.

Los ensayos de choque determinan la fragilidad o capacidad de un material de absorber cargas instantáneas, por el trabajo necesario para introducir la fractura de la probeta de un solo choque, el que se refiere a la unidad de área, para obtener lo que se denomina resiliencia. Este nuevo concepto, tampoco nos ofrece una propiedad definida del material, sino que constituye un índice comparativo de su plasticidad, con respecto a las obtenidas en otros ensayos

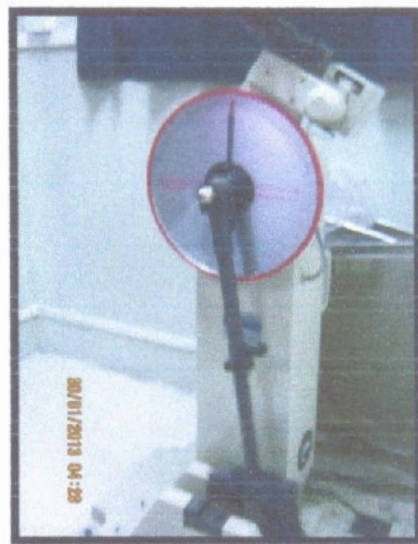
realizados en idénticas condiciones, por lo que se debe tener muy en cuenta los distintos factores que inciden sobre ella.

#### 4. MATERIALES Y EQUIPOS:

- Perfiles cuadrados de  $\frac{1}{2}$ "
- Péndulo de impacto
- Martillo

#### 5. PROCEDIMIENTO:

1. Conectar y encender el equipo, seleccionar en el modo las condiciones requeridas; masa del martillo, unidades de la energía (joule). Usted observará el siguiente screen.



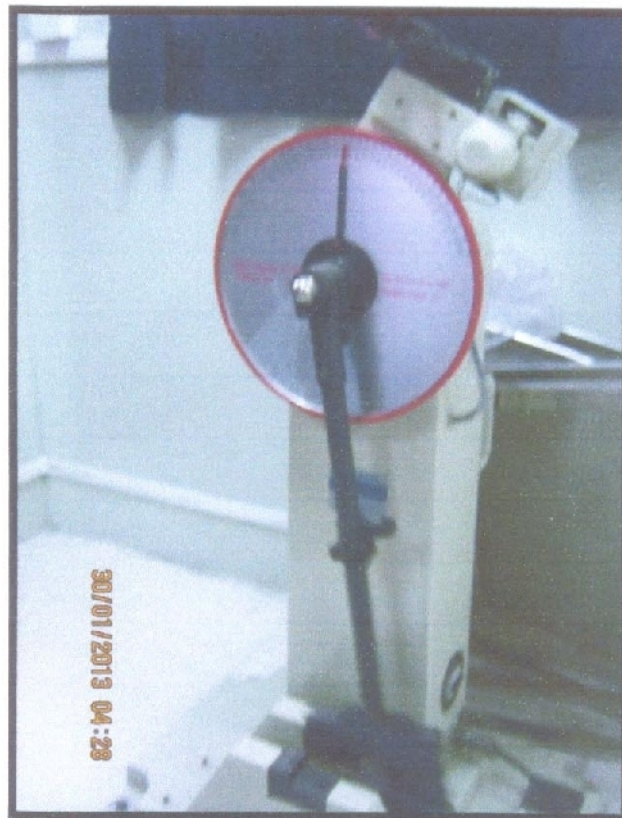
2. Subir el martillo a la posición más elevada con la palanca en posición Enlanche (Enlanchada). Presionar el Botón compensate y usted verá que comenzará a parpadear (listo para medir).

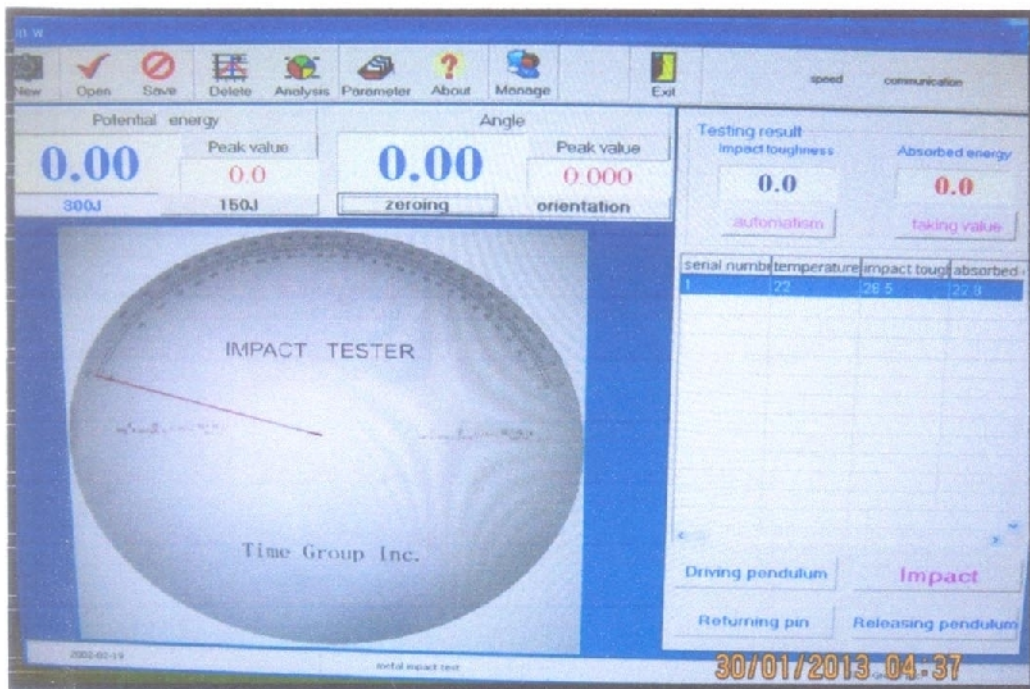


3. Llevar la palanca hasta el tope central Release (Soltar). Tenga precaución de realizar esta paso a una distancia de 1m en frente de la máquina y se debe colocar esas mallas de protección. De esta manera se realiza una prueba en vacío sobre el equipo.

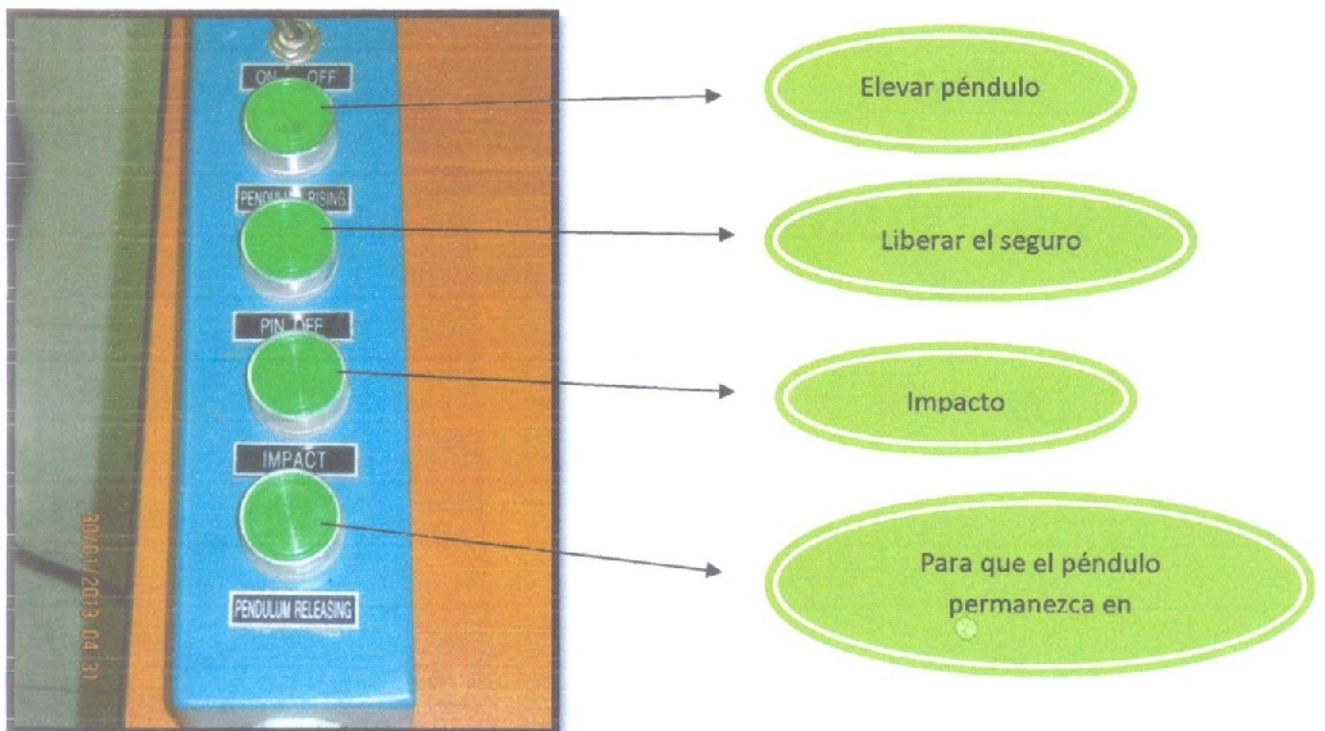


4. El péndulo descenderá y sólo cuando en la pantalla registre el valor de la energía perdida o compensate, podrá retirar el pin de la posición release y llevar la palanca hasta la posición de Brake (freno). Anote dicho valor.





5. Cuando el martillo esté totalmente estático, retorne la palanca a la posición de enlanche o inicial, de esta manera se desactivará el freno, al igual inserte el pin en el agujero dispuesto para este.



6. Asegure el martillo en una posición baja por seguridad y con el pasador en aluminio, como se indica en la figura y posteriormente ubique la probeta con la ranura adecuada y utilizando la galga para dicho centraje en los apoyos de la máquina.



7. Es necesario que utilice varias probetas para este ensayo de manera que al final pueda determinar el promedio del material que está ensayando. No olvide registrar el compensante en cada prueba pues este varía de en relación a las pérdidas por fricción, para lo cual repita los pasos 2 al 7. Entre ensayo y ensayo.

#### 5. RESULTADOS:

❖ TABLA N°1

MATERIAL ENSAYADO	ENERGIA DE IMPACTO UTILIZADA (J)	TENACIDAD (PA)	ANGULO DE ELEVACION

❖ TABLA N°2

PROBETAS	m MASA DE LA PROBETA (Kg)	Ef ENERGÍA DISIPADA POR FRICCIONES (Kp.m)	Ef ENERGÍA DISIPADA POR FRICCIONES (J)	Ek ENERGÍA CINETICA DE LOS TROZOS (J)	Ei ENERGÍA MOSTRADA POR EL INDICADOR (Kp.m)	Ei ENERGÍA MOSTRADA POR EL INDICADOR (J)	Er ENERGÍA DE DESTRUCCION DE LA PROBETA (J)

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados es uno de los aspectos más importantes al realizar un reporte. Discuta de manera grupal o individual, los resultados obtenidos a partir de la práctica realizada.

## 7. RECOMENDACIONES

Mencione cinco recomendaciones que deban tomarse en cuenta para la realización adecuada de la práctica.

- 
- 
- 
- 
-

## 8. CONCLUSIONES GENERALES

Escriba de manera breve y clara, las conclusiones a las que llego después de realizar la práctica.

- 
- 
- 

## 9. CUESTIONARIO

1. Bajo qué tipo de normas se pueden realizar los ensayos de impacto.
2. Cual es la velocidad de impacto y la altura inicial del martillo.
3. Describa el tipo de fractura presente en el material y concluya el tipo de fractura presente en el ensayo.
4. Elabore una ficha técnica con los resultados obtenidos en el ensayo resaltando las características y las propiedades del material que fue sometido al ensayo.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Hibbeler R, Mecánica de Materiales. Tercera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana SA. México D.F., 856 páginas
- Riley W, Mecánica de Materiales. Primera Edición. Limusa Wiley. Mexico D. F. 708 paginas
- Mott R. Resistencia de Materiales Aplicada. Tercera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana SA. Mexico D.F., 640 páginas.
- Norton R, Diseño de Máquinas. Primera Edición. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A México D.F., 1048 páginas.
- <http://www.buenastareas.com/ensayos/Ensayo-De-Impacto/497022.html>



**SUMINDU**  
ACEROS ESPECIALES E INOXIDABLES

CALIDAD  
**AISI D3**  
ACERO PARA  
HERRAMIENTAS

Color de Identificación:

Amarillo

**ESPECIFICACION TÉCNICA DEL MATERIAL**

**NORMAS EQUIVALENTES**

AFNOR (Fr)	Z200C12
BS (Ingl)	BD3
DIN (Alem)	12080
JIS (Jap)	SKD1
UNI (Ital)	X210Cr13Ku
Grado Thyssen	Thyrodur 2080

**RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA**

CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
2.00 - 2.35	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.25 - 0.45	0.25 - 0.45
CROMO	NIQUEL	MOLIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
11.00 - 13.00	—	—	1.00 (Max)	1.00 (Max)

**CARACTERÍSTICAS GENERALES**

Es un acero para herramientas con alto contenido de Carbono y Cromo.

Gran resistencia al desgaste.

Alta dureza superficial.

Gran estabilidad dimensional.

Gran resistencia a la compresión.

Alta templabilidad pero inferior a la del AISI D2.

**APLICACIONES**

Herramientas para corte de piezas (punzonado, desbastado, cizallado, etc).

Cizallas circulares.

Fresas para madera, brocas y buriles.

Dados para extrusión en frío.

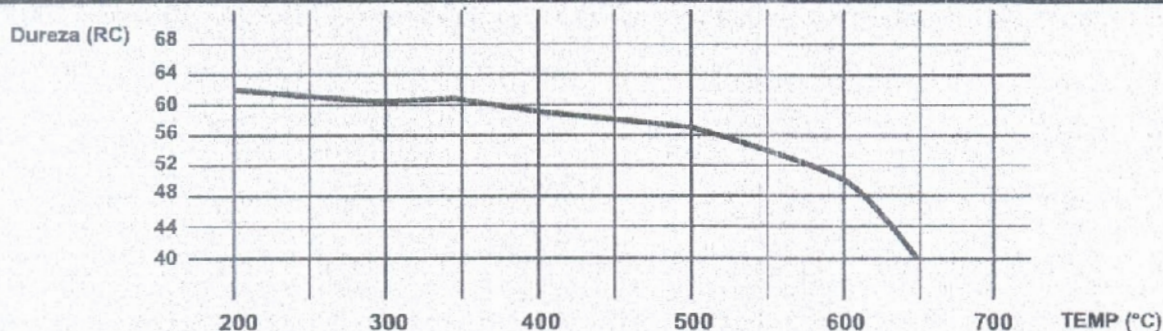
Rodillos para formar tubos y perfiles.

Matricería y troquelaría.

**TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL**

TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	NO NORMALIZAR			
RECOCIDO	870 - 900	HORNO		255 (Max)
TEMPLE	925 - 980	ACEITE, SALES	66 (Max)	
REVENIDO	200 - 540		56 - 62	
CEMENTACIÓN				

**CURVA DE REVENIDO**



**ESTADO DE ENTREGA**

[www.sumindu.com](http://www.sumindu.com)

Recocido Blando, Durezas (Ver Certificado de Calidad).  
Premaquinado, Laminado o Forjado según medidas.

K 100

ESPECIAL K

AISI : D3  
DIN : X 210 Cr 12  
W N : 1.2080

Tipo de aleación : C 2,00 máx. Cr 12,0 %  
Color de identificación : Amarillo - Blanco  
Estado de suministro : Recocido 250 HB máx.

Marca standard de los aceros ledeburíticos al 12% de cromo para herramientas de corte y estampado de alto rendimiento.

**APLICACIONES:** Matrices cortantes de alto rendimiento, hasta espesores de 8mm, rasquetas, cuchillas para guillotinas para cortar espesores hasta 4mm, herramientas para rebarba, rodillos y peines para roscar, bordear, acanalar y moletear. Estampas y cuños para embutir en frío.

Dados para trefilar metales no ferrosos. Placas, moldes y cuños para la elaboración de materiales cerámicos muy abrasivos. Herramientas para prensar en la industria farmacéutica.

#### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

Forjar: 1050 - 850 °C

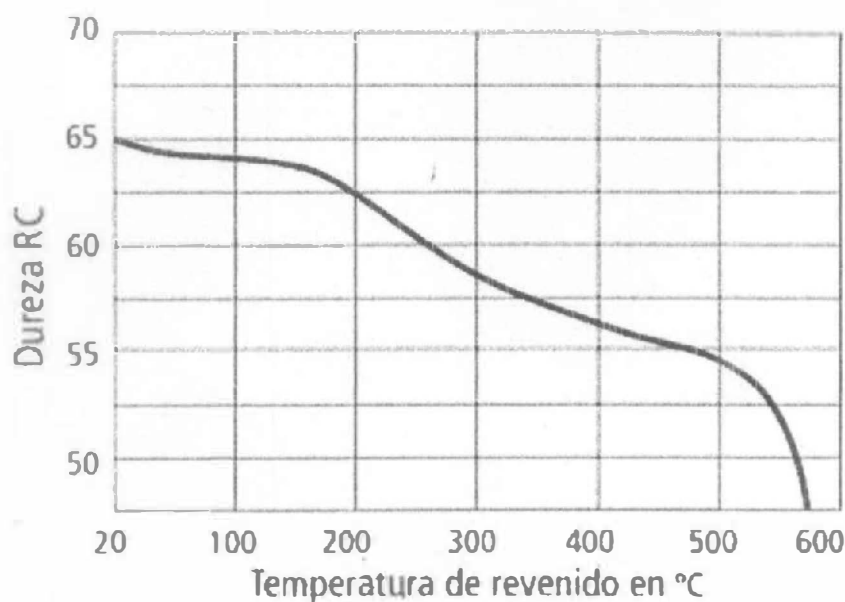
Recocer: (Enfriamiento lento en el horno) 800 - 850 °C

Templar: 940 - 970 °C

Enfriamiento: (Aceite, baño isotérmico)

Dureza Obtenible: al aceite 63 - 65 HRC

Revenido: Según Diagrama



Duración del revenido:  
1 hora.  
Sección de la probeta:  
□ 20 mm.

# Cincinnati Tool Steel Company

Phone #: (815) 226-8800 (800) 435-0717 Fax #: (815) 226-4388

## AISI D3

### High Carbon/High Chrome Tool Steel

D3 is a high carbon-high chromium steel developed for applications requiring high resistance to wear or to abrasion and for resistance to heavy pressure rather than to sudden shock. Because of these qualities and its non-deforming properties, D3 is unsurpassed for die work on long production runs. It is primarily an oil-hardening steel, and it hardens to a great depth. The production from a die after each grind is consistently uniform. While the impact strength is comparatively low, by proper adjustment of tool design and heat treatment, this steel has been used successfully for punches and dies on quite heavy material (up to 1/4 inch thick).

Among the more important applications of D3 are the following:

- Blanking, stamping, and cold forming dies and punches for long runs; lamination dies
- Bending, forming, and seaming rolls
- Cold trimmer dies or rolls
- Burnishing dies or rolls
- Plug gages
- Drawing dies for bars or wire
- Slitting cutters
- Lathe centers subject to severe wear

### Typical Analysis

Carbon 2.20	Vanadium 1.00
Chromium 12.00	

### Annealing

Pack annealing is preferable for D3. Heat slowly to 1600°F-1650°F and allow the charge to equalize at this temperature, then cool slowly in the furnace. In the fully annealed condition, D3 will have a Brinell hardness of 212-248.

### Hardening

In general, pack hardening is recommended unless controlled atmospheric furnaces are available. Heat slowly and uniformly to 1750-1800°F. Hold 1 to 3 hours at temperature for tools of ordinary size, or until thoroughly heated through. If it is desired to heat in an open fire, preheat slowly to 1300-1400°F and raise to the hardening temperature. Quench in oil. The quenching oil should be slightly warm to the touch to insure proper fluidity.

## Tempering

The usual tempering temperatures range from 300 to 500°F for tools working on medium to light gage material. Tools subject to shock, such as punches working on heavy stock, should be tempered at higher temperatures, 750 to 1000°F. It is desirable to temper in an electric furnace rather than in a molten bath or on a hot plate. The time should be approximately 1 hour at temperature for each inch of thickness. When tempering at 750- 1000°F, double tempering is recommended.

### Mean Thermal Coefficient of Expansion

Temperature	Coefficients
<u>Range °F</u>	<u>in./in./°F</u>
70-200	6.74
70-300	6.74
70-400	6.82
70-500	6.87
70-600	6.98
70-700	6.98
70-800	7.19
70-900	7.29
70-1000	7.37
70-1100	7.43
70-1200	7.48
70-1300	7.52
70-1400	7.63

**Hardening and Tempering Series – Next Page**

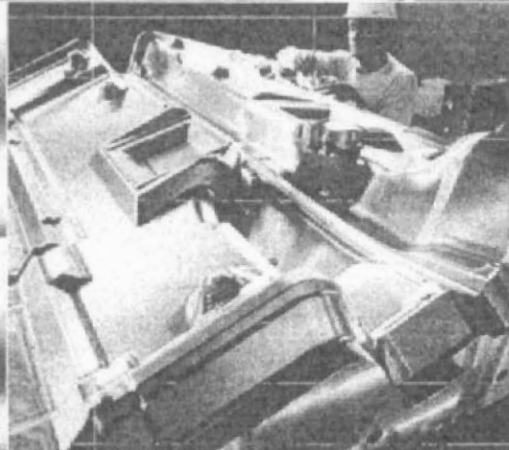
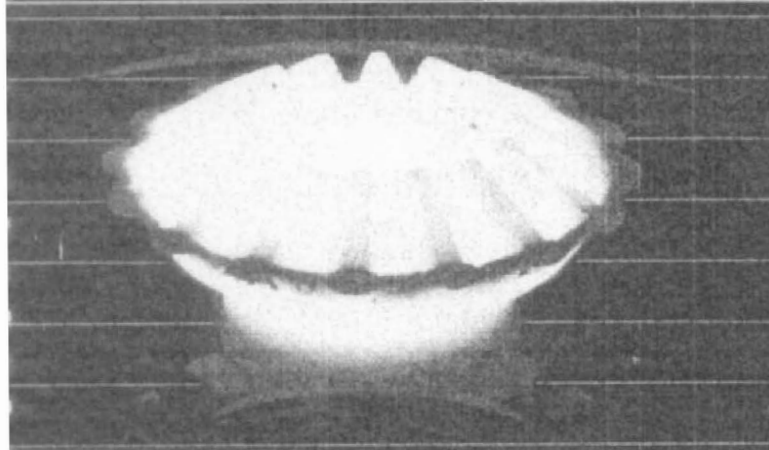
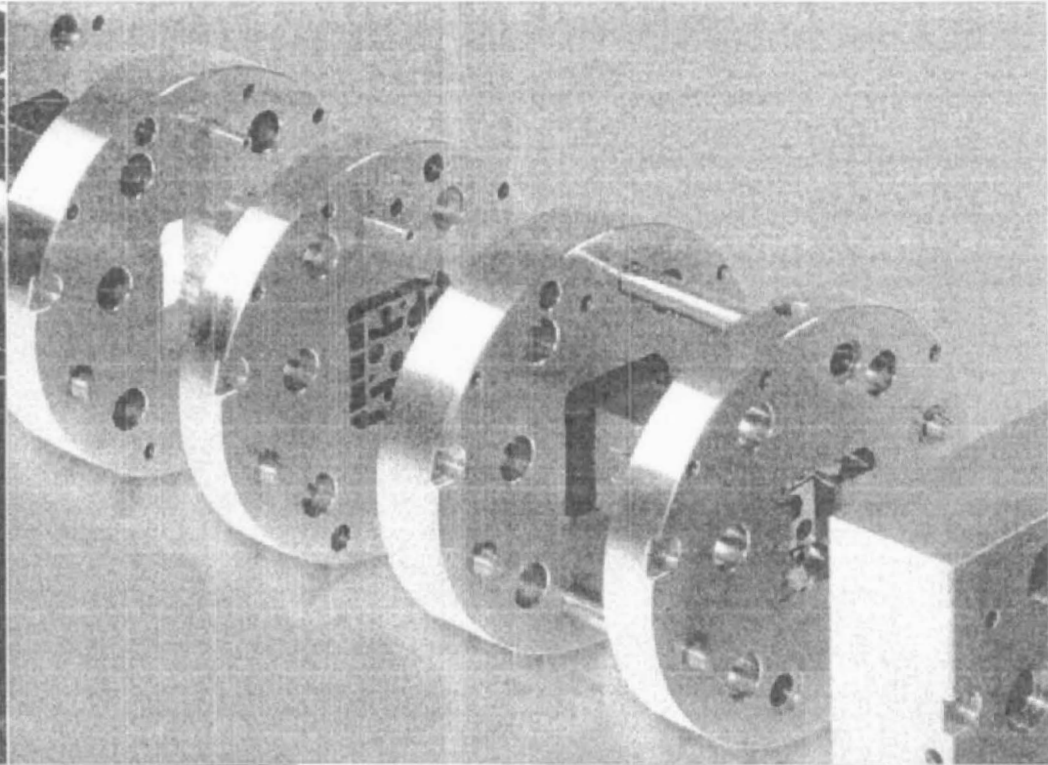
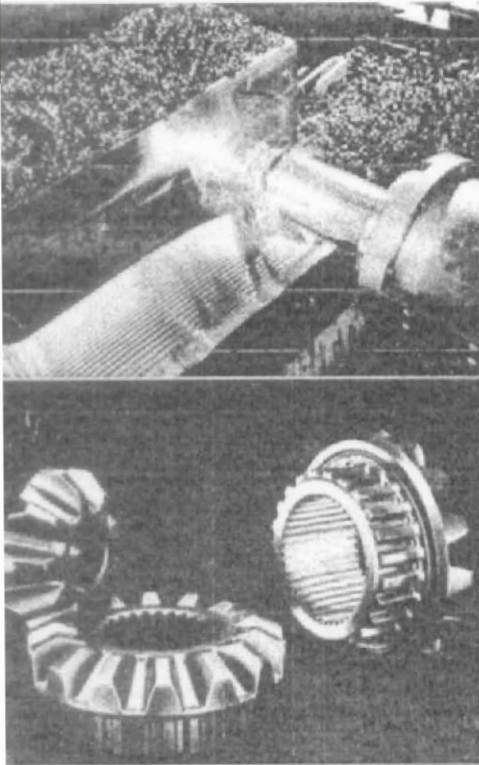
## Hardening and Tempering Series:

Ground and polished bars 1 inch round by 2 inches long were preheated at 1200°F. The samples were transferred to an electric furnace with an atmosphere of about 10 percent CO held for 30 minutes, and quenched in oil. They were then fractured and tested for hardness. Samples were tempered cumulatively for 1 hour at the indicated temperature.

The best hardening range for both open fire and pack hardening is 150-1800°F. Sections 1 inch thick and under will harden in air from 1850°F.

Tempering temperature - °F	Energy	
	Absorbed Ft-lbs.	Hardness Rockwell C
As quenched	12	66.0
300	21	64.5
400	32	62.0
500	32	59.5
600	33	59.0
700	34	58.0
800	34	58.0
900	30	58.5
1000	29	55.5
1100	40	50.0
1200	53	43.0

Data shown are typical, and should not be construed as maximum or minimum values for specification or for final Data on any particular piece of material may vary from those herein.



ros para Herra i ntas

ThyssenKrup Fortinox .A.



ThyssenKrup

## Aceros para trabajos en frío

ACEROS PARA TRABAJOS EN FRIO											
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA (%)								
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Otros
THYRODUR®2379	D2	1.2379	1,55	0,30	0,35	12	0,75	-	0,90	-	-
	Acero ledeburítico al Cromo, aleado con Mo y V con mayor resistencia al desgaste y tenacidad en comparación a los del tipo AISI D3 y AISI D6. Apto para temple al vacío y apropiado para nitrurar o para recubrimientos superficiales (PVD) luego de un tratamiento térmico especial. Matrices, punzones, cuchillas y cizallas.										
THYRODUR®2436	D6	1.2436	2,10	0,35	0,30	12	-	-	-	0,70	-
	Acero ledeburítico al Cromo, con alto contenido de Carbono. Mayor resistencia al desgaste que "D3". Cuchillas, punzones y matrices de corte para espesores hasta 3mm. aprox. Herramientas de extrusión. Herramientas para trabajar la madera. Cuchillas para papel y derivados.										
THYRODUR®2990	-	1.2990	1,00	0,90	-	8,00	1,60	-	1,60	-	-
	Último desarrollo de DEW de elevada tenacidad y alta resistencia al desgaste. Cortantes y matrices de estampado. Herramientas para laminar roscas. Herramientas para la extrusión en frío y embudo profundo. Cuchillas de corte. Cizallas. Apto recubrimiento PVD y Nitrurado.										
THYRODUR®2363	A2	1.2363	1,00	0,30	0,50	5,00	0,95	-	0,20	-	-
	Buena prestación en el corte, combinado con alta tenacidad y alta resistencia al desgaste. Apropiado para temple al vacío. Tenacidad muy superior al de los aceros de las normas AISI D3, D2, y D6. Herramental de corte hasta 8mm. y para el estampado en frío. Rodillos y cuchillas.										
THYRODUR®2767	6F3	1.2767	0,45	0,25	0,35	1,40	0,20	4,00	-	-	-
	Acero de alta templabilidad, apto temple al vacío y altísima tenacidad. Muy buena pulibilidad, texturado y mecanizado EDM. Matrices de corte y estampado de cubiertos. Cortantes para espesores gruesos. Insertos, cuños, punzones, etc.										
THYRODUR®2550	S1	1.2550	0,60	0,60	0,35	1,10	-	-	0,20	2,00	-
	Acero resistente al impacto, templable al aceite, con muy buena tenacidad en alta dureza. Matrices de estampado y para el corte de chapa hasta 12mm. de espesor. Punzones, cuños, cuchillas, eyectores, etc. Herramientas neumáticas.										
THYRODUR®2510	O1	1.2510	0,95	0,20	1,10	0,60	-	-	0,10	0,60	-
	Acero indeformable de temple al aceite, resistente al desgaste, buena dureza y tenacidad. Herramientas de corte y estampado, cuchillas para papel.										

TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS PARA TRABAJOS EN FRIO						
MARCA	RECOCCIDO °C	TEMPLE °C	REVENIDO °C	DUREZA (HRc)	APTO TEMPLE AL:	
THYRODUR®2379	830-860	a) 1000-1030 b) 1050-1080	a) 180-400 2x b) 520-560	a) 62-58 b) 62-56	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	
THYRODUR®2436	800-840	950-980	200-500	63-56	Aceite - Sales (500-550°C)	
THYRODUR®2990	830-860	a) 1030 b) 1080	2x 500-575	a) 60-55 b) 63-57	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	
THYRODUR®2363	800-840	930-970	200-600	62-52	Aire - Vacío - Aceite - Sales (500-550°C)	
THYRODUR®2767	610-650	840-870	180-400	54-46	Aire - Vacío - Aceite - Bañoterma (180-220°C)	
THYRODUR®2510	740-770	780-820	180-400	63-53	Aceite - Baño terma (180-220 °C)	
THYRODUR®2550	710-750	870-900	180-400	60-52	Aceite - Baño terma (180-220 °C)	

# Aceros rápidos y pulvimetalúrgicos

ACEROS RAPIDOS											
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA								
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co

**THYRAPID®3343**

Acero rápido de alta tenacidad y excelente comportamiento al corte debido a su balanceada composición química. Por sus muy buenas propiedades es aplicable muy satisfactoriamente como acero para trabajos en frío. Matrices y punzones para el corte en frío Herramientas de corte por arranque de viruta: fresas, brocas, machos de roscar, etc.

TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS RAPIDOS						
MARCA	RECOCIDO °C	TEMPLE °C	REVENIDO °C	DUREZA (HRC)	APTO TEMPLE AL:	
THYRAPID®3343	770-860	1130-1230	3x 530-570	66-62	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	

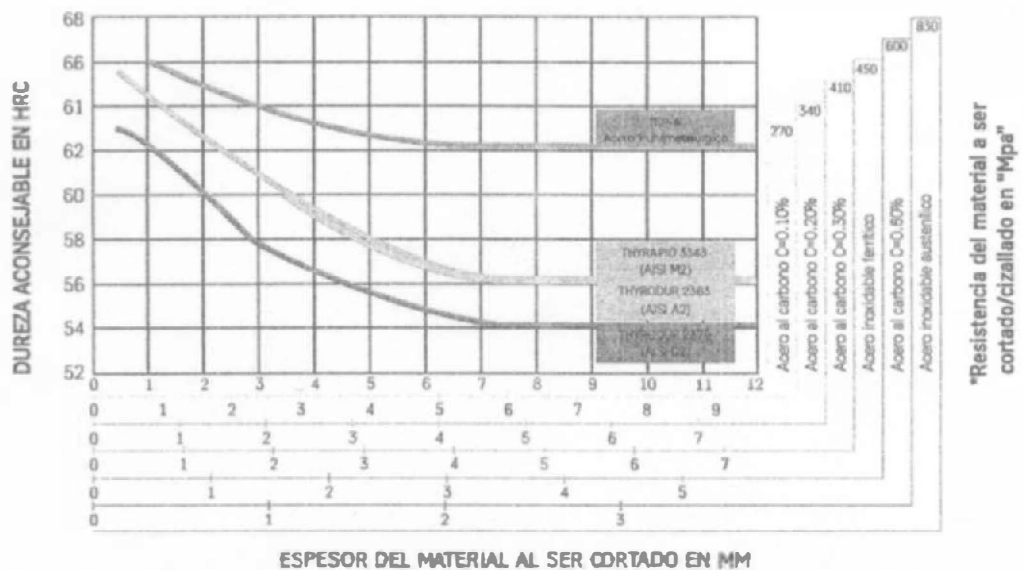
ACEROS PULVIMETALURGICOS											
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA								
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co

**TSP-4**

Es un acero rápido al W, Cr, Mo y V producido por proceso de pulvimetalurgia que le confiere una distribución muy fina de carburos, muy bajo nivel de inclusiones, en consecuencia altísima tenacidad. Su composición balanceada le confiere una alta resistencia al desgaste. Apto recubrimientos superficiales. Mínima deformación luego del tratamiento térmico. Matrices de corte preciso especialmente para materiales abrasivos. Punzones, rodillos de laminación, herramientas de extrusión, moldes de inyección de plásticos abrasivos, fresas, machos, brocas, etc.

TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS PULVIMETALURGICOS						
MARCA	RECOCIDO °C	TEMPLE °C	REVENIDO °C	DUREZA (HRC)	APTO TEMPLE AL:	
TSP-4	870-900	1080-1220	3x 540-560	58-65	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	

DUREZA EN FUNCION DEL TIPO Y ESPESOR DEL MATERIAL A SER CORTADO



## Aceros para trabajos en caliente

ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE										
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA							
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S
<b>THYROTERM®2714</b>	L6	1.2714	0,56	-	-	1,10	0,50	1,70	0,10	-
	Acero tenaz para estampas, muy buena retención al revenido. Este grado se suministra pretratado a 370-410 HB para formato redondo y recocido o pretratado para formato plano (ver nota al pie). Matrices para el forjado y estampado de todo tipo. Porta insertos y moldeo de plásticos.									
<b>THYROTERM®E38K SUPRA</b>	-	-	0,35	0,30	0,30	5,00	1,35	-	0,45	≤0,003
	Acero desarrollado por DEW producido por Refusión Bajo Electroescoria. Apto temple al vacío. Tenacidad y conductibilidad térmica superior a los aceros según norma AISI H13, confiriéndole mayor resistencia al agrietamiento térmico y mecánico. Matrices de extrusión y fundición para el procesamiento de aleaciones livianas.									
<b>THYROTERM®2344 EFS/EFS SUPRA</b>	H13	1.2344	0,40	1,00	-	5,30	1,40	-	1,00	≤0,005 ≤0,003
	Acero aleado con Cromo, Molibdeno, Vanadio de alta resistencia al desgaste. Resistencia mecánica y tenacidad en caliente. Apto temple al vacío y todo tipo de nitruración o recubrimiento PVD. Se produce como EFS (Estructura Extra Fina) luego de un tratamiento de recocido especial, obteniéndose una estructura de granos finos y mínima estructura de bandeado. Para condiciones exigentes se produce como EFS SUPRA (Refusión Bajo Electroescoria) con menor cantidad de azufre e inclusiones no metálicas. Matrices de extrusión y fundición a presión de aleaciones livianas.									
<b>THYROTERM®2367 EFS/EFS SUPRA</b>	-	1.2367	0,37	-	-	5,00	3,00	-	0,60	≤0,005 ≤0,003
	Acero aleado con Cromo, Molibdeno, Vanadio con muy buena resistencia al desgaste, al choque térmico y retención al revenido. Apto temple al vacío y a la nitruración o recubrimiento PVD. Se produce como EFS (estructura Extra Fina) y EFS Supra (Refusión Bajo Electroescoria). Matrices de forja y moldes para la inyección de metales ligeros o pesados. Insertos compactos en inyección de Aluminio para mayor resistencia a los choques térmicos y resistencia al desgaste en caliente.									
<b>THYROTERM®2999 SUPRA</b>	-	1.2999	0,45	0,30	0,30	3,00	5,00	-	1,00	≤0,003
	Acero desarrollado por DEW, producido por Refusión Bajo Electroescoria. Su composición balanceada le confiere muy alta resistencia al desgaste y resistencia en caliente. Su alto contenido de Mo brinda una alta conductividad térmica y resistencia al revenido. Herramientas para forja.									

TRATAMIENTO TERMICO DE ACEROS PARA TRABAJOS EN CALIENTE						
MARCA	RECOCIDO °C	TEMPLE °C	REVENIDO °C	DUREZA (HRc)	APTO TEMPLE AL:	
<b>THYROTERM®2714</b>	650-700	a) 830-870 b) 860-900	a) 200-600 b) 200-600	a) 54-38 b) 52-36	a) Aceite - b) Aire	
<b>THYROTERM®E38K SUPRA</b>	740-780	a) ver nota <sup>(1)</sup> b) 1000-1030	500-630	52-42	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	
<b>THYROTERM®2344 EFS/SUPRA</b>	750-800	1010-1030	500-650	56-42	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	
<b>THYROTERM®2367 EFS/SUPRA</b>	730-780	1020-1050	500-650	55-45	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	
<b>THYROTERM®2999 SUPRA</b>	750-800	1100-1120	500-650	56-46	Vacío - Aire - Aceite - Sales (500-550°C)	

Nota: THYROTERM 2714 en formato redondo es suministrado pre tratado en origen para ser utilizado en esa condición de entrega. No recomendamos ni garantizamos modificar su dureza de entrega por posterior tratamiento térmico. Solo podrán ser tratados termoquímicamente aquellos aptos a ese fin.

(1) TRATAMIENTO TERMICO DE ALTA TENACIDAD: En Vacío 990°C  
En Sales 1010°C



## Aceros para moldeo de plásticos

ACEROS PARA MOLDEO DE PLASTICOS									
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA						
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	otros
<b>THYROPLAST®2312</b>	P20+S	1.2312	0,40	-	1,50	1,90	0,20	-	S0,05
	Acero pretratado con una dureza de 280-325 HB. Debido a su contenido de Azufre se mejora sustancialmente su maquinabilidad. Debido a esto la pulibilidad y el texturado están restringidos. Moldes y portamoldes para materiales plásticos. Componentes para máquinas en general.								
<b>THYROPLAST®2738</b>	P20+Ni	1.2738	0,40	-	1,50	1,90	0,20	1,00	S<0,005
	Acero pretratado con una dureza de 280-325 HB (980-1100 N/mm²). Debido a su proceso especial de elaboración posee buena maquinabilidad. Excelente aptitud al texturado y a la pulibilidad. Su contenido de Níquel asegura una mejor penetración del temple. Apto nitruración.								
<b>THYROPLAST®2083 SUPRA</b>	≈420	1.2083	0,42	0,30	-	13	-	-	-
	Acero inoxidable martensítico producido por Refusión Bajo Electroescoria ESR. Excelente pulido óptico y elevada resistencia a la corrosión y desgaste. Apto temple al vacío, mínima deformación. Apto recubrimientos superficiales y texturado. Moldes, cavidades para la transformación de materiales termoplásticos corrosivos y/o abrasivos. Temple en vacío, al aceite o sales.								
<b>THYROPLAST®2085</b>	420Mod.	1.2085	0,33	0,30	1,15	16	-	0,50	S0,05
	Acero inoxidable martensítico resistente a la corrosión. Se suministra pretratado a 280-325 HB. Debido al agregado de Azufre se mejora sustancialmente su maquinabilidad. Portamoldes, moldes y componentes. Debido a su contenido de Azufre su pulibilidad esta restringida.								
<b>REMANIT®4125</b>	440C	1.4125	1,00	<1,00	<1,00	17	0,50	-	-
	Acero inoxidable con propiedades mecánicas de aceros para herramientas. Muy alta resistencia al desgaste y a la corrosión. dureza alcanzable 60HRc en estado Templado y Revenido. Moldes de inyección de plástico corrosivos y/o abrasivos. Toberas de inyección. Cuchillas para la industria alimenticia en general. Temple en vacío o al aceite.								
<b>THYROPLAST® PH 42 SUPRA</b>	-	1.2796	0,15	-	1,50	-	-	3,00	Cu 1 Al 1
	Acero de endurecimiento por precipitación, muy buena resistencia mecánica y tenacidad. Uniformidad de dureza en toda su sección. Por su proceso de refusion posee excelente pulibilidad. Su reducido carbono mejora sustancialmente la soldabilidad. Apropiado para texturar. Dureza de entrega: 40HRc.								
<b>THYROPLAST® PH X SUPRA</b>	-	1.2892	0,05	-	-	15	-	4,50	Cu3,5 Nb+
	Acero inoxidable endurecido por precipitación, de alta resistencia a la corrosión y muy buena resistencia mecánica y tenacidad. Uniformidad de dureza en toda su sección. Por su proceso de refusion posee excelente pulibilidad. Su reducido carbono mejora sustancialmente la soldabilidad. Apropiado para texturar. Dureza de entrega: 40HRc.								
<b>CORROPLAST®</b>	-	-	0,05	-	1,30	12,5	-	-	S0,15 Cu+
	Nuevo acero inoxidable de endurecimiento por precipitación, de alta resistencia a la corrosión y de fácil mecanizado. El reducido carbono mejora sustancialmente la soldabilidad. Se suministra tratado a 320HB. Placas base y portamoldes con demanda estándar de pulibilidad.								

Nota: Los aceros THYROPLAST 2312, 2738, 2085, PH 42 SUPRA, PH X SUPRA y CORROPLAST son suministrados pre tratados en origen para ser utilizados en esa condición de entrega.

No recomendamos ni garantizamos modificar su dureza de entrega por posterior tratamiento térmico.

Solo podrán ser tratados termoquímicamente aquellos aptos a ese fin.



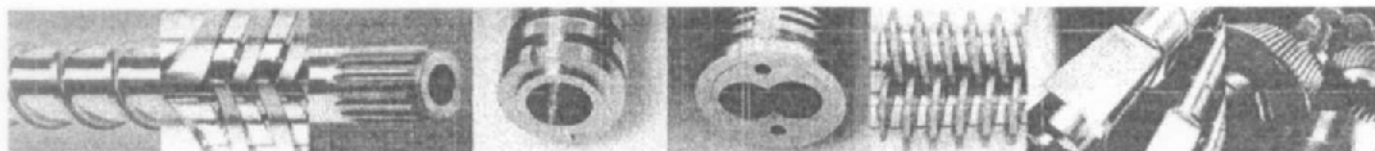
## Aceros para moldeo de plásticos Aceros para nitruración

TRATAMIENTO TERMICO PARA EL MOLDEO DE PLASTICOS					
MARCA	RECOCIDO °C	TEMPLE °C	REVENIDO °C	DUREZA (HRC)	APTO TEMPLE AL
<b>THYROPLAST®2083 SUPRA</b>	760-800	1000-1050	a) 180-300 b) 500-550	a) 55-51 b) 52-48	Vacío - Aceite - Sales (500-550°C)
<b>REMANIT®4125</b>	800-850	1000-1050	180-300	60-57	Vacío - Aceite

ACEROS PARA NITRURACION									
MARCA	NORMAS		COMPOSICION QUIMICA						
	AISI	W.Nr.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al
<b>NITRODUR®34</b>	-	1.8550	0,35	0,40	0,60	1,70	0,20	1,00	1,00
	Acero para nitruración al Cromo, Molibdeno, Níquel con agregado de Aluminio confiriéndole una dureza superficial mínima de 950HV, después de cualquier tipo de nitruración. Estado de entrega según tabla. Mangas de extrusión. Tornillos de extrusión para la industria plástica. Engranajes y Piñones.								
<b>NITRODUR®41</b>	-	1.8509	0,40	0,40	0,70	1,60	0,30	-	1,20
	Acero de nitruración que debido a su mayor contenido de Aluminio se garantiza una dureza superficial mínima de 1200HV después de cualquier tipo de nitruración. Estado de entrega según tabla. Mangas de extrusión. Tornillos de extrusión para la industria plástica. Engranajes y Piñones.								

CARACTERISTICAS TECNICAS DE ACEROS PARA NITRURACION				
DIAMETRO (mm)	LIMITE DE FLUENCIA (Rp 0.2) N/mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCION (Rm) N/mm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO A (min)	DUREZA DE ENTREGA aprox. HB
	W Nr 1.8550 / W Nr 1.8509	W Nr 1.8550 / W Nr 1.8509	W Nr 1.8550 / W Nr 1.8509	W Nr 1.8550 / W Nr 1.8509
≥16 y ≤40	680 / 750	900-1100 / 950-1150	10 / 11	266-325 / 280-340
>40 y ≤100	650 / 720	850-1050 / 900-1100	12 / 13	252-310 / 266-325
>100 y ≤160	600 / 670	800-1000 / 850-1050	13 / 14	238-297 / 252-310
>160 y ≤250	600 / 625	800-1000 / 800-1000	13 / 15	238-297 / 238-297

Nota: Los aceros NITRODUR 34 y NITRODUR 41 son suministrados pre tratados en origen para ser utilizados en esa condición de entrega. No recomendamos ni garantizamos modificar su dureza de entrega por posterior tratamiento térmico. Solo podrán ser tratados termoquímicamente aquellos aptos a ese fin.



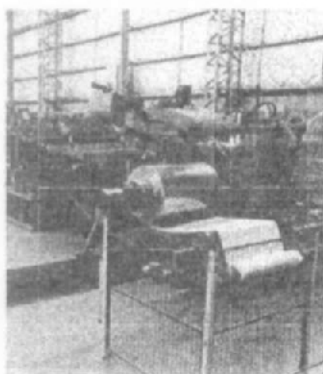
## Aleaciones de cobre Aceros de construcción mecánica

ALEACIONES DE COBRE							
MARCA	NORMAS W.Nr.	COMPOSICION QUIMICA					
		Cu	Co+Ni	Co	Be	Ni	Cr
<b>CUA®1</b> Cobre Electrolítico	En 13601 (Cu-ETP) CW 004A	99,9	-	-	-	-	-
	Muy alta pureza. Muy buena conductibilidad térmica y eléctrica. Excelente maquinabilidad. Electrodo para electroerosión.						
<b>ELMEDUR®B2</b> Cobre Berilio	2.1247 CuBe2	Resto	0,40	-	2,00	-	-
	Aleación de Cobre - Berilio endurecible por precipitación de buena conductibilidad térmica y alta dureza luego de tratado. Moldes de soplado e inyección de plástico. Insertos en moldes de acero donde requieran acelerar el enfriamiento por acumulación de calor.						
<b>ELMEDUR®HA</b> Cobre Berilio	-2.1285 CuCoNiBe	Resto	-	1,00	0,50	1,00	-
	Aleación de Cobre - Cobalto - Berilio endurecible por precipitación que se distingue del ELMEDUR B2 por una mayor conductibilidad térmica combinada con buena dureza. Boquillas para colada caliente, coquillas para fundición de metales no ferrosos. Electrodo. Pistones de inyección de aluminio.						
<b>ELMEDUR®X</b> Cobre Cromo	2.1293 CuCr1Zr	Resto	-	-	-	-	0,80
	Aleación de Cobre - Cromo endurecible por precipitación con buena dureza y excelente conductibilidad térmica y eléctrica. Electrodo y puntas para soldadura por puntos. Contactos para soldadura MIG/MAG. Electrodo para erosionadoras.						

PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES DE COBRE		
MARCA	CONDICION DE ENTREGA	CONDUCTIBILIDAD TERMICA
<b>CUA®1</b>	70-95 HB	(20°C) ≈ 350W(m.k.)
<b>ELMEDUR®B2</b>	Recocido en solución = 215 HB. Luego de construir la pieza envejecer a 325 °C x 2 a 4 Hs. Dureza máxima 400HB.	(20°C) = 120W(m.k.)
<b>ELMEDUR®HA</b>	Endurecido por precipitación = 220-260HB	(20°C) = 209W(m.k.)
<b>ELMEDUR®X</b>	Endurecido por precipitación = 130-160HB	(20°C) = 320W(m.k.)

ACEROS DE CONSTRUCCION MECANICA					
MARCA	COMPOSICION QUIMICA				
	C	Si	Mn	Cr	Mo
<b>SAE 1045</b>	0,43-0,50	0,15-0,35	0,60-0,90	0,20	-
Acero al carbono para múltiples usos y aplicaciones. Fabricación de repuestos de uso mecánico, portamoldes, etc.					
<b>SAE 4140</b>	0,38-0,43	0,15-0,35	0,75-1,00	0,80-1,10	0,15-0,25
Acero al Cromo-Molibdeno para temple de mediana templabilidad. Usos mecánicos como ser de transmisión, ejes columnas, piñones, pernos. Fabricación de repuestos de uso mecánico, portamoldes, etc.					





### Aceros Inoxidables

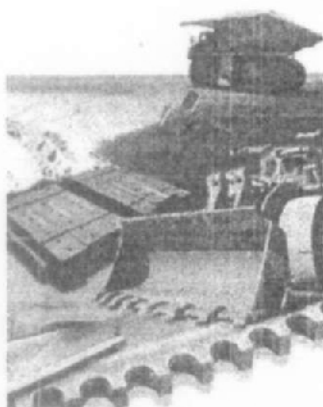
Desde nuestra moderna planta de Garín, Provincia de Buenos Aires, de 15.000m<sup>2</sup> y con líneas de procesamiento de la más alta tecnología, brindamos a la industria un amplio stock de bobinas y chapas en espesores desde 0.30mm. hasta 50mm. con distintas terminaciones superficiales.

Cortamos a medida en distintos formatos a requerimientos del cliente.

Importamos directamente desde las más importantes usinas productoras del mundo, una amplia gama de calidades austeníticas, ferríticas, martensíticas, etc.

#### Completamos nuestro stock con:

- Caños redondos, con y sin costura.
- Alambres para soldaduras TIG y MIG
- Electrodos de tungsteno.
- Caños cuadrados y rectangulares.
- Geles decapantes y pasivantes para tratamiento de soldaduras y superficies.
- Chapas antideslizantes.
- Bridas, válvulas y accesorios.
- Electrodos revestidos.
- Rejillas estampadas.
- Barras, planchuelas y ángulos.



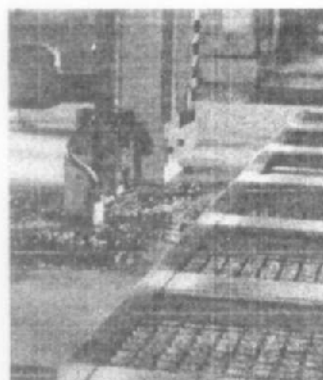
### Chapas Antidesgaste

XAR® es la marca que identifica a las chapas antidesgaste producidas por ThyssenKrupp Steel AG en Duisburg, Alemania.

XAR®PLUS y XAR® 500 son los grados que por sus características técnicas cubren la mayor parte de los requerimientos de la industria minera, la agro-industria y la industria cementera.

ThyssenKrupp Steel es uno de los mayores productores mundiales de productos planos desarrollados a partir de aceros especialmente diseñados para máximas prestaciones en cada aplicación específica. El rango de producción en la línea de chapas gruesas para trabajos pesados comprende otras calidades alternativas, como por ejemplo: N-A-XTRA® y XABO®: Aceros de alta resistencia y tenacidad, de fácil procesamiento y con límites elásticos (Re) desde 550 Mpa. hasta 1100 Mpa. Para equipos y dispositivos mecánicos más livianos pero con mayores solicitaciones.

PAS®: Aceros de alta resistencia con límites elásticos (Re) de hasta 700 Mpa., especialmente diseñados para su fácil conformación en frío. Particularmente indicados para travesaños de chasis y/o plumas grúas. SECURE® 500: Para blindajes y protecciones antibalísticas.



### Una empresa a su servicio

Planchado y corte de bobinas de aceros inoxidables, según norma ASTM A 480, con maquinaria de última generación.

Flejado de bobinas de acero inoxidable, con papel interfoliado o cobertura de PVC.

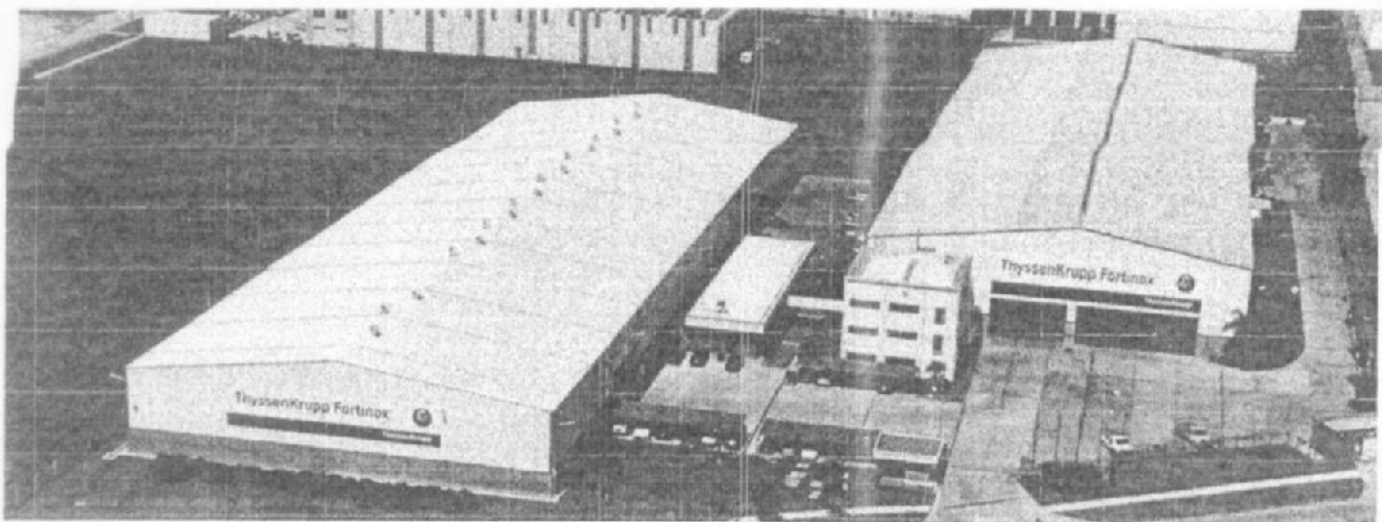
Esmerilado, pulido y plastificado de chapas de acero inoxidable acabado grano 180, 220, 320 y especiales.

Preformas (Blanks) de acero inoxidable.

Cortes de sierra en modernas máquinas de sierra cinta para cortes a medida en aceros para herramientas y de construcción mecánica. Cortes con Plasma y Oxicorte, con pantógrafo para secciones sobre planos. Tratamientos Térmicos en cooperación con laboratorios seleccionados y contando con nuestro apoyo técnico y seguimiento de procesos.

Ofrecemos todas las variantes tecnológicas y económicas posibles (vacío, sales, atmósfera controlada, etc.).

Asesoramiento técnico calificado: Nuestro personal altamente calificado y con el apoyo de los departamentos técnicos de nuestras usinas de origen, nos permiten brindar respuestas adecuadas a la exigencia de la industria local.



## Cuadro de correspondencia de durezas

### Resistencia a la tracción - durezas Brinell, Vickers y Rockwell (según DIN 50.150)

Resistencia a la tracción Rm/MPa	Dureza Brinell		Dureza Vickers HV	Dureza Rockwell		
	Diámetro de impronta en mm			HRB	HRC	HR 30
	d	HB				
255	6.63	76.0	80	-	-	-
270	6.45	80.7	85	41.0	-	-
280	6.30	85.5	90	48.0	-	-
305	6.16	90.2	95	52.0	-	-
320	6.01	95.0	100	56.2	-	-
335	5.90	99.8	105	-	-	-
350	5.75	105	110	62.3	-	-
370	5.65	109	115	-	-	-
385	5.54	114	120	66.7	-	-
400	5.43	119	125	-	-	-
415	5.33	124	130	71.2	-	-
430	5.26	128	135	-	-	-
450	5.16	133	140	75.0	-	-
465	5.08	138	145	-	-	-
470	4.99	143	150	78.7	-	-
495	4.93	147	155	-	-	-
510	4.85	152	160	81.7	-	-
530	4.79	156	165	-	-	-
545	4.71	162	170	85.0	-	-
560	4.66	166	175	-	-	-
575	4.59	171	180	87.1	-	-
595	4.53	176	185	-	-	-
610	4.47	181	190	89.5	-	-
625	4.43	185	195	-	-	-
640	4.37	190	200	91.5	-	-
660	4.32	195	205	92.5	-	-
675	4.27	199	210	93.5	-	-
690	4.22	204	215	94.0	-	-
705	4.18	209	220	95.0	-	-
720	4.13	214	225	96.0	-	-
740	4.08	219	230	96.7	-	-
755	4.05	223	235	-	-	-
770	4.01	228	240	98.1	20.3	41.7
785	3.97	233	245	-	21.3	42.5
800	3.92	238	250	99.5	22.2	43.4
820	3.89	242	255	-	23.1	44.2
835	3.86	247	260	(101)	24.0	45.0
850	3.82	252	265	-	24.8	45.7
865	3.78	257	270	(102)	25.6	46.4
880	3.75	261	275	-	26.4	47.2
900	3.72	266	280	(104)	27.1	47.8
915	3.69	271	285	-	27.8	48.4
930	3.66	276	290	(105)	28.5	49.0
950	3.63	280	295	-	29.2	49.7
965	3.60	285	300	-	29.8	52.0
995	3.54	295	310	-	31.0	51.3
1030	3.49	304	320	-	32.2	52.3
1060	3.43	314	330	-	33.3	53.6
1095	3.39	323	340	-	34.4	54.4

Resistencia a la tracción Rm/MPa	Dureza Brinell		Dureza Vickers HV	Dureza Rockwell		
	Diámetro de impronta en mm			HRB	HRC	HR 30 N
	d	HB				
1125	3.34	333	350	-	35.5	55.4
1155	3.29	342	360	-	36.6	56.4
1190	3.25	352	370	-	37.7	57.4
1220	3.21	361	380	-	38.8	58.4
1255	3.17	371	390	-	39.8	59.3
1290	3.13	380	400	-	40.8	60.2
1320	3.09	390	410	-	41.8	61.1
1350	3.06	399	420	-	42.7	61.9
1385	3.02	409	430	-	43.6	62.7
1420	2.99	418	440	-	44.5	63.5
1455	2.95	428	450	-	45.3	64.3
1485	2.92	437	460	-	46.1	64.9
1520	2.89	447	470	-	46.9	65.7
1555	2.86	(456)	480	-	47.7	66.4
1595	2.83	(466)	490	-	48.4	67.1
1630	2.81	(475)	500	-	49.1	67.7
1665	2.78	(485)	510	-	49.8	68.3
1700	2.75	(494)	520	-	50.5	69.0
1740	2.73	(504)	530	-	51.1	69.5
1775	2.70	(513)	540	-	51.7	70.0
1810	2.68	(523)	550	-	52.3	70.5
1845	2.66	(532)	560	-	53.0	71.2
1880	2.63	(542)	570	-	53.6	71.7
1920	2.60	(551)	580	-	54.1	72.1
1955	2.59	(561)	590	-	54.7	72.7
1995	2.57	(570)	600	-	55.2	73.2
2030	2.54	(580)	610	-	55.7	73.7
2070	2.52	(589)	620	-	56.3	74.2
2105	2.51	(599)	630	-	56.8	74.6
2145	2.49	(608)	640	-	57.3	75.1
2180	2.47	(618)	650	-	57.8	75.5
-	-	-	660	-	58.3	75.9
-	-	-	670	-	58.8	76.4
-	-	-	680	-	59.2	76.8
-	-	-	690	-	59.7	77.2
-	-	-	700	-	60.1	77.6
-	-	-	720	-	61.1	78.4
-	-	-	740	-	61.8	79.1
-	-	-	760	-	62.5	79.7
-	-	-	780	-	63.3	80.4
-	-	-	800	-	64.0	81.1
-	-	-	820	-	64.7	81.7
-	-	-	840	-	65.3	82.2
-	-	-	860	-	65.9	82.7
-	-	-	880	-	66.4	83.1
-	-	-	900	-	67.0	83.6
-	-	-	920	-	67.5	84.0
-	-	-	940	-	68.0	84.4

## Peso de acero en barras (en base a acero al carbono)

KILOS POR METRO				KILOS POR METRO			
Pulgadas	Milímetros	○	□	Pulgadas	Milímetros	○	□
1/4	6.35	0.25	0.32	3 1/4	82.55	41.88	53.44
5/16	7.94	0.39	0.49	3 3/8	85.73	45.27	57.63
3/8	9.52	0.56	0.71	3 1/2	88.90	48.68	61.98
7/16	11.11	0.76	0.97	3 5/8	92.08	52.22	66.49
1/2	12.70	0.99	1.27	3 3/4	95.25	55.88	71.15
9/16	14.29	1.26	1.60	3 7/8	98.43	60.67	75.98
5/8	15.88	1.55	1.98	4	101.60	63.58	80.96
11/16	17.46	1.88	2.39	4 1/8	104.78	67.82	86.10
3/4	19.05	2.24	2.85	4 1/4	107.96	71.78	91.39
13/16	20.64	2.62	3.34	4 3/8	111.13	76.06	96.85
7/8	22.23	3.04	3.87	4 1/2	114.30	80.47	102.46
15/16	23.81	3.49	4.45	4 5/8	117.48	85.01	108.23
1	25.40	3.97	5.06	4 3/4	120.65	89.66	114.16
1 1/16	26.99	4.49	5.71	4 7/8	123.83	94.44	120.25
1 1/8	28.58	5.03	6.40	5	127.00	99.8	126.5
1 3/16	30.16	5.60	7.14	5 1/4	133.36	109.5	139.5
1 1/4	31.75	6.21	7.91	5 1/2	139.71	120.2	153.1
1 5/16	33.34	6.85	8.72	5 3/4	146.06	131.4	167.2
1 3/8	34.93	7.51	9.57	6	152.41	143.1	182.5
1 7/16	36.51	8.21	10.46	6 1/4	158.76	155.2	197.8
1 1/2	38.10	8.94	11.39	6 1/2	165.11	167.9	213.5
1 9/16	39.69	9.70	12.35	6 3/4	171.46	181.1	231.0
1 5/8	41.28	10.49	13.36	7	177.81	194.7	248.1
1 11/16	42.86	11.32	14.41	7 1/4	184.16	209.7	266.2
1 3/4	44.45	12.17	15.50	7 1/2	190.51	223.8	285.0
1 13/16	46.04	13.06	16.62	7 3/4	196.86	238.9	304.0
1 7/8	47.63	13.97	17.79	8	203.21	254.6	324.0
1 15/16	49.21	14.92	18.99	8 1/4	209.56	270.7	345.0
2	50.80	15.90	20.24	8 1/2	215.91	287.4	365.9
2 1/16	52.39	16.91	21.52	8 3/4	222.26	304.6	388.5
2 1/8	53.98	17.95	22.85	9	228.61	322.1	410.2
2 3/16	55.56	19.02	24.21	9 1/4	234.96	340.3	433.5
2 1/4	57.15	20.12	25.62	9 1/2	241.31	359.0	457.1
2 5/16	58.74	21.25	27.06	9 3/4	247.66	378.1	481.4
2 3/8	60.33	22.42	28.54	10	254.01	397.8	506.5
2 7/16	61.91	23.61	30.06	10 1/4	260.36	417.9	532.0
2 1/2	63.50	24.84	31.62	10 1/2	266.71	438.5	558.4
2 9/16	65.09	26.10	33.22	10 3/4	273.06	459.7	585.3
2 5/8	66.68	27.38	34.87	11	279.41	481.2	612.8
2 11/16	68.26	28.70	36.55	11 1/4	285.77	503.4	641.0
2 3/4	69.85	30.05	38.27	11 1/2	292.11	526.0	669.8
2 13/16	71.44	31.44	40.02	11 3/4	298.46	549.1	699.2
2 7/8	73.03	32.85	41.82	12	304.81	572.7	729.3
2 15/16	74.61	34.29	43.66	13	330.21	672.6	855.8
3	76.20	35.77	45.54	14	355.61	779.7	992.6
3 1/8	79.39	38.81	49.41	15	381.01	894.9	1139.5

## Representantes - Distribuidores en el interior del país

### CORDOBA

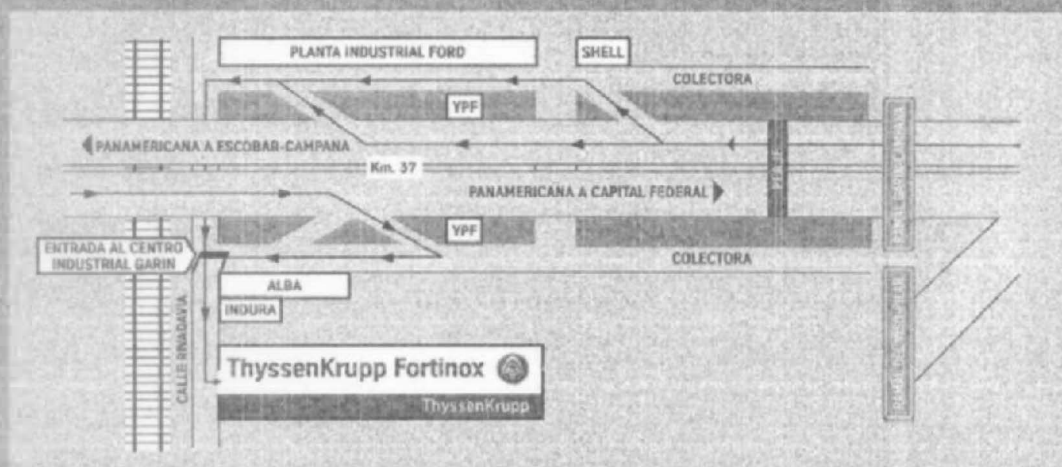
**JUAN PABLO SUGRANES**  
 Bv. Los Namines 8200, Mza. 2, (5022)  
 Nuevo Jardín de los Ezevares, Córdoba  
 Tel.: (0351) 493-2127 / 16-3293172  
 Móvil: 15078314  
 E-mail: juan.sugranes@fortinox.com.ar

### ROSARIO

**SERGIO G. DEL TORO**  
 Balcarce 1272, (S20000M7)  
 Rosario, Santa Fe  
 Tel.: (0341) 15-663477  
 Móvil: 15074116  
 E-mail: sergio.deltoro@fortinox.com.ar

### TUCUMAN

**ACEROS FIGUEROA S.R.L.**  
 Avda. 538, (T4000AGL)  
 San Miguel de Tucumán, Tucumán  
 Tel/Fax: (0381) 420-0004 / 0372 / 0530  
 E-mail: acerosfigueroa@netnet.com.ar  
 Contactar Sr. Pedro César Figueroa

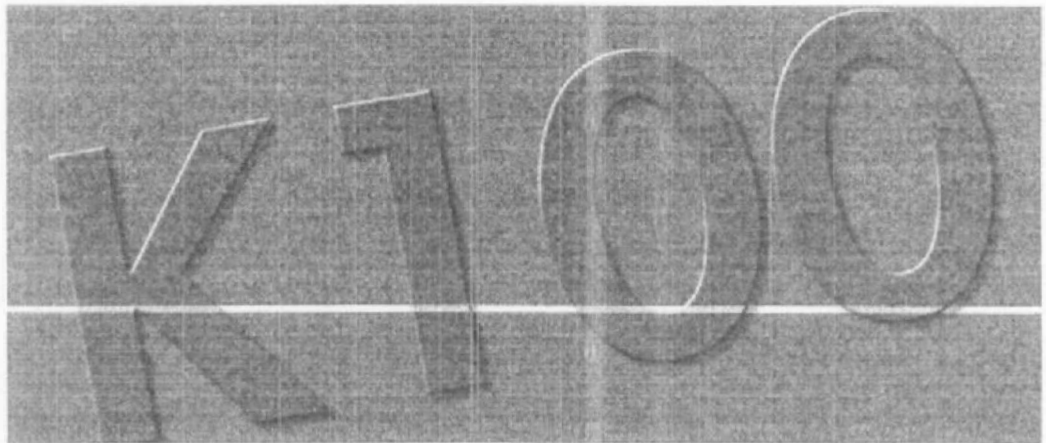


### ThyssenKrupp Fortinox S.A.

Centro Industrial Garín - Rivadavia s/n,  
 (B1619ADQ), Garín, Buenos Aires, Argentina  
 Tel.: (03327) 448000 - Fax Nac. Gratuito: 0800 777 3340  
 E-mail Aceros Inoxidables: ventas@fortinox.com.ar  
 E-mail Aceros Especiales: especiales@fortinox.com.ar  
 E-mail Chapas Antidesgaste: antidesgaste@fortinox.com.ar  
 Página web: www.tkfortinox.com

ISO 9001  
**BUREAU VERITAS**  
 Certification





**BÖHLER K100**

ACIER POUR TRAVAIL À FROID  
ACERO PARA TRABAJAR EN FRÍO

## Comparaison qualitative des caractéristiques les plus importantes

## Comparación cualitativa de las propiedades esenciales

Nuance / Marca BÖHLER	Résistance à l'usure (abrasive) Resistencia al desgaste (abrasiva)	Résistance à l'usure (adhésive) Resistencia al desgaste (adhesiva)	Ténacité Tenacidad	Résistance à la compression Resistencia a la compresión	Stabilité dimensionnelle lors du traitement thermique Estabilidad dimensional en el tratamiento térmico
BÖHLER K100	★★★	★★	★	★★	★★
BÖHLER K105M	★★	★★	★	★★	★★
BÖHLER K102S	★★★	★★	★	★★	★★
BÖHLER K110	★★★	★★	★	★★	★★
BÖHLER K245	★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K405	★	★	★★★★	★	★
BÖHLER K405M	★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K520	★★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K540 ISOOUR	★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★
BÖHLER K550	★★★	★★★	★★★★★	★★	★★
BÖHLER K600 ISOOUR	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★★★
BÖHLER K600 MICROCLEAN	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★★	★★★★
BÖHLER K650	★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K650M	★	★	★★★★	★	★
BÖHLER K600	★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K605	★	★	★★★★★	★	★
BÖHLER K720	★	★	★★★★	★	★
BÖHLER K190 MICROCLEAN	★★★	★★★	★★★★★	★★★★	★★★★
BÖHLER K700	Acier austénitique manganèse qui doit ses caractéristiques à l'érouissage lors des sollicitations de compression et de choc; donc non comparable ici avec les aciers trempant. Acero duro austénítico al manganeso que obtiene sus propiedades características por endurecimiento en frío bajo sollicitación de presión e impacto. Por esta razón no es posible una comparación de este tipo con los aceros templables.				

Le tableau ci-dessus a pour but de vous faciliter le choix des aciers. On ne peut pourtant pas tenir compte de toutes les conditions de sollicitation qui existent dans les divers champs d'application.

Les résultats comparés dépendent étroitement des conditions de réalisation du traitement thermique.

Notre Service Technique est toujours à votre disposition et prêt à répondre à toutes vos questions concernant la mise en oeuvre et la transformation des aciers.

La presente tabla intenta facilitar la selección de los aceros, sin embargo no puede tener en consideración las condiciones de sollicitación impuestas por los distintos campos de aplicación.

Los valores de esta comparación dependen fuertemente de las condiciones de realización del tratamiento térmico.

Nuestro servicio de asesoramiento técnico está en cualquier momento a su disposición para responder a todas las cuestiones del empleo y elaboración del acero.

# BÖHLER K100

---

## Propriétés

Nuance standard des aciers ledeburitiques à 12% de chrome à faible variation dimensionnelle.

## Application

### Outils de coupe et de découpage:

Poinçons pour outils progressifs et outils composés de découpage à haut rendement et de forme compliquée, en particulier pour les industries électrique et horlogère, la fabrication de ferrures, de boîtes à conserves et d'emballages, outils à couper les dents de scie, grattoirs et outils à repasser pour la fabrication en grande série, poinçons fortement sollicités pour toutes sortes d'outils de découpage, lames de cisaille à haut rendement de coupe pour tôles jusqu'à environ 4 mm d'épaisseur, outils d'ébavurage, outils pour la fabrication de pointes de Paris, etc.

### Outils d'usinage:

Outils de brochage, outils pour la fabrication de paille de fir, outils à bois fortement sollicités.

## Dispositifs de mesure

## Propiedades

Marca standard de los aceros ledeburiticos al 12% de cromo con mínima variabilidad de medidas.

## Aplicación

### Herramientas de corte y estampado:

Principalmente matrices cortantes de gran rendimiento, en especial para cortes complicados, consecutivos e integrales, sobre todo para las industrias eléctrica y de herrajes, de hojalatería y cartonería, también para la industria relojera, cortes de dientes para sierras, rasquetas y herramientas de repasar para grandes series, herramientas de estampar sometidas a altas exigencias, cizallas de gran eficacia de corte para cortar chapas de hasta 4 mm de espesor, herramientas de desbarbar, cuchillas para la fabricación de puntas de París, etc.

### Herramientas de virutaje:

Brochas, cuchillas para la fabricación de viruta de acero, herramientas altamente exigidas para la industria maderera, etc.

## Herramientas de medición

## Outils de formage:

Matrices et cylindres à rouler les filets, molettes à border, poinçons et matrices pour le façonnage à froid d'écrous, outils de fluotournage et de presse, outils d'emboutissage et de filage pour alliages légers et aciers, poinçons de fonçage pour la fabrication de moules de matières synthétiques, molettes, filières de tréfilage, matrices et mandrins pour l'étrépage de tubes et de barres, mandrins pour le laminage à froid à pas de pèlerin de tubes d'acier, matrices réductrices pour la fabrication d'aiguilles.

## Outils et composants résistant à l'usure:

Outils de presse pour la transformation de matières céramiques fortement abrasives, plaques de pressage pour la fabrication de briques et de briques réfractaires, outils de presse pour l'industrie pharmaceutique, boîtes-guides pour décolleteuses, guides pour rectifieuses sans centre, poulies à gradins et anneaux pour machines à tréfiler, buses de sablage, outils de frittage.

## Outils pour travail à chaud:

Noyaux pour marteaux fortement sollicités pour la fabrication de faux et de faucilles ainsi que pour marteaux à battage rapide pour le forgeage d'aciers durs et hautement alliés, galets finisseurs pour laminoirs à bandages de roues, filières à chaud, etc.

## Herramientas sin virutaje:

Rodillos y peines para roscar, rodillos para pestañar y acanalar, estampas y matrices para fabricar tuercas en frío, herramientas de embutición y para prensar, útiles de extrusión y embutición profunda para trabajar aleaciones ligeras y acero, punzones troqueladores de moldes para resinas sintéticas, herramientas para moletear, hileras para alambre, hileras y machos de estirar tubos y perfiles, mandriles para laminar tubos de aceros en frío y a paso de peregrino, martillos reductores para la fabricación de agujas.

## Herramientas y componentes resistentes al desgaste:

Herramientas de prensar para elaborar materiales cerámicos muy abrasivos, placas de moldes para la fabricación de ladrillos (también refractarios), herramientas de prensar para la industria farmacéutica, bujes guía para máquinas automáticas, suplementos de guías para rectificadoras sin puntas, poleas múltiples y anillos para máquinas trefiladoras de alambre, boquillas para arenadoras, herramientas para la industria sinterizadora.

## Herramientas para trabajar en caliente:

Núcleos para mazos de martinete sometidos a sollicitación elevada para la fabricación de guadañas y hoces, también para martinetes de alta velocidad para fraguar aceros duros o de alta aleación, además para pequeños cilindros laminadores de alta exigencia térmica, extremos de cilindros calibrados para laminar anillos, anillos para estirar en caliente, etc.

Composition chimique (valeurs indicatives en %) / Composición química (valores aproximados en %)			
C	Si	Mn	Cr
2,00	0,25	0,35	11,50

## Normes

## Normas

EN / DIN	AISI	JIS	GOST
< 1.2080 > X210Cr12	- D3	- SKD1	- Ch12

# BÖHLER K100

## Façonnage à chaud

### Forgage:

1050 - 850°C

Refroidissement lent dans four ou dans matériau isolant calorifuge.

## Conformación en caliente

### Forjado:

1050 a 850°C

Enfriamiento lento en el horno o en material aislante

## Traitement thermique

### Recuit:

800 - 850°C

Refroidissement lent et contrôlé au four avec une vitesse de 10 à 20°C par heure jusqu'à environ 600°C, puis refroidissement à l'air.

Dureté après recuit:

**248 HB maxi.**

## Tratamiento térmico

### Recocido lento:

800 - 850°C

Enfriamiento lento y controlado en el horno 10-20°C/h, hasta 600°C, enfriamiento posterior al aire

Dureza después del recocido lento:

**máx. 248 Brinell.**

### Recuit de détente:

En 650°C

Refroidissement lent dans four.

Pour la détente après usinage important ou pour les outils de forme compliquée.

Temps de maintien à la température après chauffage à cœur: 1-2 heures en moyenne

### Recocido de eliminación de tensiones:

Aprox. 650°C

Enfriamiento lento en el horno.

Para disminuir la tensión después de un

rozado extenso, o en herramientas complicadas  
Tiempo de permanencia después de calentamiento a fondo: 1 - 2 horas en atmósfera

### Tremp

940 - 970°C

Huile, en bain de saie 220 à 250°C ou 500 à 550°C, tremp possible à l'air ou à l'huile comprimée pour épaisseurs de 25 mm au max. et à températures de trempe à la limite supérieure

Temps de maintien à la température après réchauffage à cœur: 15 - 30 minutes

Dureté à l'indente: 57 - 62 HRC.

### Temple

940 - 970°C

Aceite, baño de sal de 220 a 250°C o 500 a 550°C, es posible un temple al aire o al aceite comprimido hasta un espesor máximo de 25 mm en el límite superior de temperaturas de temple

Tiempo de permanencia después de calentamiento a fondo: 15 - 30 minutos.

Dureza obtenida: 57 - 62 HRC.

### Revenido:

Chauffage lent à la température de revenu immédiat après la trempe / temps de séjour au four 1 heure par 20 mm d'épaisseur, mais au moins 2 heures / refroidissement à l'air.

Vous trouverez les valeurs indiquées de la dureté à atteindre après le revenu dans le diagramme de revenu.

Dans certains cas il est utile de procéder de manière à réduire la température de revenu et à prolonger le temps de maintien.

### Revenido:

Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple / tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero como mínimo 2 horas / enfriamiento al aire.

Los valores aproximados de la dureza alcanzada después del revenido figuran en el diagrama de revenido.

En terminados casos puede resultar conveniente reducir la temperatura de revenido, prolongando el tiempo de permanencia

## Courbe de revenu

Température de trempe:

— 950°C

- - - - 1000°C

Éprouvette: carré 20 mm

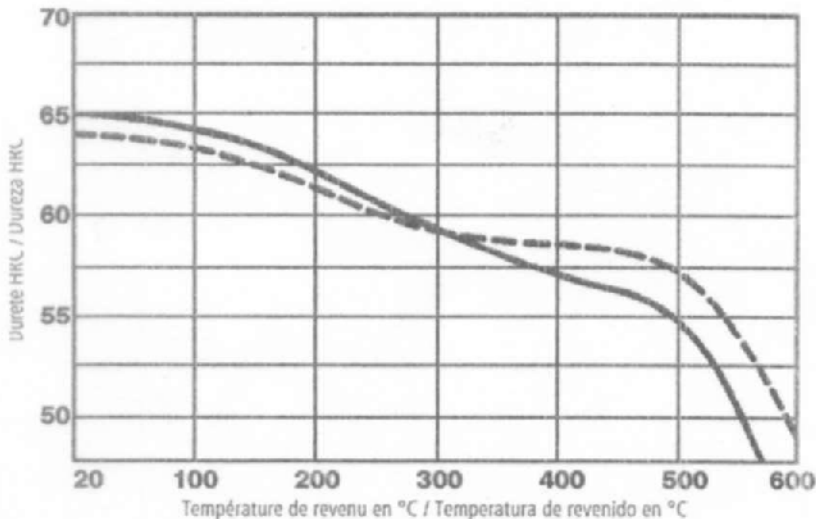
## Diagrama de revenido

Temperatura de temple:

— 950°C

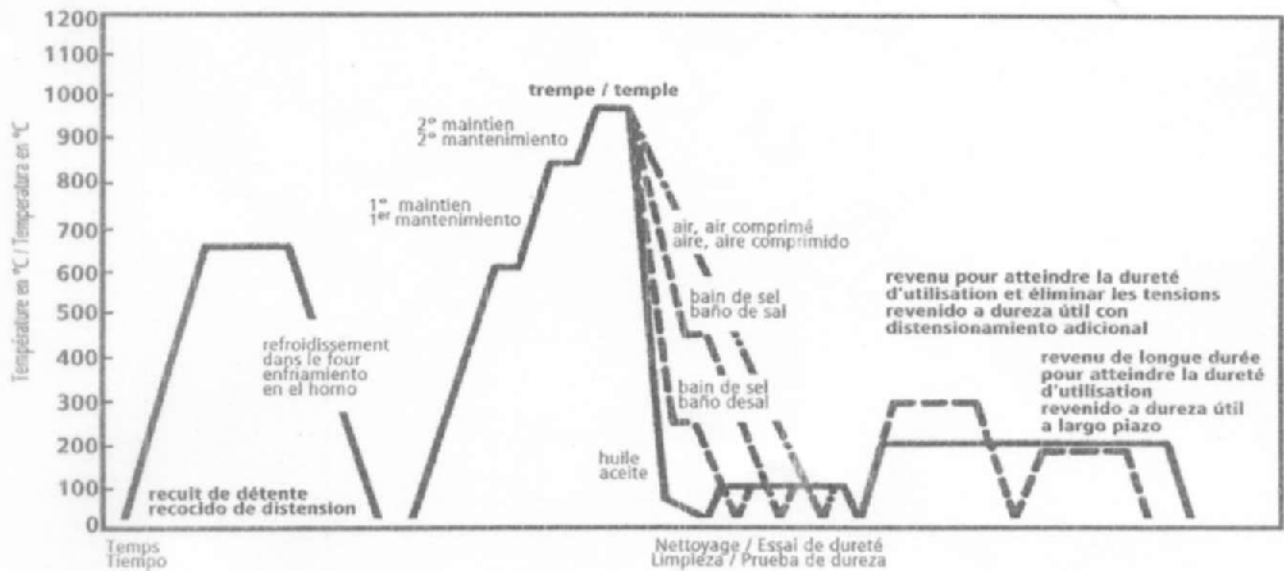
- - - - 1000°C

Sección de la probeta: cuadrada 20 mm



## Schéma du traitement thermique

## Esquema de tratamiento térmico



## Soudure de réparation

Après soudure, les aciers pour outils ont une tendance générale à développer des fissures. Si la soudure ne peut pas être évitée, respecter les instructions du fabricant et utiliser des électrodes de soudure appropriées.

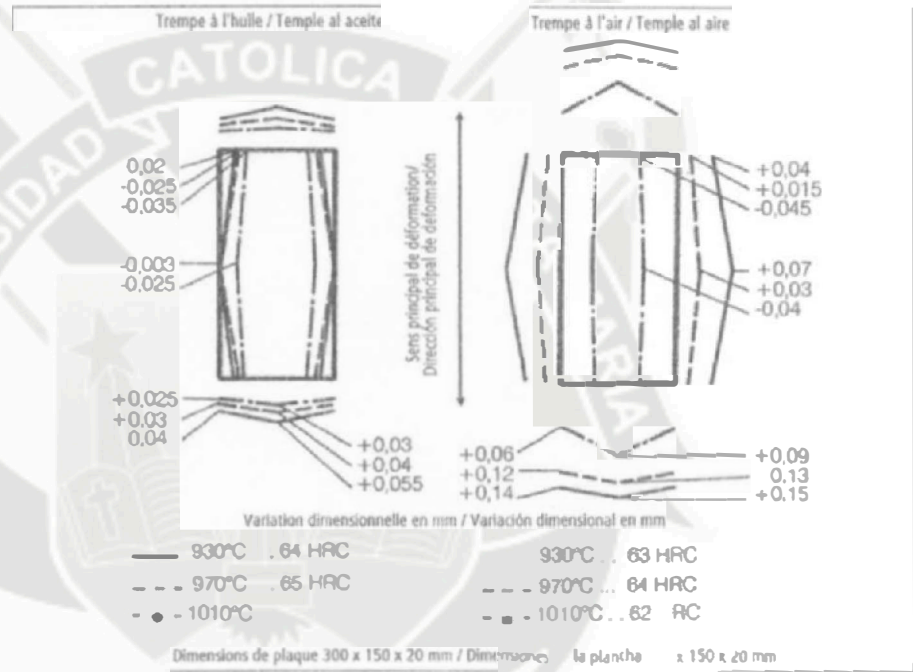
## Soldaduras de reparación

En los aceros para herramientas, existe una tendencia general a desarrollar fisuras después de la soldadura. Si no es posible evitar la soldadura, deben consultarse y aplicarse las instrucciones del fabricante de los electrodos de soldadura utilizados.

## Variation dimensionnelle

La variation dimensionnelle pendant le traitement thermique est fonction de la structure à fibres (verticales ou horizontales) de la pièce par rapport au sens principal de déformation, des dimensions et de la forme, de même que de la température de trempe et du réfrigérant.

Variations dimensionnelles de plaques à fibre transv. lors de la trempe à l'huile et à l'air.



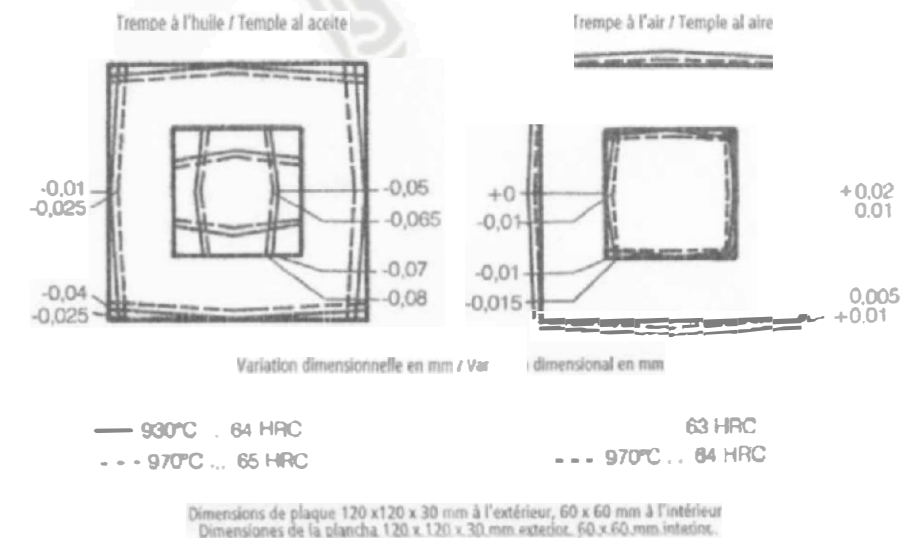
Variations dimensionnelles des plaques à fibres verticales lors de la trempe à l'huile et à l'air.

## Variación dimensional

Variación de medidas al templar depende de la posición de las herramientas referente a la dirección principal de formación (fibra horizontal o vertical), de las dimensiones y de la forma, así como de la temperatura y del medio de temple.

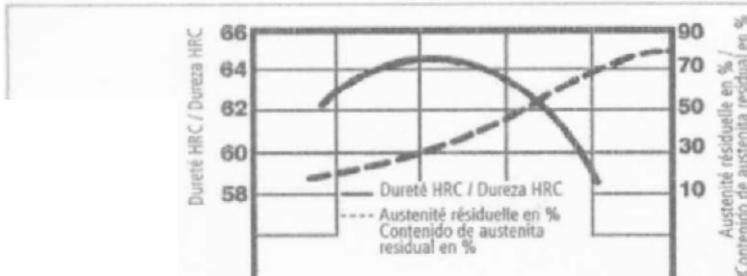
Variación dimensional de planchas con fibra horizontal durante el temple en aceite o a aire.

Variación dimensional de planchas con fibra vertical durante el temple en aceite o al aire.

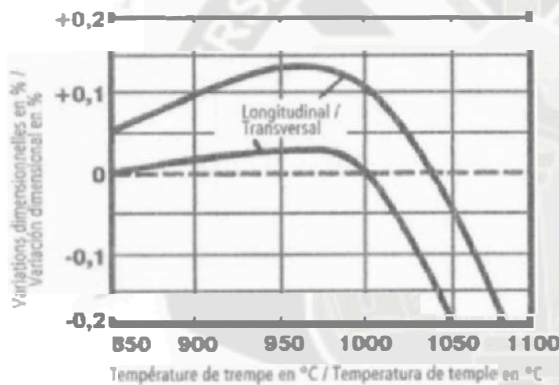


Une variation convenable de la température de trempe permet d'influencer la teneur en austénite résiduelle et, conséquemment, l'augmentation de volume, sans que la dureté subisse une perte appréciable.

Gracias a la temperatura de temple es posible influenciar la austenita residual y con ello el aumento de volumen, sin que la dureza disminuya esencialmente.



Influence de la température de trempe sur la dureté, la teneur en austénite résiduelle et les variations dimensionnelles en sens horizontal.  
 Milieu de trempe: huile  
 Éprouvette: Ø 20 x 100 mm long.  
 (prise d'un plat de 20 mm d'épaisseur)



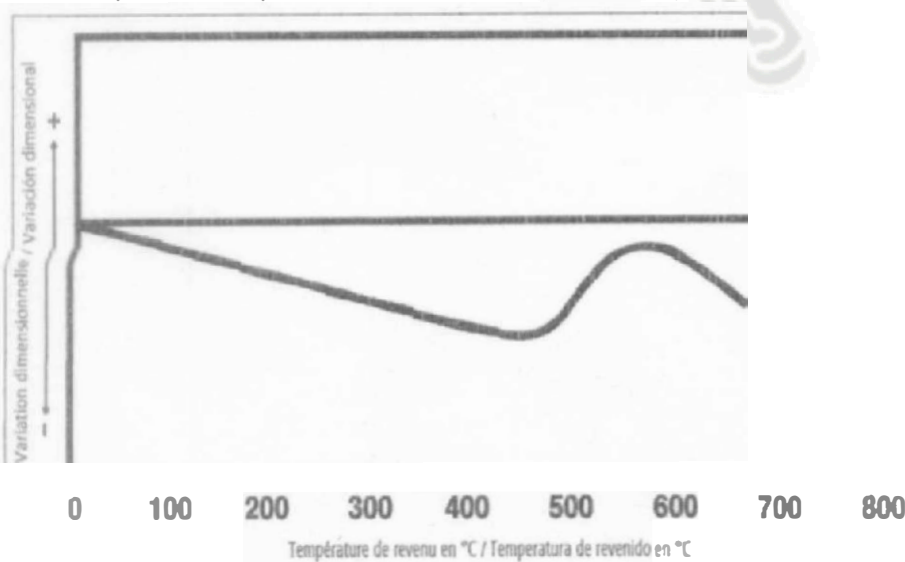
Dépendance de la dureté du contenu d'austénite résiduelle et de la variation longitudinale et transversale de la température de trempe.  
 Milieu de trempe: huile  
 Dimensions de la probette Ø 20 x 100 mm  
 (sacada de una plancha de acero de un espesor de 20 mm)

Le revenu comporte une variation dimensionnelle s'ajoutant à celle survenue lors de la trempe.

Al revenir se presenta nuevamente una variación de medidas, en comparación con el estado templado.

Variation dimensionnelles lors du revenu après la trempe

Variación de medidas al revenir después del temple



# BÖHLER K100

## Diagramme de transformation en refroidissement continu / Diagrama CCT para enfriamiento continuo

Température d'austénitisation: 950°C  
Durée de maintien: 30 minutes

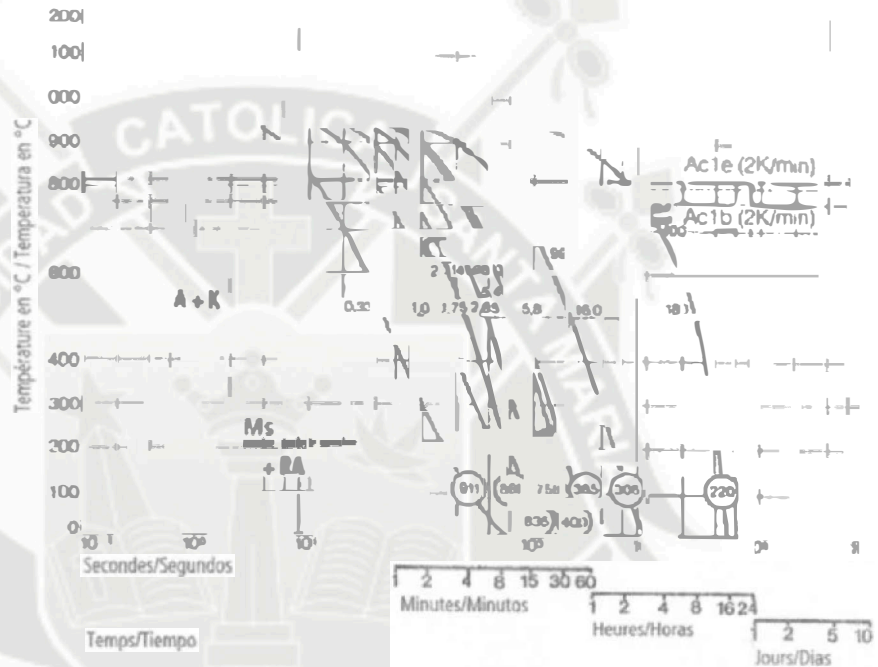
○ Dureté en HV  
2...100 Constituants, en %  
0,33...180 Paramètre de refroidissement, c.-à-d. durée de refroidissement de 800 à 500°C en  $s \times 10^2$   
2...Vitesse de refroidissement en K/min de 100 à 500°C

Temperatura austenización: 950°C  
Tiempo de permanencia: 30 minutos

○ Dureza Vickers  
2...100 Componentes de estructura en %  
0,33...180 Parámetro de enfriamiento, es decir, duración del enfriamiento de 800-500°C en  $s \times 10^2$   
2K/min... Velocidad de enfriamiento en K/min en el margen de 800 - 500°C

Composition chimique (valeurs indicatives en %) /  
Composición química (valores aproximados en %)

C	Si	Mn	S	Cr	Ni	W
1,91	0,19	0,32		11,84	0,18	0,05



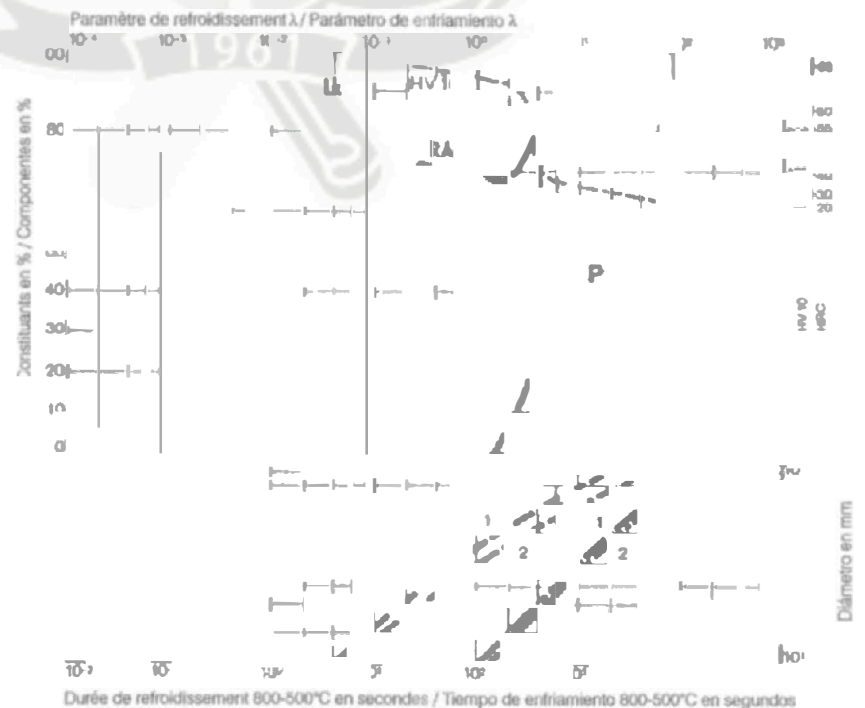
## Diagramme des phases / Diagrama estructural

A... Austénite / Austenita  
B... Bainite / Bainita  
P... Perlite / Perlita  
K... Carbure / Carburo  
M... Martensite / Martensita  
RA... Austénite résiduel / Austenita retenida  
Lk... Carbure de ledeburite / Carburo de ledeburita

Refroidissement à l'huile /  
Enfriamiento en aceite

Refroidissement à l'air /  
Enfriamiento al aire

1... Bord / Borde de la pieza  
2... Centre / Núcleo



Durée de refroidissement 800-500°C en secondes / Tiempo de enfriamiento 800-500°C en segundos

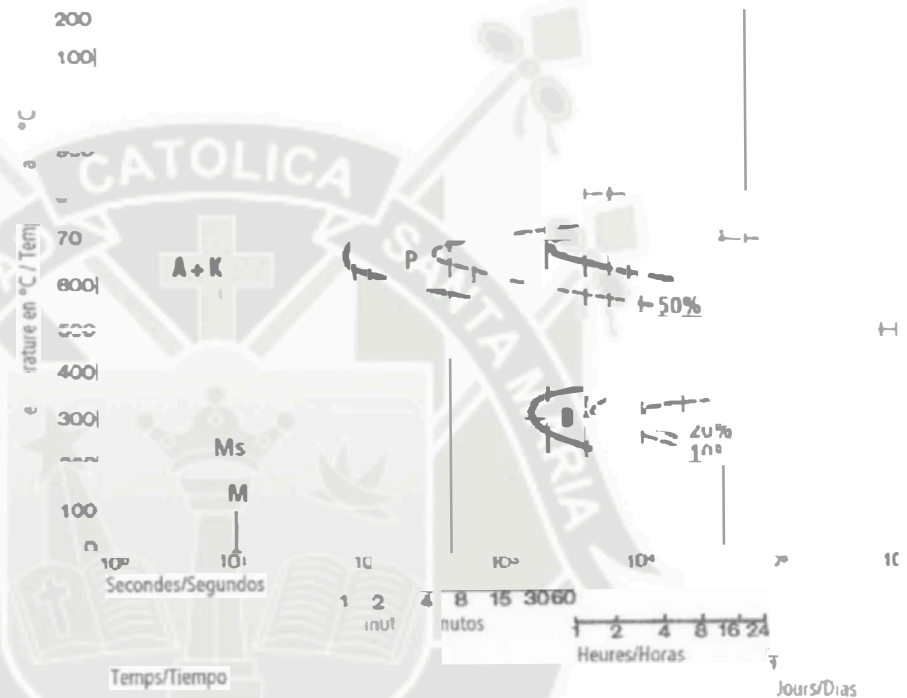
## Diagramme de transformation en conditions isothermes (Courbe TTT) / Diagrama TTT isotérmico

C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,98	0,19	0,32	11,84	0,18	0,05

Température d'austénitisation: 950°C  
Durée de maintien: 30 minutes

Temperatura austenización: 950°C  
Tiempo de mantenimiento: 30 minutos

- A.... Austénite / Austenita
- B.... Bainite / Bainita
- P.... Perlite / Perlita
- K.... Carbure / Carburo
- M.... Martensite / Martensita



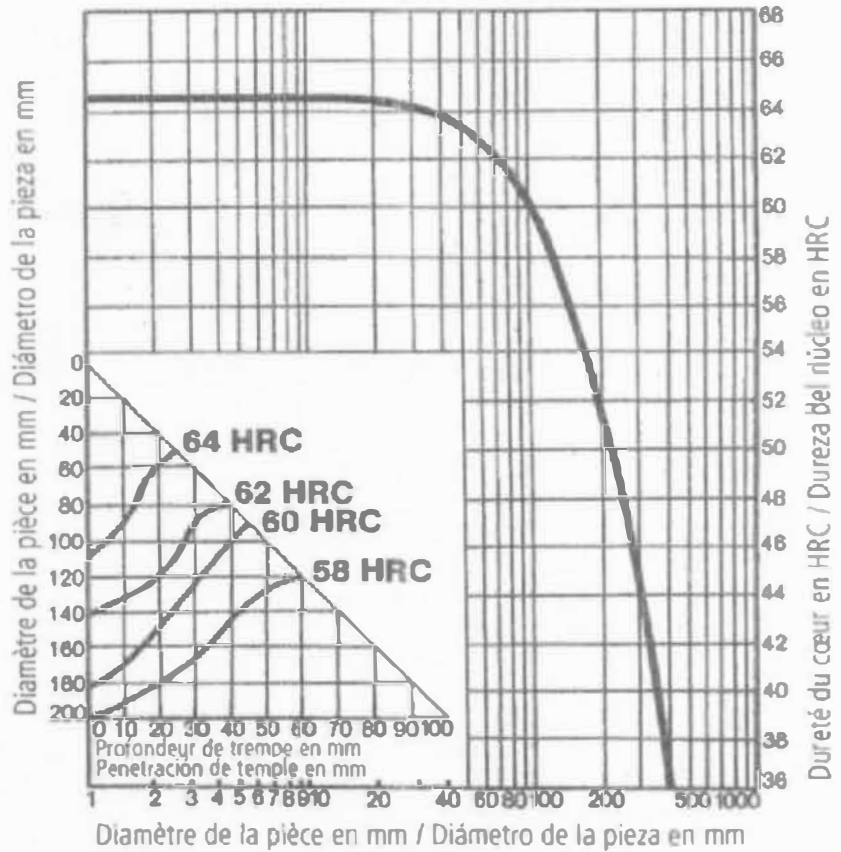
# BÖHLER K100

Courbe de la dureté du cœur et de la profondeur de trempé en fonction du diamètre de la pièce

Dependencia de la dureza del núcleo y de la penetración del temple en función del diámetro de la pieza

Température de trempé: 950°C  
Moyen de trempé: huile

Temperatura de temple: 950°C  
Medio de temple: aceite



# BÖHLER K100

## Recommandations pour l'usinage

(Etat recuit, valeurs approximatives)

Tournage avec outils à mise rapportée en carbure métallique				
Profondeur de coupe, mm	0,5 à 1	1 à 4	4 à 8	> 8
Avance, mm/rév	0,1 à 0,3	0,2 à 0,4	0,3 à 0,6	0,5 à 1,5
Nuance BÖHLERIT	SB10,SB20	SB10,SB20, EB10	SB30, EB20	SB30,SB40
Nuance ISO	P10.P20	P10. P20, M10	P30, M20	P30, P40
Vitesse de coupe, m/min				
Plaquettes amovibles Durée de vie 15 min	210 à 150	160 à 110	110 à 80	70 à 45
Outils à mise rapportée en carbure métallique brasés Durée de vie 30 min	150 à 110	135 à 85	90 à 60	70 à 35
Plaquettes amovibles revêtues Durée de vie 15 min BÖHLERIT ROYAL121 BÖHLERIT ROYAL131	à 210 à 140	à 180 à 140	à 130 à 100	à 80 à 60
Angles de coupe pour outils à mise rapportée en carbure métallique brasés				
Angle de dépouille	6 à 12°	6 à 12°	6 à 12°	6 à 12°
Angle de coupe orthogonal de l'outil	6 à 8°	6 à 8°	6 à 8°	6 à 8°
Angle d'inclinaison	0°	minus 4°	minus 4°	minus 4°
Tournage avec outils en acier rapidé				
Profondeur de coupe, mm	0,5	3	6	
Avance, mm/rév.	0,1	0,4	0,8	
Nuance BÖHLER/DIN	S700 / DIN S10-4-3-10			
Vitesse de coupe, m/min				
Durée de vie 60 min	30 à 20	20 à 15	18 à 10	
Angle de dépouille	14°	14°	14°	
Angle de coupe orthogonal de l'outil	8°	8°	8°	
Angle d'inclinaison	minus 4°	minus 4°	minus 4°	
Fraisage avec fraises à lames rapportées				
Avance, mm/dent	à 0,2		0,2 à 0,4	
Vitesse de coupe, m/min				
BÖHLERIT SBF/ ISO P25	150 à 100		110 à 60	
BÖHLERIT SB40/ ISO P40	100 à 60		70 à 40	
BÖHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 à 85		130 à 85	
Alésage avec outils à mise rapportée en carbure métallique				
Diamètre de foret, mm	3 à 8		8 à 20	20 à 40
Avance, mm/rév	0,02 à 0,05		0,05 à 0,12	0,12 à 0,18
Nuance BÖHLERIT / ISO	HB10/K10		HB10/K10	HB10/K10
	50 à 35		Vitesse de coupe, m/min 50 à 35	50 à 35
Angle de pointe	115 à 120°		115 à 120°	115 à 120°
Angle de dépouille	5°		5°	5°

# BÖHLER K100

## Recomendaciones para la mecanización

(Estado de tratamiento térmico: recocido blando, valores aproximados)

### I Tornear con metal duro

Profundidad de corte, mm	0,5 hasta 1	1 hasta 4	4 hasta 8	> 8
Avance, mm/r.	0,1 hasta 0,3	0,2 hasta 0,4	0,3 hasta 0,6	0,5 hasta 1,5
Calidad de metal duro BÖHLERIT	SB10, SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
Calidad 150	PÍO, P20	PÍO, P20, M10	P30, M20	P30, P40

#### Velocidad de corte m/min

Plaquitas de corte recambiables Duración 15 min	210 hasta 150	160 hasta 110	110 hasta 80	70 hasta 45
Herramientas de metal duro soldadas Duración 30 min	150 hasta 110	135 hasta 85	90 hasta 60	70 hasta 35
Plaquitas de corte recambiables con revestimiento Duración 15 min BÖHLERIT ROY AL 121 BÖHLERIT ROYAL 131	hasta 210 hasta 140	hasta 180 hasta 140	hasta 130 hasta 100	hasta 80 hasta 60
Ángulo de corte para herramientas de metal duro soldadas				
Ángulo de ataque	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°
Ángulo de libre	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°
Ángulo de inclinación	0°	menos 4°	menos 4°	menos 4°

### I Tornear con acero rápido

Profundidad de corte, mm	0,5	3	6
Avance, mm/r.	0,1	0,4	0,8
Calidad BOHLER/DIN	S700/DIN SI0-4-3-10		

#### Velocidad de corte m/min

Duración 60 min	30 hasta 20	20 hasta 15	18 hasta 10
Ángulo de ataque	14°	14°	14°
Ángulo de libre	8°	8°	8°
Ángulo de inclinación	menos 4°	menos 4°	menos 4°

### \* Fresar con cabezales de cuchillas

Avance, mm/diente	hasta 0,2	0,2 hasta 0,4
-------------------	-----------	---------------

#### Velocidad de corte m/min

BÖHLERIT SBF/ ISO P25	150 hasta 100	110 hasta 60
BÖHLERIT SB40/ ISO P40	100 hasta 60	70 hasta 40
BÖHLERIT ROYAL 131/ISO P35	130 hasta 85	130 hasta 85

### Mandrinar con metal duro

Diámetro del taladro, mm	3 hasta 8	8 hasta 20	20 hasta 40
Avance, mm/r.	0,02 hasta 0,05	0,05 hasta 0,12	0,12 hasta 0,18
Calidad de metal duro BÖHLERIT / ISO	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10

#### Velocidad de corte m/min

	50 hasta 35	50 hasta 35	50 hasta 35
Ángulo de punta	115 hasta 120°	115 hasta 120°	115 hasta 120°
Ángulo de despullo	5°	5°	5°

# BÖHLER K100

## Propriétés physiques

## Propiedades físicas

Densité á /

Densidad a.....20°C.....7,70.....kg/dm<sup>3</sup>

Conductivité thermique á /

Conductibilidad térmica a.....20°C.....20,0.....WV(m.K)

Chaleur spécifique á /

Calor específico a.....20°C.....460.....J/(kg.K)

Résistivité á /

Resistencia eléctrica específica a.....20°C.....0,65.....Ohm.mm<sup>2</sup>/m

Module d' élasticité á /

Módulo de elasticidad a.....20°C.....210 x 10<sup>3</sup> ...N/mm<sup>2</sup>

Dilatation thermique, entre 20°C et...° (10<sup>-6</sup> m/(m.K))  
 Dilatación térmica, entre 20°C y...°C (10<sup>-6</sup> m/(m.°C))

100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	12,0

Pour toute information spécifique concernant l'utilisation, la mise en oeuvre, les applications possibles nous consulter.

Para aplicaciones o pasos de proceso que no aparezcan mencionados de forma explícita en esta descripción del producto, rogamos al cliente se ponga en contacto con nosotros para consultar sobre su caso individual.

Référence:  
Cortésia de:



**BÖHLER**

BÖHLER EDELSTAHL GMBH & Co KG  
MARIAZELLI R STRASSE 25

POSTFAC 96

A 8605 KAPFE BERG/AUSTRIA

TELEFON: ( 43) 3862/20-7181

TELEFAX: ( 3) 8 2/20-7576

E- [boehler.edelstahl.com](mailto:boehler.edelstahl.com)

[boehler-edelstahl.com](http://boehler-edelstahl.com)

Les indications données dans cette brochure n'obligent à rien et servent donc à des informations générales. Les indications auront caractère obligatoire seulement au cas où elles seraient posées comme condition explicite dans un contrat conclu avec notre société. Lors de la fabrication de nos produits, des substances nuisibles à la santé ou à l'ozone ne sont pas utilisées.

Los datos contenidos en el folleto se facilitan a efectos meramente informativos y, por lo tanto, no serán vinculantes para la empresa. Estos datos serán vinculantes sólo si se especifican explícitamente en un contrato formalizado con nosotros. En la fabricación de nuestros productos no se utilizan sustancias nocivas para la salud o la capa de ozono."