

*Universidad Nacional*  
*“José Faustino Sánchez Carrión”*

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**Para Optar el Título de:**  
**INGENIERO METALURGICO**

**EVALUACION DE LOS PARAMETROS APLICADOS**  
**DURANTE EL TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO AISI**  
**M42 EN LA EMPRESA BOEHLER DEL PERÚ S.A. - 2018**

**Autor**

**WILMER DAVID POZO NIETO**

**Asesor**

**Ing. DELICIAS EUFEMIA NATIVIDAD HUASUPOMA**

**CIP. 085351**

**Huacho - Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres por todo su amor y cariño a lo largo de mi vida.*

***Wilmer D. Pozo Nieto***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional y a las personas que estuvieron apoyándome en todo momento durante mi etapa de formación profesional.*

**Wilmer D. Pozo Nieto**

## INDICE GENERAL

Portada.	1
Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Índice general.	4
Índice de figuras.	8
Índice de tablas.	9
Índice de anexos.	10
Resumen.	11
Abstract	12
Introducción.	13
CAPITULO I: Planteamiento del Problema.	
1.1. Descripción de la Realidad problemática.	14
1.2. Formulación del Problema.	15
1.2.1. Problema general.	15
1.2.2. Problemas específicos.	15
1.3. Objetivos de la Investigación.	16
1.3.1. Objetivo general.	16
1.3.2. Objetivos específicos.	16
1.4. Justificación de la Investigación.	16
1.4.1. Justificación técnica.	16
1.4.2. Justificación económica.	17
1.5. Delimitación del Estudio.	17
1.5.1. Delimitación temporal.	17
1.5.2. Delimitación espacial.	17
1.5.3. Delimitación académica.	18
1.6. Viabilidad del Estudio.	18
1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.	18
1.6.2. Viabilidad de recurso humano.	18
1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.	19

1.6.4. Viabilidad de recurso financiero.	19
CAPITULO II: Marco Teórico.	
2.1. Antecedentes de la investigación.	20
2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.	20
2.1.2. Otras publicaciones.	24
2.2. Bases Teóricas.	26
2.2.1. Tratamientos térmicos.	26
2.2.1.1. Etapas en los tratamientos térmicos.	27
2.2.1.1.1. Calentamiento.	27
2.2.1.1.2. Mantenimiento de temperatura.	28
2.2.1.1.3. Enfriamiento.	29
2.2.1.2. Tratamientos térmicos fundamentales.	29
2.2.1.2.1. Recocido.	29
2.2.1.2.2. Normalizado.	32
2.2.1.2.3. Temple.	33
2.2.1.2.4. Revenido.	37
2.2.1.3. Objetivo del tratamiento térmico.	39
2.2.2. Aceros.	39
2.2.2.1. Principales componentes de los aceros.	40
2.2.2.1.1. Austenita.	41
2.2.2.1.2. Ferrita.	42
2.2.2.1.3. Perlita.	43
2.2.2.1.4. Sorbita.	43
2.2.2.1.5. Cementita	44
2.2.2.1.6. Bainita.	45
2.2.2.1.7. Martensita.	45
2.2.3. Aceros para herramientas.	46
2.2.3.1. Clasificación de los aceros para herramientas.	47
2.2.3.2. Características requeridas en los aceros para herramientas.	49
2.2.3.3. Propiedades de los aceros para herramientas.	50
2.2.3.3.1. Dureza.	50
2.2.3.3.2. Resistencia al desgaste.	51

2.2.3.3.3. Tenacidad.	52
2.2.4. Tratamientos térmicos en aceros para herramientas.	54
2.2.4.1. Temple.	56
2.2.4.2. Revenido.	57
2.3. Definiciones conceptuales.	60
2.4. Formulación de hipótesis.	63
2.4.1. Hipótesis general.	63
2.4.2. Hipótesis específicas.	63
CAPITULO III: Metodología.	
3.1. Diseño metodológico.	64
3.1.1. Tipo de investigación.	64
3.1.1.1. Investigación Exploratoria.	64
3.1.1.2. Investigación Descriptiva.	65
3.2. Población y muestra.	65
3.2.1. Población.	65
3.2.2. Muestra.	66
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.	66
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.	67
3.4.1. Técnicas a emplear.	67
3.4.2. Descripción de los instrumentos.	67
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.	68
CAPITULO IV: Resultados.	
4.1. Desarrollo de la investigación.	69
4.1.1. Acero AISI M42.	69
4.1.2. Parámetros de tratamiento térmico.	71
4.1.2.1. Condiciones del tratamiento térmico.	71
4.1.2.1.1. Templado del acero AISI M42.	73
4.1.2.1.2. Revenido del acero AISI M42.	76

CAPITULO V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.	
5.1. Discusión.	80
5.2. Conclusiones.	84
5.3. Recomendaciones.	85
CAPITULO VI: Fuentes de información.	
6.1. Fuentes bibliográficas.	87
Anexos.	89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Diagrama de recocido y normalizado.	33
Figura 2:	Representación de un temple ordinario.	34
Figura 3:	Microfotografía de austenita.	41
Figura 4:	Microfotografía de ferrita.	42
Figura 5:	Microfotografía de perlita.	43
Figura 6:	Microfotografía de cementita.	44
Figura 7:	Microfotografía de bainita.	45
Figura 8:	Microfotografía de martensita.	46
Figura 9:	Influencia de distintos factores en la resistencia al desgaste abrasivo.	51
Figura 10:	Gráfico Dureza -Tenacidad de Fractura para distintas familias de aceros de herramienta.	53
Figura 11:	Esquema para tratamiento térmico de aceros para herramientas.	55
Figura 12:	Zona de temperatura de temple de los aceros.	57
Figura 13:	Diagrama de revenido de los aceros.	58
Figura 14:	Comportamiento típico durante el revenido de los aceros de herramienta de alta y baja aleación.	60
Figura 15:	Preparación de probetas para tratamiento térmico.	70
Figura 16:	Etapas del tratamiento térmico	71
Figura 17:	Horno de tratamiento térmico.	72
Figura 18:	Microestructura del acero AISI M42 (Bonificado).	72
Figura 19:	Microestructura del acero AISI M42 templado.	75
Figura 20:	Microestructura del acero AISI M42 revenido a 250 °C.	78
Figura 21:	Microestructura del acero AISI M42 revenido a 450 °C.	78
Figura 22:	Microestructura del acero AISI M42 revenido a 650 °C.	79
Figura 23:	Comparación de dureza del acero AISI M42 templado.	81
Figura 24:	Comparación de dureza del acero AISI M42 revenido.	82
Figura 25:	Comparación de los resultados de ensayo de tracción.	83



## INDICE DE TABLAS

Tabla	1:	Temperaturas para el recocido de los aceros al carbono.	30
Tabla	2:	Clasificación de los aceros para herramientas.	48
Tabla	3:	Porcentaje de austenita retenida para distintos grados de aceros para herramientas.	49
Tabla	4:	Variables e indicadores.	64
Tabla	5:	Normas equivalentes al acero AISI M42.	69
Tabla	6:	Composición química del acero para herramienta M42.	69
Tabla	7:	Efecto de la temperatura de revenido sobre la dureza.	70
Tabla	8:	Características técnicas del horno de tratamiento térmico.	72
Tabla	9:	Parámetros de Templado – Medio de enfriamiento.	73
Tabla	10:	Resultado de dureza del acero AISI templado - Medio de enfriamiento.	73
Tabla	11:	Parámetros de Templado – Tiempo de permanencia.	74
Tabla	12:	Resultado de dureza del acero AISI templado - Tiempo de permanencia.	74
Tabla	13:	Resultado de ensayos de tensión del acero AISI templado.	73
Tabla	14:	Parámetros de revenido – Temperatura de revenido.	76
Tabla	15:	Resultado de dureza del acero AISI revenido - Temperatura de revenido.	76
Tabla	16:	Parámetros de revenido – Tiempo de revenido.	77
Tabla	17:	Resultado de dureza del acero AISI revenido - Tiempo de revenido.	77
Tabla	18:	Resultado de ensayos de tensión del acero AISI revenido.	77

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Norma ASTM A 681 – 08.	90
Anexo 2:	Ficha técnica del Acero AISI M42.	104
Anexo 3:	Ficha técnica del Durómetro Rockwell.	106

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se muestra la evaluación de los parámetros aplicados durante el tratamiento térmico del acero AISI M42 usado habitualmente como acero para herramientas en trabajo en frío, realizadas por la empresa BOEHLER del Perú. El problema general se enfoca en las propiedades mecánicas requeridas por el acero AISI M42 para su aplicación como herramientas para trabajo en frío, y poder realizar una buena elección y optimización de los parámetros aplicados durante su tratamiento térmico.

La metodología aplicada en la evaluación de los parámetros del tratamiento térmico, se basa en las distintas pruebas realizadas a probetas estándar del material en estudio, con distintos parámetros aplicados y corroborados mediante ensayos mecánicos y la comprobación de los resultados de los mismos. De los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos realizadas a las probetas, se realiza un análisis y se determina los parámetros óptimos que dieron mejor resultados en relación a lo requerido para su aplicación en campo.

Al final se realiza las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de investigación para una mejor aplicación de los tratamientos térmicos en los aceros AISI M42.

**Palabras claves:** *Evaluación, Parámetros, Tratamientos Térmicos, Aceros, AISI M42.*

## ABSTRACT

In the present work of investigation shows the evaluation of the parameters applied during the thermal treatment of the steel AISI M42 used habitually like steel for tools in work in cold, realized by the company BOEHLER of Peru. The general problem focuses on the mechanical properties required by AISI M42 steel for its application as tools for cold work, and to make a good choice and optimization of the parameters applied during its thermal treatment.

The methodology applied in the evaluation of the parameters of the thermal treatment, is based on the different tests carried out on standard samples of the material under study, with different parameters applied and corroborated by mechanical tests and the verification of their results. From the results obtained in the mechanical tests carried out on the specimens, an analysis is made and the optimal parameters that gave the best results in relation to what is required for its application in the field are determined.

In the end the conclusions and recommendations are made based on the results obtained during the development of the research work for a better application of the thermal treatments in AISI M42 steels.

**Keywords:** *Evaluation, Parameters, Heat Treatments, Steels, AISI M42.*

## INTRODUCCIÓN

Los aceros usados para la fabricación de herramientas para trabajo en caliente y en frío requieren de propiedades mecánicas peculiares dependiendo de cual fuera el caso; los aceros suministrados por las empresas se presentan con propiedades mecánicas mínimas en relación al trabajo que van a realizar, es por eso que requieren que se les realice tratamientos térmicos para poder obtener las propiedades necesarias.

La influencia de los parámetros de tratamiento térmico en los aceros es determinante para la obtención de ciertas microestructuras con las propiedades específicas requeridas como, por ejemplo, un enfriamiento severo nos dará una microestructura martensítica en el acero que se va a ver reflejado en su alta dureza y a la vez en una disminución significativa en su tenacidad y aumento de su fragilidad, características que no deben presentarse en un acero para herramientas.

Mediante las evaluaciones de distintos parámetros aplicados durante el tratamiento térmicos se logra evaluar los parámetros más óptimos en base a los resultados de los ensayos mecánicos aplicados.

Durante el trabajo de investigación se realizaron distintos tipos de tratamientos térmicos, determinando los más óptimos para el tipo de acero que se está trabajando ya que mucho influye la composición química del mismo, el medio enfriante y la técnica aplicada.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El acero AISI M42 es un acero usado en la fabricación de herramientas de corte, embutidos, etc., siendo indispensable que esté presente buenas propiedades mecánicas como la tenacidad, resistencia al desgaste y dureza.

Para poder obtener las propiedades mecánicas requeridas se deben de realizar tratamientos térmicos al acero como el temple y el revenido. Los parámetros aplicados durante el proceso de estos tratamientos térmicos determinan en gran medida la efectividad del proceso.

A la vez la presencia de ciertas microestructuras secundarias en el acero se debe a la aplicación de los parámetros como la temperatura de tratamiento, el tiempo de permanencia en la zona de austenización, la velocidad de enfriamiento y el medio que se usa para la disminución de la temperatura, etc.

La elección y optimización correcta de estos parámetros ayuda en la obtención de las microestructuras que presentan las propiedades mecánicas que se requiere en el acero AISI M42 para poder aplicarlo como acero para herramienta y cumplir con las exigencias que requiere el mercado.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General.**

¿En qué medida la evaluación de los parámetros aplicados durante el tratamiento térmico nos determinara un incremento en las principales propiedades mecánicas del acero para AISI M42?

### **1.2.2. Problemas Específicos.**

- ¿En qué medida la evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos permite determinar los cambios producidos en la microestructura del acero AISI M42?
- ¿En qué medida la evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos permite determinar los efectos producidos sobre la dureza y resistencia a la tracción del acero AISI M42?
- ¿En qué medida la evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos permite determinar la relación entre las microestructuras y las propiedades mecánicas del acero AISI M42?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Evaluar los parámetros aplicados durante el tratamiento térmico para determinar el incremento en las principales propiedades mecánicas del acero AISI M42.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar los parámetros de tratamiento térmico para determinar los cambios producidos en la microestructura del acero AISI M42.
- Evaluar los parámetros de tratamiento térmico para determinar los efectos producido sobre la dureza y resistencia a la tracción del acero AISI M42.
- Evaluar los parámetros de tratamiento térmico para determinar la relación entre las microestructuras y las propiedades mecánicas del acero AISI M42.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. Justificación técnica.**

Las exigencias del mercado a mejorar las propiedades mecánicas de los aceros para herramientas AISI M42, conlleva a evaluar los parámetros aplicados



durante el tratamiento térmico, con la finalidad de optimizarlo para conseguir las propiedades deseadas.

#### **1.4.2. Justificación económica.**

La mejora en las propiedades mecánicas del acero para herramienta AISI M42, permite a las empresas un ahorro significativo y progresivo, en vista que la durabilidad de las mismas se prolonga a la vez puede generar la aplicación en otros tipos de trabajos más exigentes.

### **1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

#### **1.5.1. Delimitación temporal.**

Los datos que serán considerados para la realización del presente trabajo de investigación propuesto, están enmarcados dentro del periodo 2018, considerando los parámetros de tratamiento térmicos del acero para herramientas AISI M42, estos serán obtenidos a través de las evaluaciones y el análisis de los registros de los ensayos mecánicos realizados a las muestras.

#### **1.5.2. Delimitación espacial.**

El trabajo de investigación se encuentra dentro de los laboratorios de la empresa BOEHLER ubicada en el Cercado de Lima, departamento de Lima.

### **1.5.3. Delimitación académica.**

El trabajo de investigación planteado cumple con lo exigido por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, para eso se sustentan bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan conceptos y teorías sobre la evaluación de uniones soldadas en tuberías, adicionalmente esto se complementa con el desarrollo de aspectos técnicos entorno a materias como parámetros de procesos de soldaduras, calificación de personal, etc.

## **1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO**

### **1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.**

El tema de investigación "*EVALUACION DE LOS PARAMETROS APLICADOS DURANTE EL TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO AISI M42 EN LA EMPRESA BOEHLER DEL PERÚ S.A. - 2018*"; cuenta con el suficiente acceso de información primaria tanto en libros, revistas, código, normas, internet, etc.

### **1.6.2. Viabilidad de recurso humano.**

El estudio cuenta con la viabilidad de recurso ya que es realizado por el tesista con apoyo de personal de la empresa.

### **1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.**

El presente trabajo de investigación se realiza en un corto plazo de aproximadamente siete meses dentro del año en curso, por la ejecución de todos los procesos de investigación tales como: el planteamiento del problema, marco teórico, diseño de la investigación, tabulaciones y conclusiones.

### **1.6.4. Viabilidad de recurso financiero.**

Si es viable, por medio de recursos monetarios propios del tesista de manera que el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna empresa o entidad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

##### 2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.

- a) Según Argomedo Baca E. (2016), en el trabajo de investigación: ***“Influencia del Tiempo y Temperatura de Revenido en la Dureza y Resistencia al Desgaste Abrasivo del Acero para Herramientas al Choque AISI S1”***, concluye que, partiendo de un mismo temple, los parámetros de revenido: temperatura y tiempo, afectan la dureza de manera descendente. A mayor tiempo de revenido menor dureza, y lo mismo sucede con la temperatura. Este fenómeno se explica en base a los fenómenos de difusión, que dependen del tiempo y temperatura. Los gráficos de dureza, se encuentran dentro de los límites estipulados por la “ASM Metals Handbook”, para los aceros de la serie S1. Las curvas de ensayo del experimento, se encuentran ubicados dentro de los límites especificados. Respecto a la resistencia al desgaste abrasivo, el tiempo de revenido se encuentra en relación inversa con el desgaste. En todo el intervalo de temperaturas se observa, que las muestras revenidas durante 30 min presentan mayor resistencia al desgaste, que las revenidas durante 60 min. Es decir; a mayor tiempo de revenido, la resistencia al desgaste disminuye. Si bien, la resistencia al desgaste abrasivo tiene una relación directa con el tiempo de revenido, no lo tiene con la temperatura. En todo el

intervalo de temperaturas su comportamiento es oscilante. No se puede afirmar que un incremento en la temperatura de revenido producirá un aumento o disminución de la resistencia a la abrasión.

Los datos de las dos curvas de tendencia de resistencia al desgaste abrasivo (D.A) se ajustan con mucha precisión a las siguientes ecuaciones polinómicas: Para revenido a 30 min:  $D.A. = 5E-0,7T^3 - 0.0004T^2 + 0,1078T - 6,6744$ . Para revenido a 60 min:  $D.A. = 4E-0,7T^3 - 0.0004T^2 + 0,1164T - 8,8194$ .

La dureza no es el factor decisivo que afecta a la resistencia al desgaste de este material. El factor más importante es la microestructura del material, donde la forma, tamaño y distribución de carburos tienen una influencia directa. La conclusión anterior quedó demostrada, al comparar la microestructura del acero ledeburítico AISI D3, de alto contenido de cromo y carbono, con nuestro acero AISI S1 de mediano carbono y baja aleación; donde se observa para 350°C la resistencia a la abrasión del AISI D3 llega a 12 veces más respecto al AISI S1. Se concluye que la relación dureza-desgaste abrasivo, en los aceros para herramientas, no se encuentra definitivamente establecida, faltan mayores estudios. Solo un monitoreo de los parámetros de tratamientos, nos puede dar valores óptimos de estas propiedades, según aplicaciones específicas. (Argomedo Baca, 2016)

- b) Según Medina Fadel, A. M. (2014), en el trabajo de investigación: ***“Evaluación de las Variables en el Tratamiento de Aceros para Herramientas”***, concluye que la dureza tiene variación debido al tipo de enfriamiento que se realizó, en comparación con la probeta del material

original. Las durezas obtenidas nos indican que el material que fue tratado térmicamente presenta una mejora en sus propiedades. Este cambio es debido a la obtención de una microestructura de martensita, siendo ésta la principal característica para este tipo de acero cuando son tratados, y su enfriamiento en diferentes medios. De las micrografías obtenidas se puede deducir que, debido a los fenómenos térmicos que se realizaron, existen cambios significativos en el material original. Después que el material es tratado térmicamente, es de esperarse que las propiedades mecánicas y microestructuras de cada una de las probetas sean mejores. Las Microestructuras obtenidas por microscopía óptica, muestran cambios estructurales con respecto a la muestra original (austenita a martensita). La presencia de esta microestructura demuestra la conveniencia de este tratamiento térmico y los resultados obtenidos son adecuados para este tipo de acero. (Medina Fadel, 2014)

- c) Según Vega Cruz H. E. y Ormeño Vásquez J. P. (2014), en el trabajo de investigación: "***Evaluación y Optimización de los Parámetros de Operación del Tratamiento Térmico de Bonificado de un Acero de Medio Carbono C 45E-EN 10083***"; concluyen que después de haber efectuado una serie de pruebas experimentales del tratamiento térmico de bonificado con miras a verificar el efecto de las variables, temperatura, tiempo de austenización y temperatura de revenido, podemos establecer que la dureza se valora cuando realizamos el temple a 850°C con un tiempo de austenización de 30 minutos y 300°C como temperatura de revenido, obteniéndose una dureza promedio máximo de 110.86 HRB, lo que confirma

que si es posible incrementar su dureza controlando adecuadamente las variables de temple y revenido. El análisis de varianza nos permite afirmar que los parámetros evaluados, el que mayor significancia tiene en el proceso es la temperatura de temple y temperatura de revenido y más no el tiempo de austenización. El análisis del diseño factorial que maximiza la dureza, confirma que los variables óptimos son la temperatura de temple a 880°C, tiempo de austenización 15 minutos y temperatura de revenido 350°C dando un valor óptimo de dureza de 112.156 HRB.

De los resultados que hemos obtenido como consecuencia de las pruebas experimentales, comparado con los resultados teóricos se concluye que eligiendo y realizando el tratamiento térmico adecuado se logra resultados óptimos requeridos de dureza, según posibles aplicaciones. A partir del análisis de resultados y como consecuencia del diseño experimental, se han obtenido gráficas que muestran el efecto de revenido como tratamiento térmico complementario del temple a fin de obtener una dureza útil, lo cual demuestra que este tratamiento térmico doble logra un equilibrio entre dureza y resistencia al acero. Inicialmente el material presenta homogeneidad en sus propiedades físicas y mecánicas, esto indica que el material a trabajar, tiene las mismas propiedades elásticas en cualquier punto del cuerpo, pero a su vez existen mínimas diferencias. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014)

El acero C 45E-EN 10083 después de haber sido sometido a un tratamiento térmico de temple, cambió de ser homogéneo a heterogéneo, esto implica que se incrementó su oxidación como una reacción a la corrosión, lo que produce

también cambios en la estructura física y mecánica del material. Luego de revenir el acero C 45E-EN 10083, este pasa de ser heterogéneo a homogéneo completamente en toda su estructura. El proceso térmico de revenido consigue, en aceros templados, disminuir tanto dureza como resistencia y a su vez elimina las tensiones que se crean en este tipo de material, optimizando de este modo su tenacidad y además deja al acero con la resistencia o dureza que se desea. De las anteriores conclusiones se infiere que la primera etapa del bonificado, es decir el temple ayuda a aumentar tanto la dureza como la resistencia del acero C 45E-EN 10083. El acero luego del templado, se convierte en un material que, si bien es mucho más duro que el mismo material sin temprar, a su vez se vuelve mucho más frágil a temperatura ambiente, es por esto que con la segunda etapa del bonificado o sea el proceso térmico de revenido se evita que cuando al material se le aplique alguna tensión, este no se rompa o quiebre con relativa facilidad. En palabras sencillas, para obtener propiedades mecánicas superiores garantizadas en el acero C 45E-EN 10083 es indispensable aplicar un tratamiento de bonificado o mejorado. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014)

### **2.1.2. Otras publicaciones.**

- a) Según Patiño H. y Rosero B. (2016); en la publicación del artículo titulado: ***Tratamiento Térmico de Temple, influencia del Medio de Enfriamiento;*** concluyen que, respecto a los medios de enfriamiento en el temple, no todos son aptos. La aptitud de un medio para temprar consiste en la velocidad con la que la pieza transfiere calor al medio, a velocidad mayor, severidad de



temple mayor. Durante la experimentación el medio más severo fue el de la mezcla de agua, hielo y sal, el hecho de agregar sal y hielo disminuye la temperatura del medio, por tanto, la velocidad de enfriamiento es mayor.

- b) Según Moralesa J. y Sidorovas, L. (2014); en la publicación del artículo titulado: ***Influencia de un tratamiento criogénico en las propiedades mecánicas de un acero para herramientas AISI T-2000***; concluyen que Los valores de las propiedades mecánicas estudiadas luego de la aplicación de las temperaturas criogénicas, resultó ser la variable predominante a la hora de establecer conclusiones sobre la investigación, de esta manera se pudo determinar la influencia del tratamiento térmico criogénico con nitrógeno líquido en el proceso de enfriamiento, que sirve como un tratamiento adicional a los de temple y revenido realizados en el acero T.2000. El tratamiento criogénico a una temperatura  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  influye directamente en el acero y en los valores de sus propiedades de dureza, tenacidad y resistencia tensil. Esto se determinó por medio de los ensayos mecánicos en un universo de 20 probetas de ensayo Charpy, tracción y dureza. Donde los valores finales obtenidos al mantener la pieza 24 horas en una cámara cerrada repleta de nitrógeno líquido son Dureza 69,32 HRC, Resistencia máxima de 820 MPa, Resistencia al Impacto 13,53 J. Queda establecido de esta manera el aumento de los valores de dureza y resistencia máxima al aplicar temperaturas de  $-194^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, estas mejoras obtenidas en las propiedades señaladas se lograron a costa de la disminución de los valores de tenacidad de impacto. Esta disminución en la tenacidad de impacto se presenta como un problema menor que surge como consecuencia al producir mejoras en otros aspectos

del acero, por lo que se hace imprescindible establecer las propiedades principales que se necesitan antes de aplicar el enfriamiento en nitrógeno líquido, entendiendo la limitación que presenta el proceso para piezas sometidas a altos impactos. En la microestructura se observaron las fases austenita y martensita, así como también las partículas esferoidales de carburos, y poca dispersión en los porcentajes de peso de los elementos aleantes Cobalto (Co) y Tungsteno (W) que conforman estas fases a través de un análisis químico por EDX, pero es representativo en las fases fueron afectadas por el tratamiento. En la superficie de fractura de los ensayos de tracción se caracteriza por presencia de diferentes planos, presentando un mecanismo de clivaje manteniéndose constante en las condiciones de estudio.

## **2.2. BASES TEORICAS.**

### **2.2.1. Tratamientos térmicos.**

Se denomina tratamiento térmico a la modificación de la microestructura de una aleación metálica (y a través de ella de sus propiedades) como consecuencia de la realización de calentamientos y enfriamientos controlados. (Belzunce Valera, 2001, pág. 67)

### **2.2.1.1. Etapas en los tratamientos térmicos.**

Cualquier tratamiento térmico consta al menos de tres etapas: calentamiento, mantenimiento a temperatura constante y enfriamiento.

#### **2.2.1.1.1. Calentamiento.**

Al calentar una pieza de acero en el interior de un horno apropiado, el calor se transmite desde la atmósfera del horno hacia el interior de la pieza a través de la superficie de la misma, de manera que en un instante cualquiera detectaríamos la existencia de un gradiente térmico a lo largo de su diámetro: las regiones superficiales estarán más calientes y las interiores más frías. Estos gradientes se pueden mitigar si se utilizan velocidades de calentamiento muy lentas o bien cuando se tratan piezas muy pequeñas. Por otro lado, a consecuencia de la dilatación térmica diferencial introducida, aparecerán unas tensiones internas. (Belzunce Valera, 2001, pág. 67)

La magnitud de las dilataciones diferenciales (y en consecuencia de las tensiones internas) se incrementará si el acero en el curso de su calentamiento sufre cambios estructurales. En el supuesto de una austenización, la transformación de las estructuras ferrito-perlíticas en austenita tiene lugar con una disminución de volumen, dando lugar a una contracción de la región periférica cuando el núcleo de la pieza, más frío, se está expandiendo en virtud del calentamiento, y más adelante, cuando se alcanza una temperatura para la que tiene lugar la transformación austenítica del núcleo, éste se contrae cuando la

periferia de la pieza se sigue calentando y, en consecuencia, se está expandiendo. En el caso de los aceros de uso más general, con el fin de reducir las tensiones internas durante la fase de calentamiento, se recomienda que la duración del calentamiento de un redondo desde temperatura ambiente hasta la temperatura de austenización (expresada en horas) sea igual al diámetro del redondo en pulgadas dividido por dos. (Belzunce Valera, 2001, pág. 68)

#### **2.2.1.1.2. Mantenimiento de temperatura.**

El tiempo de permanencia a alta temperatura debe ser el suficiente no solo para conseguir igualar la temperatura en toda la pieza sino también para lograr la máxima uniformidad estructural posible. En el caso de los aceros de uso más general se recomienda mantener la temperatura (en el caso de la austenización) una hora por cada pulgada de diámetro de la pieza a tratar (aproximadamente una hora por cada 25 mm), siempre que ésta se haya calentado al ritmo indicado. (Belzunce Valera, 2001, pág. 68)

También es importante destacar que la temperatura de permanencia durante la austenización de los aceros será función del tipo de acero a tratar. Los aceros hipoeutectoides se llevan hasta una temperatura superior a  $A_3$  ( $A_3+40^\circ\text{C}$  por ejemplo) para lograr una austenización completa, mientras que, por el contrario, los aceros hipereutectoides, con el fin de evitar los riesgos de quemado, se austenizan de manera incompleta, calentándolos hasta una temperatura inferior a  $A_{cm}$  ( $A_i+40^\circ\text{C}$ , por ejemplo). (Belzunce Valera, 2001, pág. 68)

### **2.2.1.1.3. Enfriamiento.**

La etapa de enfriamiento es crucial siendo la que diferencia los tratamientos térmicos más habituales y debe ser la estrictamente necesaria para conseguir las microestructuras finales objetivo de cada tratamiento. También suele ser en esta etapa cuando se generan las tensiones residuales más importantes, especialmente en el caso del tratamiento de temple. También en esta etapa el riesgo de generar altas tensiones residuales disminuye cuanto más pequeña es la pieza a tratar, ya que el gradiente térmico que existirá a lo largo de su diámetro es menor. (Belzunce Valera, 2001, pág. 69)

### **2.2.1.2. Tratamientos térmicos fundamentales.**

#### **2.2.1.2.1. Recocido.**

Con este nombre se conocen varios tratamientos cuyo objetivo principal es ablandar el acero; otras veces también se desea además regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consiste en calentar a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos. Los diferentes tipos de recocido que se emplean en la industria se pueden clasificar en tres grupos: recocidos con austenización completa, recocidos subcríticos y recocidos con austenización incompleta. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 39)

- **Recocido de austenización completa.**

En este caso el calentamiento se hace a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y luego el material se enfría muy lentamente. Sirve para ablandar y regenerar su estructura. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 40)

Tabla 1  
*Temperaturas para el recocido de los aceros al carbono*

Composición % de C	Austenización completa °C	Composición % de C	Austenización completa °C
0.10	910	0.70	775
0.20	980	0.80	760
0.30	860	0.90	760
0.40	840	1.00	825
0.50	820	1.10	860
0.60	800	1.20	900

- **Recocido subcrítico.**

El calentamiento se hace por debajo de la temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia como en el caso anterior la velocidad de enfriamiento, pudiendo incluso enfriarse el acero al aire sin que se endurezca. Por medio de este tratamiento se eliminan las tensiones del material y se aumenta su ductilidad. Se puede distinguir tres clases de reconocidos subcríticos: de ablandamiento, contra acritud y globular. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 40)

- **Recocido de ablandamiento.**

Su principal objetivo es ablandar el acero por un procedimiento rápido y económico. Con este tratamiento no se suelen obtener las menores durezas, pero

en muchos casos las que se consiguen son suficientes para mecanizar fácilmente las piezas. El proceso consiste en calentar el acero hasta una temperatura, que siendo inferior a la crítica Ac1, sea lo más elevada posible y enfriar luego al aire. Las durezas que se obtienen en ciertos aceros de herramientas y de construcción de alta aleación de este tratamiento, suelen ser algunas veces demasiado elevadas para el mecanizado. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 41)

- **Recocido contra acritud.**

Se efectúa a temperaturas de 550 a 650°C, y tiene por objeto aumentar la ductilidad de los aceros de poco contenido de carbono (menos de 0.40%) estirados en frío. Con el calentamiento a esa temperatura se destruye la cristalización alargada de la ferrita, apareciendo nuevos cristales poliédricos más dúctiles que los primitivos, que permiten estirar o laminar nuevamente el material sin dificultad. El enfriamiento se suele hacer al aire. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 41)

- **Recocido subcrítico globular.**

En ocasiones para obtener en los aceros al carbono y de baja aleación una estructura globular de baja dureza, en cierto modo parecida a la que se obtiene en el recocido globular de austenización incompleta, se les somete a los aceros a un calentamiento a temperaturas inferiores pero muy próximas a la crítica Ac1, debiendo luego enfriarse el acero lentamente en el horno. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 41)

- **Recocido de austenización incompleta.**

Son tratamientos que se suelen dar a los aceros al carbono o aleados, de más de 0.50% de carbono, para ablandarlos y mejorar su maquinabilidad. Consisten en calentamientos prolongados a temperaturas intermedias entre la crítica superior y la inferior, seguidos siempre de un enfriamiento lento. El fin que se persigue con estos recocidos es obtener la menor dureza posible y una estructura microscópica favorable para el mecanizado de las piezas. Por medio de estos tratamientos se consigue con bastante facilidad en los aceros hipereutectoides que la cementita y los carburos de aleación adopten una disposición más o menos globular que da para cada composición una dureza muy inferior a cualquier otra micro estructura, incluso la perlita laminar. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 42)

Algunas veces se hace el recocido empleando un ciclo oscilante de temperaturas que son unas veces superiores y otras inferiores a  $A_{c1}$ , otras veces (que suelen ser la mayoría) se emplean temperaturas ligeramente superiores a  $A_{c1}$ . Al primero de estos tratamientos se le suele llamar recocido globular oscilante y el segundo se le llama recocido globular de austenización globular incompleta. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 42)

#### **2.2.1.2.2. Normalizado.**

Este tratamiento consiste en un calentamiento a temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior, seguido de un enfriamiento en aire tranquilo. De esta forma, se deja el acero con una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideran como normales y características de su composición. Se suele utilizar



para piezas que han sufrido trabajos en caliente, trabajos en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos, y también sirve para corregir los efectos de un tratamiento anterior defectuoso. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 42)

Por medio del normalizado, se eliminan las tensiones internas y se uniformiza el tamaño de grano del acero. Se emplea casi exclusivamente para los aceros de construcción al carbono o de baja aleación. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 43)

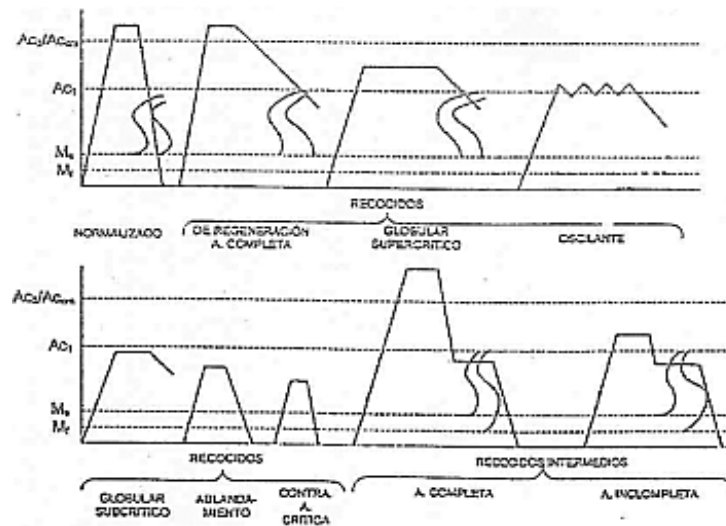


Figura 1. Diagrama de recocido y normalizado.

### 2.2.1.2.3. Temple.

El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta en general a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría rápidamente (según la composición y el tamaño de la pieza) en un medio conveniente, agua, aceite, etc. El temple es un proceso de calentamiento y enfriamiento realizado a una velocidad mínima denominado crítica,

el fin es transformar la austenita en martensita. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 43)

En la práctica no toda la austenita se transforma en martensita ya que es imposible conseguir una velocidad de enfriamiento lo suficientemente rápida en piezas grandes y en otros no interesa tener martensita sino otras como la vainita, el temple abarca tres etapas: (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 43)

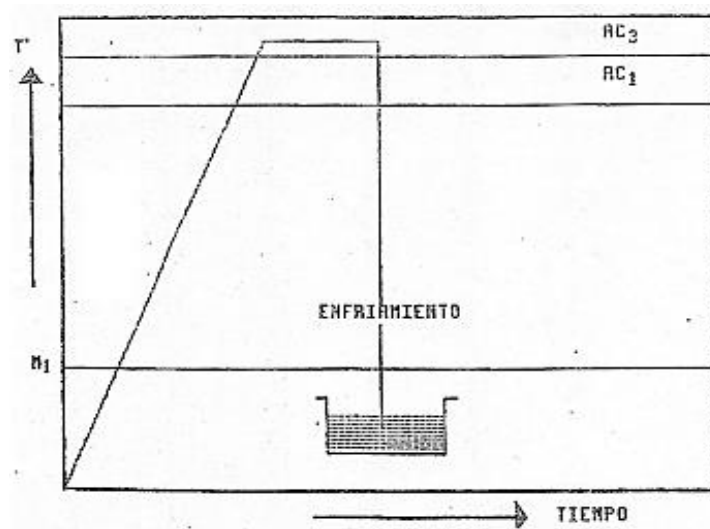


Figura 2. Representación de un temple ordinario.

**a) Primera etapa: calentamiento.**

Para activar el proceso, es necesario alcanzar la temperatura de austenización por tanto se deberán calentar las piezas por encima de  $Ac_3$  y  $Ac_1$  o  $A_{cm}$ . (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 43)

**b) Segunda etapa: permanencia.**

Es necesario permanecer a la temperatura de austenización, hasta que toda la masa sea austenita homogénea, su valor es función del espesor de la pieza, de

la temperatura de calentamiento y de la composición del acero. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 44)

**c) Tercera etapa: enfriamiento.**

Se caracteriza por la velocidad de enfriamiento y se clasifica en: (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 44)

- Lentos  $V_e < 50^\circ\text{C} / \text{seg.}$  se originan estructuras estables.
- Intermedios  $50 < V_e < 250^\circ\text{C} / \text{seg.}$ , se origina sorbita de temple.
- Rápidos  $250 < V_e < 500^\circ\text{C} / \text{seg.}$ , se originan mezclas de troostita y martensita.
- Muy rápido  $V_e > 500^\circ\text{C} / \text{seg.}$  Se obtiene martensita.

• **Factores que influyen en el temple.**

**El tamaño de la pieza.**

En los perfiles delgados tanto en el calentamiento como en el enfriamiento se observa muy poca diferencia de temperatura entre la periferia y el interior de las muestras. En muestras de gran espesor o gran diámetro la temperatura en el interior es inferior en el calentamiento y superior en el enfriamiento a la de su periferia ya que el calor no se transmite directamente al interior sino a través del espesor de la muestra por tanto en el calentamiento es necesario aumentar la duración del proceso hasta una temperatura determinada. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 45)

### **Influencia de la composición.**

El contenido del carbono del acero influye a la vez en la temperatura y en la velocidad crítica del temple, la temperatura del temple es tanto más baja cuanto más se aproxima el acero a la composición eutectoide. La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta, para las mismas condiciones de enfriamiento el temple obtenido es más energético y la dureza de los aceros al carbono templados, es mayor cuanto más alto es su porcentaje de carbono. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 45)

### **Influencia del tamaño de grano.**

El tamaño de grano influye, principalmente en la velocidad crítica de temple. A igualdad de composición, las velocidades críticas de temple de los aceros de grano grueso son inferiores a las velocidades críticas de los aceros de grano fino. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 46)

### **Influencia del medio de enfriamiento.**

Al sumergir una barra de acero a alta temperatura en un líquido, tiene lugar las siguientes etapas: (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 46)

- Primera etapa: El enfriamiento se produce por conducción y radiación a través de la capa gaseosa.
- Segunda etapa: El enfriamiento se produce por transporte de vapor.
- Tercera etapa: El enfriamiento se produce por conducción y convección del líquido.

Los temple pueden ser austenización completa y de austenización incompleta, en los primeros el constituyente final del acero es martensita y en los segundos los componentes son martensita y cementita. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 46)

#### **2.2.1.2.4. Revenido.**

Es un tratamiento que se da a las piezas de acero que han sido previamente templadas. Con este tratamiento, que consiste en un calentamiento a temperatura inferior a la crítica Ac1, se disminuye la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora su tenacidad, quedando el acero con la dureza o resistencia deseada. (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 46)

- **Etapas del proceso de revenido.**

Existen cuatro etapas fundamentales: (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 47)

- a) Primera etapa de 100 a 200 °C.**

- Diminución del porcentaje de carbono en la martensita.
- Pérdida parcial de tetragonalidad de la martensita.
- Las agujas de martensita después del temple son de color claro.
- Las agujas de martensita después del revenido son de color oscuro.
- La martensita formada en aceros de 0.3 a 1.5%C no es estable a temperatura ambiente.

**b) Segunda etapa de 200 a 300°C.**

- Descomposición de la austenita retenida en vainita, ferrita y cementita.
- En aceros de 0.5%C la austenita retenida es < a dos 2%.
- En aceros de 0.8%C la austenita retenida es de 6%.
- En aceros de 1.25%C la austenita retenida es de 30%.

**c) Tercera etapa de 300 a 350 °C.**

- Reemplazo de carburo por la cementita.
- Pérdida de la tetragonalidad de la martensita.
- La cementita aparece como la estructura de widmanstetten.
- La cementita se esferoidiza en los límites de grano.
- Hay desaparición de tetragonalidad de la matriz, quedando una matriz ferrítica.

**d) Cuarta etapa por encima de 350°C.**

- Granulación y esferoidización del cementita a 300 y 400 °C.
- Recuperación y recristalización de la ferrita.
- A los 700 °C los listones martensíticos son reemplazados por límites de granos ferríticos, mediante el proceso de recristalización.
- Finalmente, quedan granos ferríticos equiaxiales con partículas esferoidizadas de cementita parcialmente precipitados en los bordes de grano.

### **2.2.1.3. Objetivo del tratamiento térmico.**

El tratamiento térmico del acero es generalmente aplicado para lograr alguno de los siguientes objetivos: (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014, pág. 53)

- Eliminar esfuerzos inducidos por el trabajo en frío o por enfriamiento no uniforme de metales calientes.
- Refinar el tamaño de grano de aceros trabajados en caliente, los cuales pudieron haber incrementado el tamaño de grano.
- Obtener una estructura de grano apropiado.
- Disminuir la dureza e incrementar la ductilidad.
- Incrementar la tenacidad, esto es producir un acero que tenga ambos alta resistencia a la tensión y buena ductilidad, es decir alta resistencia al impacto.
- Mejorar la maquinabilidad.
- Mejorar las propiedades de corte en aceros de herramientas.
- Mejorar las propiedades eléctricas.
- Modificar las propiedades magnéticas.

### **2.2.2. Aceros.**

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,008 y 2%. Se le pueden añadir otros elementos para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades. Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución. Antes del tratamiento térmico, la mayoría de los aceros

son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. (Condori Sosa, 2014, pág. 18)

La cementita es un compuesto de hierro con el 6.67% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica; sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero, que no ha sido tratado térmicamente, depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono mayores, es una mezcla de perlita y cementita (Condori Sosa, 2014, pág. 18)

#### **2.2.2.1. Principales componentes de los aceros.**

En los aceros, el carbono se encuentra en general, o combinado en forma de cementita o disuelto, rara vez en forma de grafito. Este es el motivo por el cual solo se emplea el diagrama de equilibrio meta-estable Fe – Fe<sub>3</sub>C para el estudio de los aceros. Los constituyentes estructurales de equilibrio de los aceros son: (Condori Sosa, 2014, pág. 20)



### 2.2.2.1.1. Austenita.

Se define como una solución sólida de carbono en hierro gamma. Solo es estable a temperaturas superiores a  $723^{\circ}\text{C}$ , desdoblándose por reacción eutécticoide, a temperaturas inferiores, en ferrita y cementita. Solo puede aparecer austenita a temperatura ambiente en los aceros austeníticos, en este caso la austenita si es estable a temperatura ambiente. Es deformable como el hierro gamma, poco duro, presenta gran resistencia al desgaste, es magnética, es el constituyente más denso de los aceros y no se ataca con reactivos. La resistencia de la austenita retenida a la temperatura ambiente oscila entre 800 y 1000  $\text{N/mm}^2$  y el alargamiento entre 20 y 25 %. Puede disolver hasta 1,7-1,8 % de carbono. Presenta red cristalográfica cúbica centrada en las caras (C.C.C.), con los siguientes parámetros de red,  $a = 3,67 \text{ \AA}$  y  $d = 2,52 \text{ \AA}$ . (Condori Sosa, 2014, pág. 21)

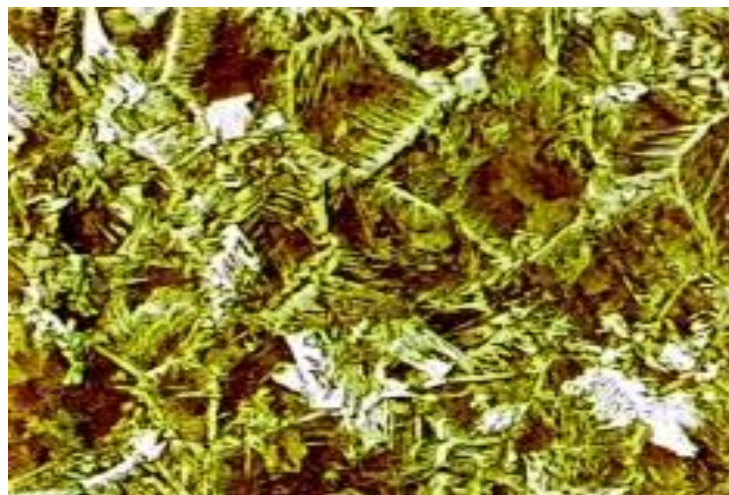


*Figura 3.* Microfotografía de austenita.

### 2.2.2.1.2. Ferrita.

Este constituyente está formado por una solución sólida de inserción de carbono en hierro alfa. Es el constituyente más blando de los aceros, pero es el más tenaz, es el más maleable, su resistencia a la tracción es de  $2800 \text{ N/mm}^2$  y su alargamiento de 35%. Su solubilidad máxima es de 0,008%. Puede también mantener en solución de sustitución a otros elementos tales como Si, P, Ni, Cr, Cu... que figuran en los aceros, bien como impurezas, bien como elementos de aleación. (Condori Sosa, 2014, pág. 21)

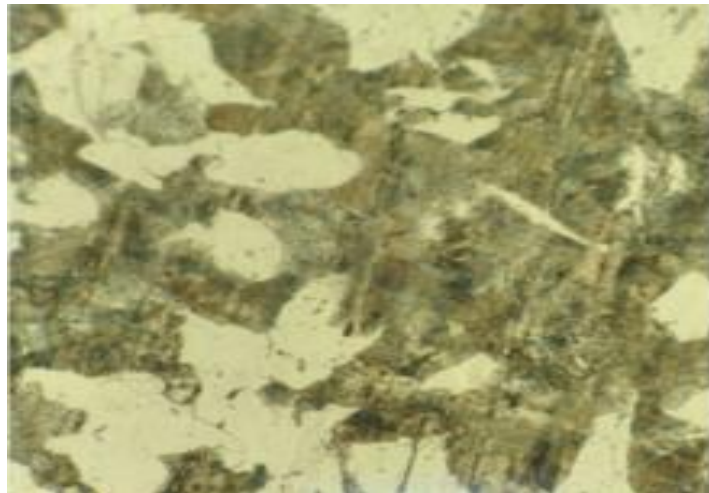
La ferrita se presenta en los aceros hipoeutectoides como constituyente y mezclada con la cementita entra a formar parte de la perlita. Si el acero es muy pobre en los granos son equiaxiales. Tiene una distancia interatómica de  $2,86 \text{ \AA}$  y un diámetro atómico de  $2,48 \text{ \AA}$ . (Condori Sosa, 2014, pág. 21)



*Figura 4.* Microfotografía de ferrita.

### **2.2.2.1.3. Perlita.**

Está formada por una mezcla eutectoide de dos fases, ferrita y cementita, se produce a 723° C cuando la composición es de 0,80%. Su estructura está constituida por láminas alternadas de ferrita y cementita, siendo el espesor de las láminas de ferrita superior al de las de cementita, estas últimas quedan en relieve después del ataque con ácido nítrico, lo cual hace que en la observación microscópica se revelen por las sombras que proyectan sobre las láminas de ferrita. La perlita es más dura y resistente que la ferrita, pero más blanda y maleable que la cementita. Se presenta en forma laminar, reticular y globular. (Condori Sosa, 2014, pág. 21)



*Figura 5. Microfotografía de perlita.*

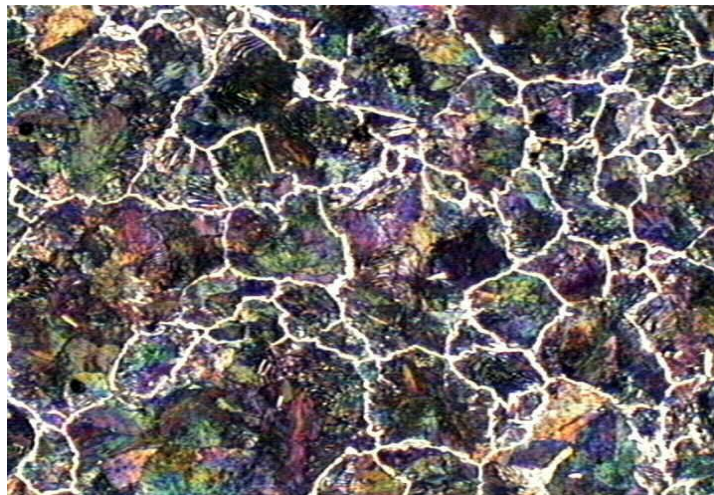
### **2.2.2.1.4. Sorbita.**

Se obtiene con un revenido después del temple. Al realizar el calentamiento la martensita experimenta una serie de transformaciones y en el intervalo

comprendido entre 400 y 650°C la antigua martensita ha perdido tanto carbono, que se ha convertido ya en ferrita. La estructura así obtenida se conoce como sorbita. (Condori Sosa, 2014, pág. 22)

#### **2.2.2.1.5. Cementita.**

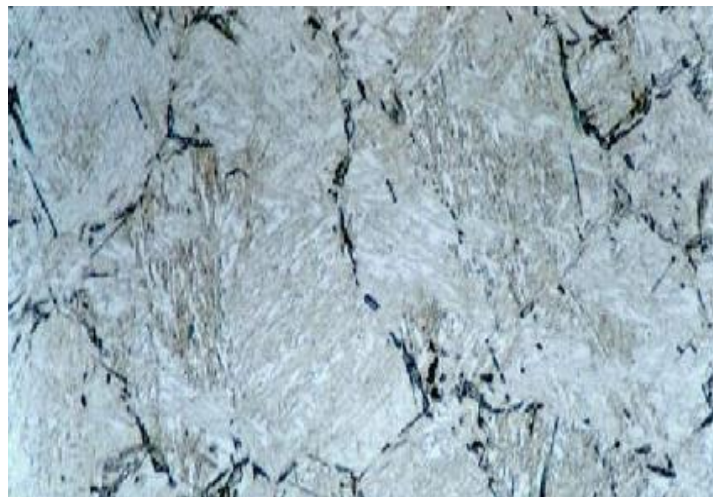
Es un constituyente que aparece en fundiciones y aceros. Es el carburo de hierro, de fórmula  $Fe_3C$ , que cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es muy frágil y duro, teniendo sobre 840 Vickers, y es muy resistente al rozamiento en las fundiciones atruchadas. A bajas temperaturas es ferromagnético y pierde esta propiedad a 212°C. Se piensa que funde por encima de 1950°C, y es termodinámicamente inestable a temperaturas inferiores a 1200°C. Se puede presentar en forma reticular, laminar y globular. (Condori Sosa, 2014, pág. 22)



*Figura 6. Microfotografía de cementita.*

#### **2.2.2.1.6. Bainita.**

Es el constituyente que se obtiene en la transformación isotérmica de la austenita cuando la temperatura del baño de enfriamiento es de 250 a 500°C. Se diferencian 2 tipos de estructuras: la Bainita superior de aspecto arborescente formada a 500-580°C, compuesta por una matriz ferrítica conteniendo carburos y la Bainita inferior, formada a 250-400°C tiene un aspecto similar a la martensita y está constituida por agujas alargadas de ferrita que contienen delgadas placas de carburos. La bainita tiene una dureza que va de 40 a 60 HRc. (Condori Sosa, 2014, pág. 22)



*Figura 7. Microfotografía de bainita.*

#### **2.2.2.1.7. Martensita.**

Es una solución sólida, intersticial, sobresaturada de carbono en hierro alfa. Es el constituyente estructural de temple de los aceros y su microestructura se

presenta en forma de agujas cruzadas. Los átomos de hierro están como en la ferrita, en los vértices. (Condori Sosa, 2014, pág. 22)

Los átomos de carbono están en las caras y en las aristas, presenta por tanto una red distorsionada. Esta distorsión de la red es la responsable de la dureza de la martensita. Presenta una red tetragonal. Sus características mecánicas son resistencia a la tracción entre 170-250 Kg/mm<sup>2</sup>, dureza HRC entre 50-60, alargamiento de 0,5 % y es magnética. (Condori Sosa, 2014, pág. 22)



*Figura 8.* Microfotografía de martensita.

### **2.2.3. Aceros para herramientas.**

Se denominan aceros de herramienta a los aceros que se utilizan en la fabricación de útiles destinados a conformar otros materiales mediante aplicación de presión (laminación, forja, extrusión, etc.), en frío o en caliente, o por arranque de viruta (placas de corte para torneear, fresar o taladrar, etc.). También se incluyen en este grupo los aceros destinados a la fabricación de moldes permanentes

empleados en el moldeo de aleaciones metálicas y de plásticos, así como en la ejecución de todo tipo de herramientas mecánicas (martillos, sierras, tenazas, etc.). (Belzunce Valera, 2001, pág. 131)

Teniendo en cuenta las condiciones normales de servicio de todos estos útiles, se les exigirá siempre una dureza muy elevada (siempre apreciablemente superior a la del material que están conformando) y, en ocasiones, cuando trabajan a alta temperatura, dureza en caliente. Por esta razón suelen ser aceros templados y revenidos de alto contenido en carbono, de media o alta aleación. (Belzunce Valera, 2001, pág. 131)

#### **2.2.3.1. Clasificación de los aceros para herramientas.**

Los aceros para herramientas se pueden separar en: aceros al carbono, aceros para impacto y aceros de alto carbono y alta aleación. Las principales características de estos aceros son su alta dureza y buena tenacidad conseguidas en los tratamientos térmicos estándares. (Lira Calmet, 2009, pág. 10)

El principal criterio de selección de un acero de herramienta es la relación que hay entre su resistencia al desgaste y su dureza. Los aceros para herramienta generalmente presentan una dureza entre 58 – 64 HRC, aunque algunos poseen durezas por encima de los 66 HRC. (Lira Calmet, 2009, pág. 10)

Tabla 2  
*Clasificación de los aceros para herramientas*

Clase	Símbolo	Tipos
Aceros herramientas de endurecimiento al agua	W	
Aceros herramienta resistente al impacto	S	
Aceros herramientas para trabajo en frio	O	Temple en aceite
	A	Templado al aire, aleación mediana
	D	Alto carbono, alto cromo
Aceros herramienta para trabajo en caliente	H	H10 – H19, base de cromo
		H20 – H39, base de tungsteno
		H40 – H59, base de molibdeno
Aceros herramientas de corte de alta velocidad	T	Base de tungsteno
	M	Base de molibdeno
Aceros herramienta para usos especiales	F	Carbono – Tungsteno
	L	Bajo contenido de aleación
	P	Aceros para moldes
		P1 – P19, bajo carbono
		P20 – P39, otros tipos

Lira, 2009 p.11.

La finalidad de agregar elementos de aleación a estos aceros, es la formación de carburos para que mejoren sus propiedades. El porcentaje de carbono y elementos aleantes está ligado a la dureza y resistencia que se quiere obtener. También son más fáciles de ser sometidos a tratamientos térmicos, pero pierden su maquinabilidad. La mayor diferencia que tienen estos aceros es su microestructura, formada por martensita revenida con un mayor o menor porcentaje de carburos de elementos de aleación. Los más utilizados son el Cr, Mo, W y V. (Lira Calmet, 2009, pág. 11)



En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de austenita retenida después del temple de algunos aceros de herramientas.

Tabla 3  
*Porcentaje de austenita retenida para distintos grados de aceros para herramientas*

Aceros para herramientas	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 D2	X155CrVMo 12-1	30%
Acero rápido al molibdeno	AISI M2	HSS 6-5-2	25-30%

Lira, 2009 p.11.

### **2.2.3.2. Características requeridas en los aceros para herramientas.**

- Las características principales requeridas se consiguen mediante tratamientos térmicos, tratamiento termo-químico y tratamiento subcero.
- La mayoría de aceros para herramientas utilizados son muy aleados y los tratamientos térmicos deben crear una distribución adecuada de carburos aleados en una matriz de martensita revenida.
- La microestructura obtenida después del temple y revenido, está formada principalmente por carburos eutécticos globulares o poligonal es sobre una matriz de martensita revenida y austenita retenida.

### **2.2.3.3. Propiedades de los aceros para herramientas.**

La relación entre tenacidad, resistencia al desgaste y dureza es el principal criterio de selección de un acero de herramienta de trabajo en frío, aunque otros aspectos pueden influir en su selección como el coste, la posibilidad de realizarle tratamientos superficiales, la maquinabilidad o la deformación sufrida en los tratamientos. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 11)

#### **2.2.3.3.1. Dureza.**

La dureza presentada por el acero dependerá del porcentaje en carbono, del porcentaje y tipo de carburos que lo constituyen y de la microestructura obtenida en el tratamiento térmico realizado. El hecho que esta propiedad sea muy barata de evaluar hace que se intente correlacionar todo con ella. Esto es posible con la resistencia a la compresión o el límite elástico, pero es una aberración para la tenacidad y la resistencia al desgaste. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 11)

Pero si aún así se desea correlacionar otras propiedades mecánicas es más apropiado la evaluación a partir de la micro y nanodureza más que la “macro”-dureza. Los aceros de trabajo en frío generalmente pueden desarrollar una dureza entre 58 - 64 HRc dependiendo del grado. La gran mayoría son usados a durezas entre 58 - 62 HRc aunque algunos grados poseen durezas por encima de 66 HRc. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 11)

### 2.2.3.3.2. Resistencia al desgaste.

De todos los tipos de desgaste mecánicos que puede sufrir una herramienta (abrasión, adhesión, fatiga superficial, plastificación localizada, fricción, erosión o cavitación), las resistencias al desgaste adhesivo y abrasivo son las más importantes para los aceros de herramienta de trabajo en frío, por ser estos dos mecanismos de desgaste, ya sea individualmente o por combinación entre ellos, la principal causa del fin de la vida útil en las aplicaciones a las que los aceros de herramienta de trabajo en frío están destinados. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 11)

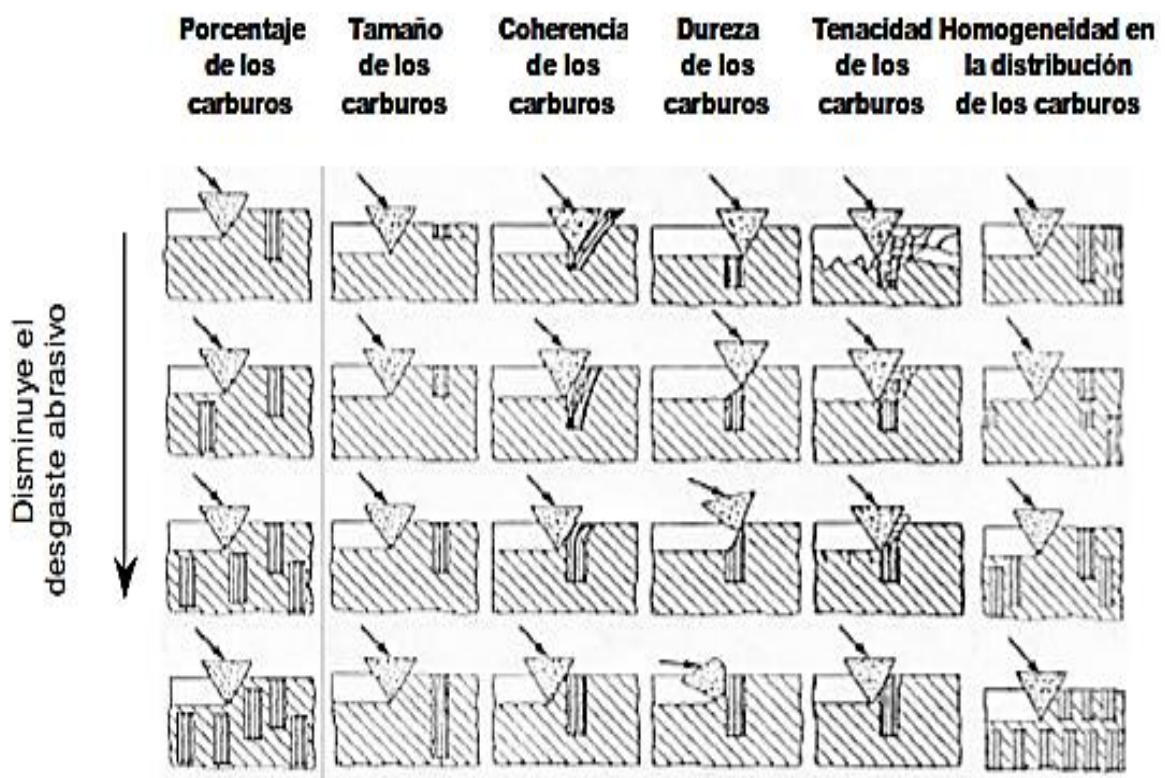


Figura 9. Influencia de distintos factores en la resistencia al desgaste abrasivo. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 12)

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas abrasivas como carburos, u otras inclusiones duras, bien sean del material a conformar, bien del acero de herramienta por desprendimiento previo o bien por partículas exteriores como polvo de la zona de trabajo, son forzadas contra las superficies en el proceso de conformado o corte produciendo surcos y arrancando parte del material de una o de las dos superficies. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 12)

El desgaste adhesivo ocurre cuando materiales de trabajo tales como aluminio, cobre, acero inoxidable y aceros al carbono son usados en los procesos de conformado. Su origen se basa en la formación localizada de microfusiones en puntos de contacto entre la herramienta y el material de trabajo, produciendo una mayor adhesión entre las dos superficies en contacto que las del propio material, lo que conduce a un daño de la superficie de la herramienta por un arranque progresivo del material. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 12)

#### **2.2.3.3.3. Tenacidad.**

Los aceros de herramienta de trabajo en frío se sitúan en la parte inferior de la escala de tenacidad si se comparan con otros materiales metálicos como muestra el gráfico de la figura 10. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 13)

La tenacidad presentada por los aceros de herramienta depende de diversos factores que son comentados brevemente a continuación: (Marco Rusiñol, 2004, pág. 14)

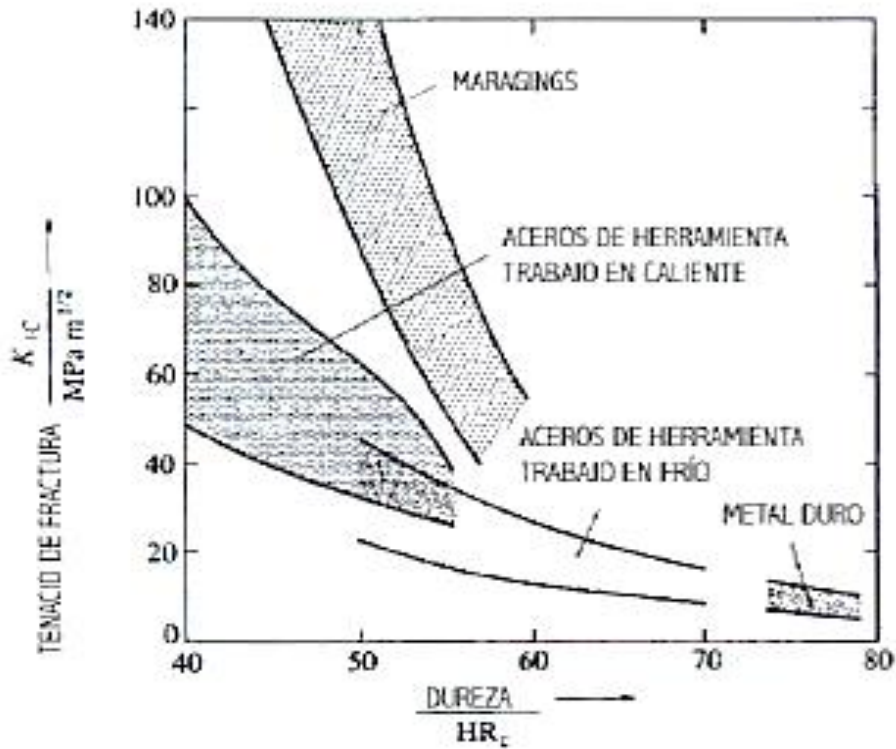


Figura 10. Gráfico Dureza -Tenacidad de Fractura para distintas familias de aceros de herramienta. (Marco Rusiñol, 2004, pág. 13)

- El porcentaje en carbono y el porcentaje y tipo de elementos de aleación. Así, para dos aceros obtenidos por el mismo procedimiento y con el mismo tipo de carburos y matriz, la tenacidad disminuye al aumentar el porcentaje de carburos.
- El tamaño y morfología de los carburos, determinado principalmente por el proceso de obtención. Así, un mismo acero obtenido por el proceso convencional, presentarán menores valores de tenacidad que si se obtiene por el proceso pulvimetalúrgico.

- El tratamiento térmico realizado. Así un mismo acero de herramienta proveniente de la misma colada y con el mismo coeficiente de reducción, presentará una tenacidad muy distinta dependiendo de la temperatura a la cual se austenice y a la que se realicen los sucesivos revenidos.
- El coeficiente de reducción necesario para poder destruir la estructura dendrítica y la distribución en forma de red de los carburos causada por el lento proceso de solidificación y obtener así, una tenacidad suficiente para la aplicación a la cual va destinado.
- La orientación examinada del material extraído de la barra o redondo de forja o laminación. Los aceros obtenidos por el proceso convencional presentan una marcada anisotropía, que se traduce en una disminución de la resiliencia transversal frente a la obtenida en el sentido longitudinal, debido a los severos coeficientes de reducción necesarios para obtener una tenacidad suficiente para la aplicación a la que van destinados. En cambio, los aceros obtenidos por el proceso pulvimetalúrgico, por su forma de obtenerlos, no necesitan de grandes coeficientes de reducción por lo que además de presentar mayor tenacidad, ésta es más isotrópica en todo el material.

#### **2.2.4. Tratamientos térmicos en aceros para herramientas.**

El tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forme la estructura deseada y luego enfriarlo a la velocidad conveniente. Los

factores temperatura – tiempo deben ser muy bien estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza. (Lira Calmet, 2009, pág. 20)

Es el proceso al que se somete a los aceros para poder mejorar sus propiedades mecánicas, en especial la dureza, la resistencia y la tenacidad. Lo que hacen es modificar la microestructura de los aceros sin variar su composición química. (Lira Calmet, 2009, pág. 20)

El objetivo del tratamiento térmico es darle a la pieza propiedades requeridas para procesos de transformación posteriores o para su aplicación final, además de controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de cementita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero. La diferencia de los aceros está en la composición química de la aleación que los forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. (Lira Calmet, 2009, pág. 21)

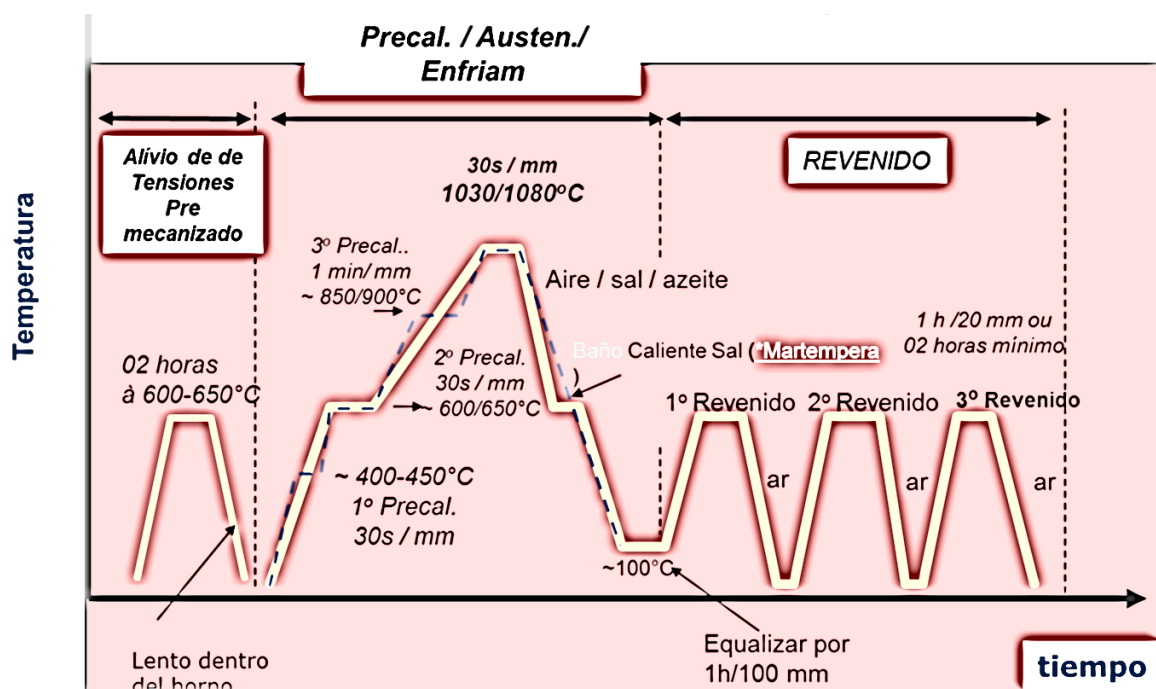


Figura 11. Esquema para tratamiento térmico de aceros para herramientas.

Los principales procesos por los que pasan los tratamientos térmicos en general son el temple y revenido.

#### **2.2.4.1. Temple.**

Su objetivo es aumentar la dureza y la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior  $A_{cm}$  ó  $A_3$  (entre 900 – 950°C), manteniéndolo ahí por un tiempo determinado para poder formar austenita. Luego el acero es enfriado, según las características de la pieza, en agua, aceite o aire a una velocidad tal que la dureza aumenta de manera considerable debido a la formación de martensita. (Lira Calmet, 2009, pág. 21)

Estos tratamientos de endurecimiento, que forman martensita, crean grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el revenido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El cambio de austenita a martensita se produce en la última fase del enfriamiento, y la transformación se ve acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido. Se han desarrollado tres procesos relativamente nuevos para evitar el agrietamiento. En el templado prolongado, el acero se retira del baño de enfriamiento cuando ha alcanzado la temperatura en la que empieza a formarse la martensita, y a continuación se enfría despacio en el aire. (Lira Calmet, 2009, pág. 21)



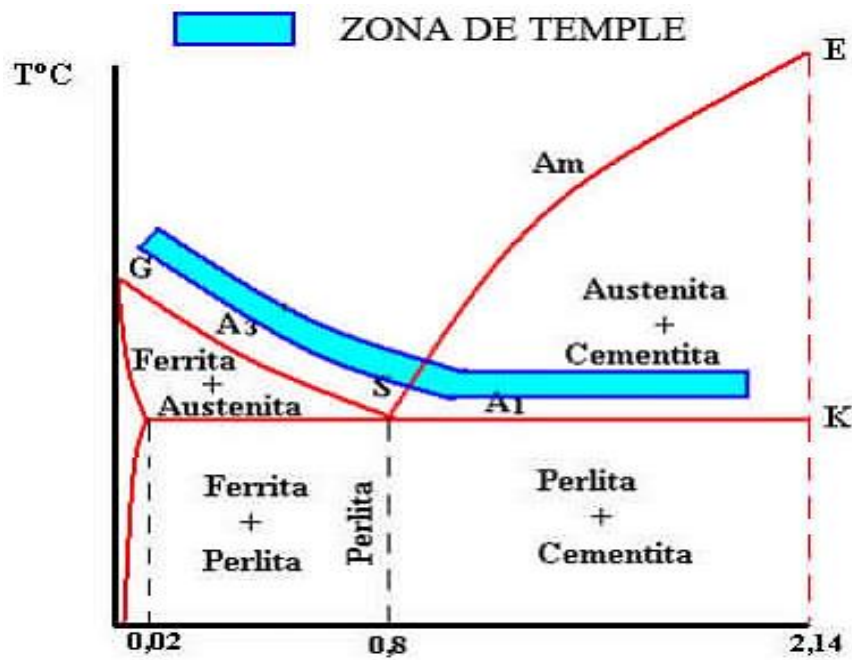


Figura 12. Zona de temperatura de temple de los aceros.

En el martempering, el acero se retira del baño en el mismo momento que el templeado prolongado y se coloca en un baño de temperatura constante hasta que alcanza una temperatura uniforme en toda su sección transversal. Después se deja enfriar el acero en aire a lo largo del rango de temperaturas de formación de la martensita, que en la mayoría de los aceros va desde unos 300°C hasta la temperatura ambiente. En el austempering, el acero se enfría en un baño de metal o sal que se mantiene a la temperatura en que se produce el cambio estructural deseado, y se conserva en ese baño hasta que el cambio es completo, antes de pasar al enfriado final. (Lira Calmet, 2009, pág. 21)

#### 2.2.4.2. Revenido.

Después del temple el acero queda muy frágil, lo cual imposibilita su manejo pues se rompe con el mínimo golpe. Para compensar esta fragilidad se recomienda

el revenido del acero. El revenido sólo se aplica a los aceros templados para reducir los efectos del temple, de manera que se conserve parte de la dureza y poder aumentar la tenacidad. Al disminuir la dureza y la resistencia de los aceros templados, lo que se consigue es y mejorar la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. (Lira Calmet, 2009, pág. 22)

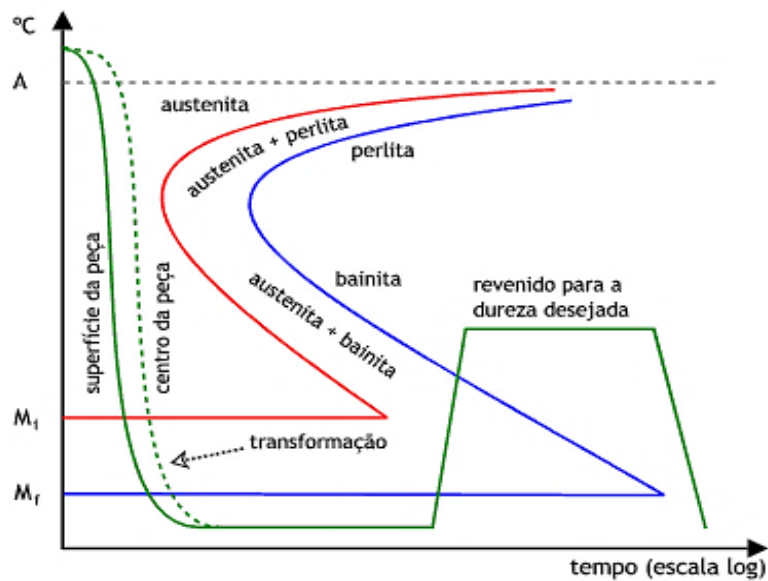


Figura 13. Diagrama de revenido de los aceros.

Se aplican dos rangos de revenido a los aceros de herramienta, revenido a bajas temperaturas y revenido a altas temperaturas, existiendo entre ellos una zona prohibida de revenido donde se presenta una fragilidad superior a los rangos ya mencionados (250 – 450°C). (Lira Calmet, 2009, pág. 22)

- **Revenido a temperaturas bajas:** (180 – 250°C) aplicable a todos los aceros de trabajo en frío, sólo produce un distensionado y una ligera transformación de la martensita tetragonal resultante del temple. (Lira Calmet, 2009, pág. 22)

- **Revenido a temperaturas altas:** (500 – 550°C) aplicable a todos los aceros de alta aleación que presentan dureza secundaria, se realiza un revenido si no existiese austenita retenida a la salida del temple, 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. (Lira Calmet, 2009, pág. 23)

A los procesos combinados de temple y revenido se les llama Bonificado. A medida que la temperatura crece, se observa lo siguiente: (Lira Calmet, 2009, pág. 23)

- Precipitación de carburos inestables y, en consecuencia, reducción de las tensiones de la red (transición de martensita tetragonal a martensita cúbica).
- Transformación de la austenita residual.
- Precipitación de carburos estables.
- Esferoidización de carburos estables.

En el caso de los aceros con un contenido de aleación más alto, la transformación de la austenita residual en martensita y la formación de carburos especiales a temperaturas de revenido de 500°C o mayores, puede igualmente conducir a un nuevo incremento en la dureza (temple secundario). En el caso de un único tratamiento térmico, la martensita producida por la austenita residual se encuentra presente en el estado no revenido lo cual significa que se requiere un

segundo e inclusive un tercer tratamiento de revenido (por ejemplo, para acero rápidos y aceros para trabajo en caliente). (Lira Calmet, 2009, pág. 23)

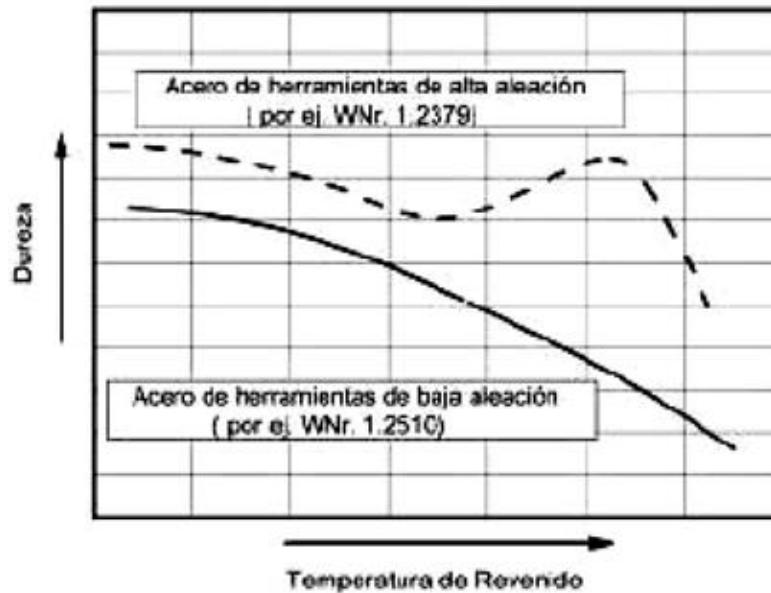


Figura 14. Comportamiento típico durante el revenido de los aceros de herramienta de alta y baja aleación.

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

Las definiciones conceptuales se han sido tomadas de las referencias bibliográficas (Argomedo Baca, 2016) (Belzunce Valera, 2001) (Lira Calmet, 2009) (Marco Rusiñol, 2004) (Vega Cruz & Ormeño Vásquez, 2014)

- **Acm.** En aceros hipereutectoides, límite de solubilidad de carbono en la austenita.
- **Ac1.** Temperatura a la cual comienza a formarse austenita durante el calentamiento (la c deriva del francés chauffant)

- **Ac3.** Temperatura a la cual se completa la transformación de ferrita en austenita durante el calentamiento.
- **Aecm, Ae1, Ae3.** Temperaturas de cambios de fase en equilibrio.
- **Arcm.** En aceros hipereutectoides, temperatura a la que comienza la precipitación de cementita durante el enfriamiento (la r deriva del francés refroidissant)
- **Ar1.** Temperatura a la cual se completa la transformación de austenita a ferrita o a ferrita más cementita durante el enfriamiento.
- **Ar3.** Temperatura a la cual la austenita comienza a transformar en ferrita durante el enfriamiento.
- **Ar4.** Temperatura a la cual la ferrita- $\delta$  se transforma a austenita durante el enfriamiento.
- **Buena maquinabilidad.** Se dice que el acero tiene buena maquinabilidad cuando puede ser sometido a procesos de arranque de viruta con facilidad.
- **Ductilidad.** Es la capacidad de un material de deformarse plásticamente sin fracturarse. Un material muy dúctil es fácilmente deformado en frío (embutido, doblado) y/o mecanizado. El material es blando.
- **Dureza.** La dureza de un material se define como la resistencia que ofrece el material a la deformación plástica, así, por ejemplo, si se tienen dos materiales y se intenta rayar uno contra el otro, será más duro el que no quede rayado (deformado plásticamente). Como no es una propiedad de los materiales, el valor de dureza obtenido en una prueba determinada, sirve solo como referencia.

- **Tenacidad.** La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material por fractura. Se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad.
- **Fragilidad.** La fragilidad de un material se refiere a su escasa capacidad de absorber energía por lo que se fractura apenas está sometido a mayores esfuerzos. El material posee una alta dureza. La fragilidad es contraria a la ductilidad.
- **Ms.** Temperatura a la cual comienza la transformación de austenita a martensita durante el enfriamiento.
- **Mf.** Temperatura a la cual finaliza la transformación de austenita a martensita durante el enfriamiento.
- **Resistencia al desgaste.** La dureza es la propiedad más importante que se requiere para resistir el desgaste abrasivo. Sin embargo, la resistencia al desgaste depende también de otros factores: el acabado superficial de la herramienta (con superficie más lisa se consigue un coeficiente de fricción más bajo), la composición química de la herramienta y de los materiales de trabajo entre otros.
- **Temperatura de transformación.** Es aquella a la que ocurren cambios de fase; algunas veces define los límites de un rango de transformación.

## **2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.**

### **2.4.1. Hipótesis general.**

La evaluación de los parámetros aplicados durante el tratamiento térmico nos determinara el incremento en las principales propiedades del acero AISI M42

### **2.4.2. Hipótesis específicas.**

- La evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos determinara los cambios producidos en la microestructura del acero AISI M42.
- La evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos determinara los efectos producido sobre la dureza y resistencia a la tracción del acero AISI M42.
- La evaluación de los parámetros de tratamiento térmico nos determinara la relación entre la microestructura y las propiedades mecánicas del acero AISI M42.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. DISEÑO METODOLOGICO**

La presente investigación se enfocó en el análisis Cualitativo, este método consiste en la evaluación de los resultados obtenidos durante el tratamiento térmico del Acero para Herramienta AISI M42 para determinar el mejoramiento del proceso en base a la corrección y modificación de parámetros aplicados durante el tratamiento. Durante la evaluación, se debe considerar los procedimientos normalizados, procedimiento de toma de muestras, así como el análisis de datos y de resultados. Se debe tomar en cuenta el material a procesar, arrojará datos distintos, dependiendo de los parámetros aplicados durante la etapa de estudio.

##### **3.1.1. Tipo de investigación.**

En el presente trabajo se utilizó la investigación exploratoria y descriptiva.

##### **3.1.1.1. Investigación Exploratoria.**

Se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto en su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagará cada una de las variables del análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.



### **3.1.1.2. Investigación Descriptiva.**

Permite predicciones rudimentarias de medición precisa que requiere de conocimientos suficiente para muchas investigaciones de este nivel tienen interés de acción social. Con la finalidad clasificar elementos y estructuras, modelos de comportamiento, según ciertos criterios. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

Las investigaciones descriptivas constituyen el punto de partida de las líneas de investigación, su objetivo es determinar la situación de las variables involucradas en el estudio en un momento dado con relación a su presencia o ausencia, la frecuencia con que se presenta un fenómeno (incidencia o prevalencia), características de las personas, lugar y periodo donde ocurre. El nivel de investigación descrito con anterioridad fue el que se utilizó para el desarrollo, estudio, análisis e investigación del problema planteado ya que este vinculó a todos los actores objetos de estudio. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

## **3.2. POBLACION Y MUESTRA.**

### **3.2.1. Población.**

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida los aceros para herramientas en trabajo en frío, con el objeto de obtener datos acerca del tipo de acero que se va a tratar.

### 3.2.2. Muestra.

La muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con una regla o plan, debe ser representativa, y además ofrecer la ventaja de ser la más práctica, la más económica y la más eficiente en su aplicación. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010). La muestra de nuestra investigación se basa en el Acero para Herramienta AISI M42 destinado para el trabajo en frío en la empresa Boehler.

### 3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Evaluación de los Parámetros aplicados durante el Tratamiento Térmico del Acero AISI M42 En La Empresa BOEHLER Del Perú S.A. - 2018

Tabla 4  
*Variables e Indicadores*

<b>Variable Independiente</b>	<b>Indicador</b>
Acero AISI M42	<ul style="list-style-type: none"><li>- Composición química del acero AISI M42.</li><li>- Microestructura del acero AISI M42.</li><li>- Temperatura de austenización.</li></ul>
<b>Variable Dependiente</b>	<b>Indicador</b>
Evaluación de los parámetros aplicados durante el tratamiento térmico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperatura de temple.</li><li>- Tiempo de austenización.</li><li>- Velocidad de enfriamiento.</li><li>- Sistemas de enfriamiento.</li><li>- Atmosfera de tratamiento térmico.</li><li>- Propiedades mecánicas.</li></ul>

### **3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.**

De acuerdo con el número de muestras tomas y de los datos obtenidos se elaborará un informe el mismo que debe de cumplir con los parámetros de ensayo mecánicos realizados. La recolección de la información se realizará mediante formatos que se adjuntaran a los informes emitidos para su posterior análisis.

#### **3.4.1. Técnicas a emplear.**

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación y recolección de datos se realiza a los minerales tratados, para poder determinar los parámetros a usar en posteriores en el proceso de tratamiento térmicos.

#### **3.4.2. Descripción de los instrumentos.**

- Consulta a expertos.
- Revisión de archivos y documentos.
- Revisión de literatura.
- Trabajo de campo.
- Internet.
- Captación de información directa de la fuente
- Informes técnicos.
- Normas.
- Escalas libreta de notas.

- Filmadora.
- Cámara fotográfica y grabadora.

### **3.5. TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.**

De acuerdo con los datos observados y de los resultados que se obtendrán en las pruebas y ensayos de laboratorio, su procesamiento se ejecutará:

- De acuerdo con la técnica de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo con la norma correspondiente.
- De acuerdo con el propósito específico, estas serán recolectadas y analizadas según el requerimiento previsto.
- Se verificará la correcta disposición de los puntos de toma de muestra y los instrumentos y aparatos requeridos.
- Se llevará por escrito, un control de las observaciones, en el formato referido para prueba realizada, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos.
- De acuerdo a los informes, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos bajo su respectiva normalización.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.

##### 4.1.1. Acero AISI M42.

El acero AISI M42 materia de estudio en esta investigación equivalente en la norma ASTM A681 (Anexo 01), tiene como aplicación industrial la fabricación de herramientas de corte fuertes con resistencia al desgaste, resistente al impacto, troquel de punzonado avanzado, troquel de tornillo, la tenacidad y la forma complicada del punzón, etc., rasqueta, cuchilla dentada, cuchillas de hierro, brocas, etc.; presenta las siguientes características:

Tabla 5  
*Normas equivalentes al acero AISI M42*

USA	Alemania	Japón	China	ISO
ASTM A681	DIN 17350	JIS G4403	GB/T 1299	ISO 4957
M42	1.3247	SKh59	W2Mo9Cr4VCo8	HS 2-9-1-8

Tabla 6  
*Composición química del acero para herramienta M42*

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Co
1.05	0.15	0.15	0.030	0.030	3.50	9.00	0.95	1.15	7.75
1.15	0.65	0.40	máx.	máx.	4.25	10.00	1.35	1.85	8.75

Tabla 7  
*Efecto de la temperatura de revenido sobre la dureza*

<b>Temperatura de Revenido °C</b>	<b>Dureza en Rockwell C</b>
En estado endurecido	64 / 66
149	63 / 65
260	62 / 64
371	62 / 64
482	66 / 68
510	68 / 70
538	67 / 69
566	66 / 68
593	65 / 67

Para la evaluación de los parámetros en estudio se prepararon seis probetas del acero AISI M42



*Figura 15.* Preparación de probetas para tratamiento térmico.

#### 4.1.2. Parámetros de tratamiento térmico.

Los parámetros que se aplican durante los tratamientos se determinan en tres etapas:

- Tiempo de calentamiento.
- Tiempo de permanencia.
- Tiempo de enfriamiento.

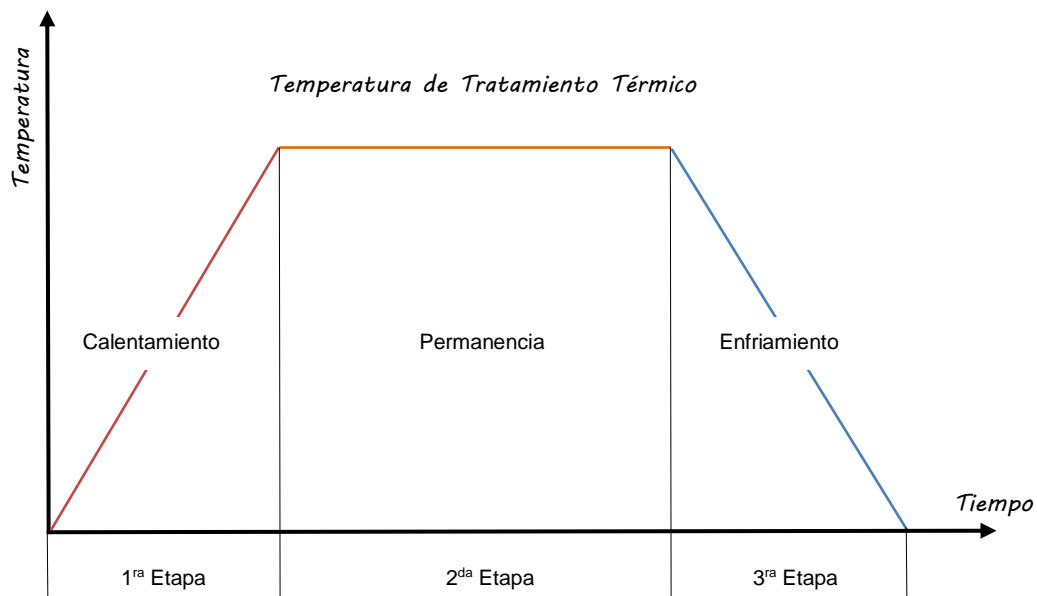


Figura 16. Etapas del tratamiento térmico.

##### 4.1.2.1. Condiciones del tratamiento térmico.

Durante el trabajo se realizó las pruebas de tratamiento térmico en un horno eléctrico, las características del horno se detallan en la tabla 8.

Tabla 8  
*Características técnicas del horno de tratamiento térmico*

---

Temperatura Máxima	:	1200 °C
Potencia Térmica	:	5 KW
Voltaje	:	220 - 380 V
Frecuencia	:	60 Hz
Controlador	:	Multi rampa
Sensor	:	Tipo K
Resistencia eléctrica	:	Kantal A1

---



*Figura 17. Horno de tratamiento térmico.*



*Figura 18. Microestructura del acero AISI M42 (Bonificado)*



Los efectos producidos por la temperatura en los aceros se determinan mediante caracterización metalográfica, observando los cambios que se producen en la microestructura del material.

Los ensayos de dureza y tensión realizadas al acero AISI M42 se aplican para determinar sus propiedades mecánicas adquiridas luego del tratamiento térmico.

#### 4.1.2.1.1. Templado del acero AISI M42.

Tabla 9  
*Parámetros de Templado – Medio de enfriamiento*

Muestras	Temperatura °C	Velocidad de Calentamiento	Tiempo de Permanencia	Medio de Enfriamiento
M1	750	28.2 °C/min	45 min.	Agua
M2	750	28.2 °C/min	45 min.	Aceite
M3	750	28.2 °C/min	45 min.	Agua
M4	750	28.2 °C/min	45 min.	Aceite
M5	750	28.2 °C/min	45 min.	Agua
M6	750	28.2 °C/min	45 min.	Aceite

Tabla 10  
*Resultado de dureza del acero AISI templado - Medio de enfriamiento*

Muestra	Datos Obtenidos - Identaciones HRC						Promedio HRC
	1	2	3	4	5	6	
M1	66.1	68.5	68.4	68.0	69.7	68.9	68.3
M2	65.4	67.0	67.3	69.8	70.1	68.5	68.0
M3	68.2	67.2	66.9	66.1	68.8	71.2	68.1
M4	63.5	64.5	64.8	66.4	66.5	67.9	65.6
M5	67.5	66.9	69.4	69.5	68.4	69.7	68.6
M6	65.7	64.5	65.3	65.7	66.0	65.7	65.5

Tabla 11  
*Parámetros de Templado – Tiempo de permanencia*

<b>Muestras</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Velocidad de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Permanencia</b>	<b>Medio de Enfriamiento</b>
M1	750	28.2 °C/min	60 min.	Agua
M2	750	28.2 °C/min	60 min.	Aceite
M3	750	28.2 °C/min	60 min.	Agua
M4	750	28.2 °C/min	60 min.	Aceite
M5	750	28.2 °C/min	60 min.	Agua
M6	750	28.2 °C/min	60 min.	Aceite

Tabla 12  
*Resultado de dureza del acero AISI templado - Tiempo de permanencia*

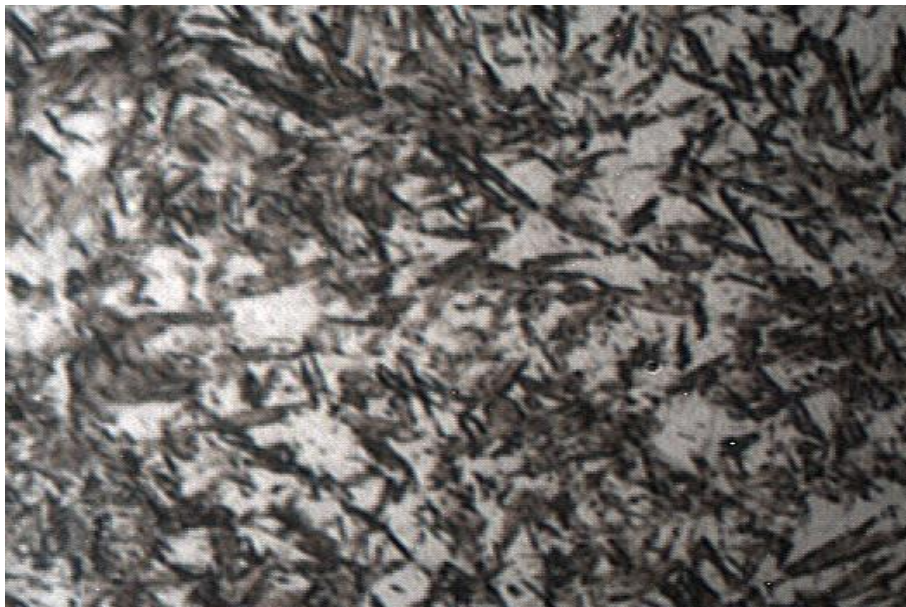
<b>Muestra</b>	<b>Datos Obtenidos - Identaciones HRC</b>						<b>Promedio HRC</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
M1	66.8	67.0	68.0	69.5	70.8	69.5	68.6
M2	65.0	66.8	67.4	70.1	69.4	68.9	67.9
M3	69.0	66.7	67.3	66.8	67.9	69.9	67.9
M4	64.0	65.1	63.6	65.2	66.1	67.2	65.2
M5	66.5	66.0	68.2	70.2	69.0	67.9	68.0
M6	66.0	65.2	64.8	67.3	67.2	66.1	66.1

Durante el proceso de templado del acero AISI M42, se tomaron como parámetros de tratamiento térmico el medio de enfriamiento y el tiempo de permanencia, tanto para el primer caso como el segundo caso se determinaron específicamente los medios de enfriamiento para cada probeta siendo estas agua y aceite respectivamente. Se modificó el tiempo de permanencia aumentándolo a 45 minutos con el propósito de determinar el efecto que este puede producir sobre el templado del acero.

Tabla 13  
*Resultado de ensayos de tensión del acero AISI templado*

<b>Muestra</b>	<b>Carga de Rotura (Kg)</b>	<b>Límite de Cedencia (Kg)</b>	<b>% de Elongación</b>
M1	2130	1200	7.3
M2	4070	2800	4.9
M3	3890	900	3.9
M4	3980	3000	4.9
M5	3700	1000	3.4
M6	3890	1300	3.8

Se realizaron examen metalográfico a las probetas templadas, con la finalidad de determinar la microestructura presente en el material tratado térmicamente y poder evaluar sus propiedades mecánicas.



*Figura 19. Microestructura del acero AISI M42 templado.*

#### 4.1.2.1.2. Revenido del acero AISI M42.

Tabla 14  
*Parámetros de revenido – Temperatura de revenido*

Muestras	Temperatura °C	Velocidad de Calentamiento	Tiempo de Permanencia
M1	650	25.0 °C/min	60 min.
M2	650	25.0 °C/min	60 min.
M3	450	25.0 °C/min	60 min.
M4	450	25.0 °C/min	60 min.
M5	250	25.0 °C/min	60 min.
M6	250	25.0 °C/min	60 min.

Tabla 15  
*Resultado de dureza del acero AISI revenido - Temperatura de revenido*

Muestra	Datos Obtenidos - Identaciones HRC						Promedio HRC
	1	2	3	4	5	6	
M1	58.5	59.7	60.4	61.1	59.8	60.1	60.0
M2	58.9	57.5	59.0	60.1	58.3	59.9	59.0
M3	61.5	61.3	62.2	62.4	63.0	61.9	62.1
M4	61.0	60.9	60.4	59.4	59.9	60.1	60.3
M5	65.5	65.9	66.1	64.2	66.7	67.0	65.9
M6	63.3	62.5	63.9	63.8	61.7	62.5	63.0

En referencia a los datos obtenidos de los resultados de dureza, se determinó que la temperatura óptima de revenido es 450 °C.

Tabla 16  
*Parámetros de revenido – Tiempo de revenido*

<b>Muestras</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Velocidad de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Permanencia</b>
M1	450	25.0 °C/min	240 min.
M2	450	25.0 °C/min	240 min.
M3	450	25.0 °C/min	180 min.
M4	450	25.0 °C/min	180 min.
M5	450	25.0 °C/min	120 min.
M6	450	25.0 °C/min	120 min.

Tabla 17  
*Resultado de dureza del acero AISI revenido - Tiempo de revenido*

<b>Muestra</b>	<b>Datos Obtenidos - Identaciones HRC</b>						<b>Promedio HRC</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
M1	56.8	57.5	58.3	56.0	55.9	58.7	57.2
M2	55.2	56.7	57.1	56.4	55.1	56.9	56.2
M3	60.4	60.0	59.4	59.1	60.8	61.0	60.1
M4	60.5	59.1	57.8	57.9	59.2	59.7	59.0
M5	61.2	63.1	60.4	60.0	62.1	60.8	61.3
M6	60.1	59.3	61.2	58.9	59.5	60.2	59.9

Tabla 18  
*Resultado de ensayos de tensión del acero AISI revenido*

<b>Muestra</b>	<b>Carga de Rotura (Kg)</b>	<b>Límite de Cedencia (Kg)</b>	<b>% de Elongación</b>
M1	2650	1300	8.2
M2	4250	2900	5.1
M3	4000	1100	4.3
M4	4070	3100	5.2
M5	3890	1200	4.1
M6	3954	1400	4.4

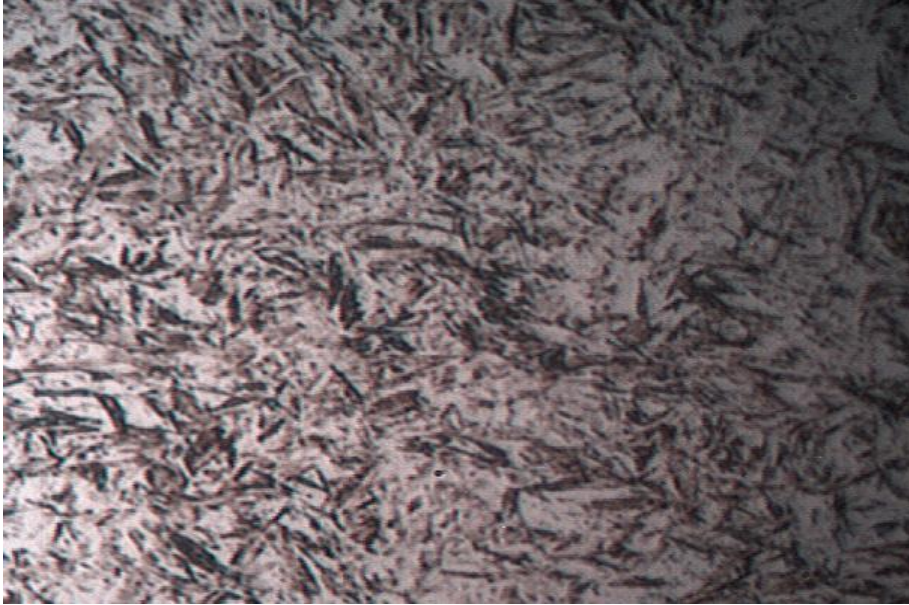
De la misma manera que las probetas templadas, se realizó ensayo metalográfico a las probetas revenidas en ella se puede observar la presencia de martensita, austenita retenida y carburos de cromo.



*Figura 20.* Microestructura del acero AISI M42 revenido a 250 °C.



*Figura 21.* Microestructura del acero AISI M42 revenido a 450 °C.



*Figura 22.* Microestructura del acero AISI M42 revenido a 650 °C.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. DISCUSIÓN.

En la Figura 18 se muestra la microestructura del acero AISI M42 en estado de bonificado, en esta se puede observar la presencia de carburos y esto depende del contenido de carbono y elementos aleantes que ayudan a la formación de carburos como es el Cr, Mo, V y W. la formación de los carburos y su estabilidad va a depender de la temperatura aplicada durante el tratamiento térmico; los carburos que se forman con alto contenido de cromo, tienen la característica de tener una alta solubilidad en el hierro y una baja resistencia mecánica en comparación a los que se forman en base a Mo y W, que presentan una mejor propiedad mecánica.

Los valores de dureza obtenidas de las probetas templadas muestran un aumento, en las que se enfriaron con agua a diferencia de las enfriadas en aceite, esto debido a la severidad de enfriamiento que presenta el agua propiciando así la transformación de mayor cantidad de martensita en la estructura del acero.

Luego de la etapa de templado del acero se puede observar de los datos obtenidos y mostrados en las tablas correspondiente que el promedio de dureza que presenta el acero en referencia al medio de enfriamiento no varía significativamente en relación al promedio de dureza de cada probeta cuando se le



aumenta el tiempo de permanencia en el horno a temperatura de austenización (temperatura de temple). La comprobación del promedio de dureza obtenido se muestra en la figura 23.

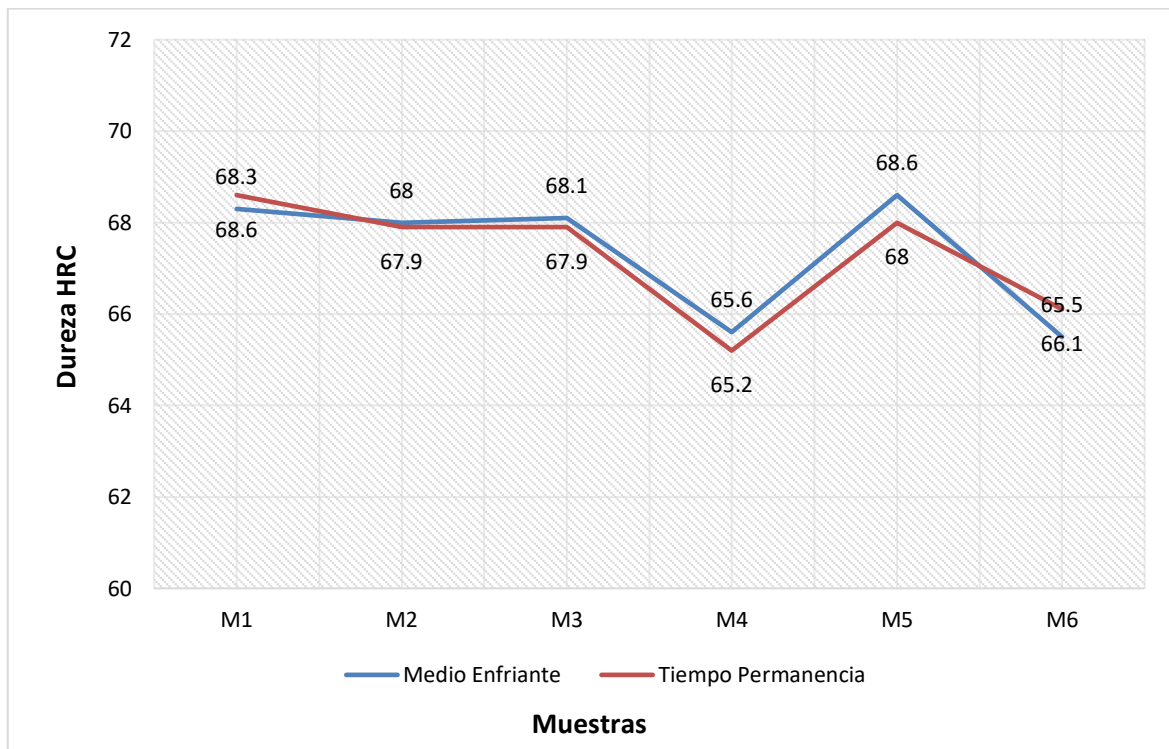


Figura 23. Comparación de dureza del acero AISI M42 templado.

Referente al acero revenido y evaluando la temperatura de revenido, se realizaron en base a tres temperaturas distintas 250°C, 450°C y 650°C, de los cuales se obtuvieron valores de dureza, presentándose una menor dureza cuando las temperaturas de revenidos son mayores, este patrón de disminución de dureza se puede observar para las probetas enfriadas en los dos medios (agua y aceite) como se muestra en la Tabla 15.

Cuando el parámetro de control es el tiempo de permanencia en el tratamiento térmico de revenido, se puede observar que, a mayor tiempo de permanencia, la

dureza del acero disminuye, para tal caso se tomo como temperatura promedio 450 °C. Las probetas también presentan el mismo patrón de disminución de su dureza muy indistinto a su medio de enfriamiento.

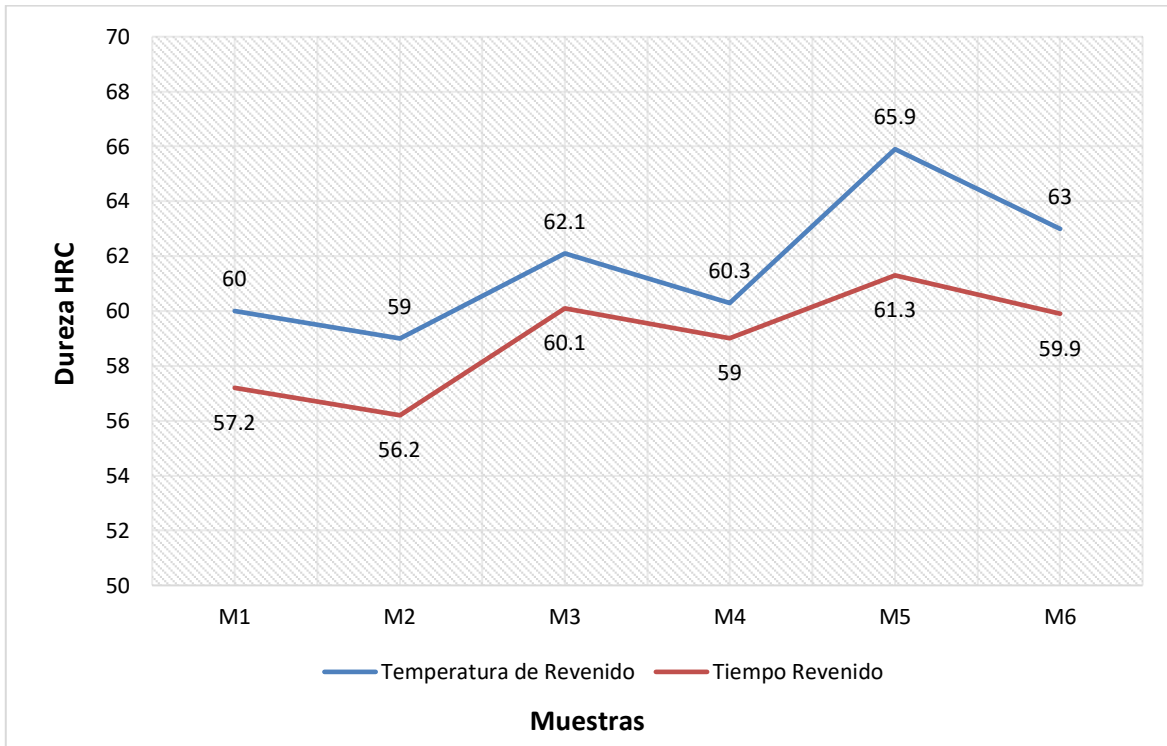


Figura 24. Comparación de dureza del acero AISI M42 revenido.

En la figura 20, se puede observar la disminución de la dureza cuando la temperatura de revenido aumenta y el tiempo de revenido es mayor, esto debido a la presencia de martensita revenida.

En el siguiente grafico se puede observar que las probetas revenidas soportan mayor carga a la rotura y por ende soportan mayor al esfuerzo a la tracción, en comparación con las probetas que fueron templadas. Para el caso del acero AISI M42 y su aplicación en herramientas es conveniente que esta pueda soportar cierta

cantidad de esfuerzo a la tracción, en relación el acero debe ser revenido luego del proceso de templado para una mejor propiedad mecánica.

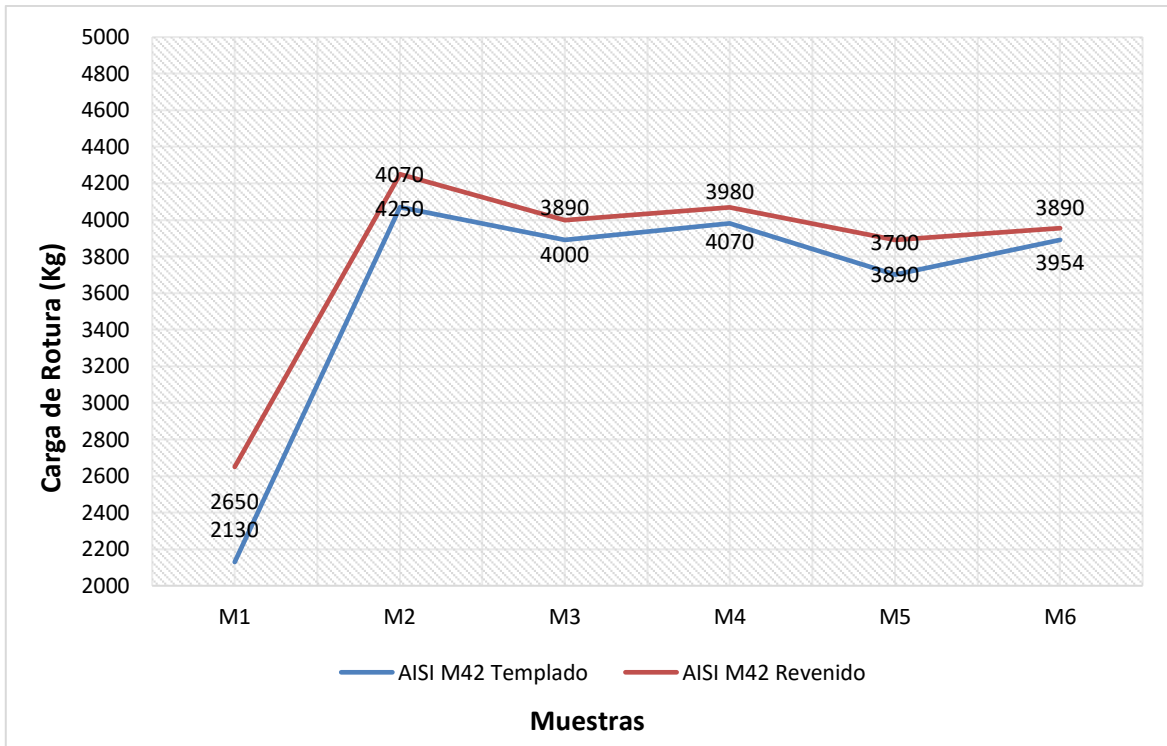


Figura 25. Comparación de los resultados de ensayo de tracción.

En las figuras 19 se muestra la microestructura del acero AISI M42 templado, donde se observa la presencia de martensita (color oscuro), formado por la severidad de enfriamiento al que es expuesto, también se puede observar la presencia de austenita retenida (color claro), así como trazas de carburos presentes en la matriz; mostrando así el cambio sufrido por el material luego del proceso de templado y el aumento de la dureza del mismo.

En las figuras 20, 21 y 22 pertenecen a las microestructuras del acero AISI M42 revenido, en las misma se puede observar también la presencia de martensita

al igual que en el acero templado, con la diferencia que esta va disminuyendo en relación a la temperatura de revenido, a mayor temperatura de revenido la presencia de martensita disminuye, esto se debe a la difusión que en la matriz del acero ocurre; estos efectos están relacionados con la disminución de la dureza del material obtenido durante el templado, al mismo tiempo la mayor carga de rotura soportada en los ensayos de tracción.

## **5.2. CONCLUSIONES.**

- La velocidad de calentamiento de las piezas en el horno es punto importante en los tratamientos térmicos, teniendo como finalidad la disminución de formación de grietas internas producidas por las tensiones generadas por el choque térmico del material.
- Las propiedades mecánicas que presenta el material luego de los tratamientos térmicos aplicado, dependen de los parámetros tiempo y temperatura, el cual va a determinar las propiedades mecánicas requeridas para el trabajo que se va aplicar al acero en estudio.
- Reflejado en los resultados de dureza obtenidos durante el templado del acero se observa un incremento de la misma en las probetas enfriadas por agua, esto debido a la severidad de enfriamiento que presenta; por otro lado, al aumentar la temperatura y prolongar el tiempo de revenido, este reduce la dureza obtenida durante el temple, obteniendo así las propiedades necesarias

que debe tener el acero AISI M42 para el trabajo que se le va a aplicar (resistencia al impacto).

- Los ensayos de tracción realizadas a las probetas, nos determinan una mejor visión del cambio de las propiedades mecánicas del material que se presentan luego de los distintos tratamientos térmicos que se le realiza.
- Para obtener los parámetros más idóneos durante la aplicación de tratamiento térmico del acero, esto va a depender de las propiedades mecánicas que se requieran.

### **5.3. RECOMENDACIONES.**

- El estudio complementario del acero AISI M42 aplicando tratamientos térmicos más sofisticado podrían determinarnos una mejor perspectiva de las mejoras en los parámetros.
- Realizar Ensayos No destructivos volumétricos a las piezas tratadas con la finalidad de evidenciar si existe grietas internas producidas por el choque térmico que es sometido el material.
- Verificar estado y calibración de los equipos empleados durante el proceso de tratamiento térmico y ensayos mecánicos.

- Optimizar el proceso de tratamiento térmico con la finalidad de obtener resultados más certeros.
- Cada ensayo y examen mecánico que se realicen a las probetas debes de estar gobernadas por normas o estándares correspondiente al trabajo realizado, como por ejemplo las normas ASTM.
- Capacitación de manejo y aplicación de los equipos e instrumentos usados en el proceso de tratamiento térmico convencionales.

## CAPÍTULO VI

### FUENTES DE INFORMACION

#### 6.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

American Society of Testing Materials. (2008). *Standard Specification for Tool Steels Alloy*. Norma, ASTM International, New York, USA. Recuperado el Setiembre de 2018, de [www.astm.org](http://www.astm.org)

Argomedo Baca, E. (2016). *Influencia del Tiempo y Temperatura de Revenido en la Dureza y Resistencia al Desgaste Abrasivo del Acero para Herramientas al Choque AISI S1*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Belzunce Valera, F. J. (2001). *Aceros y Fundiciones: Estructuras, Transformaciones, Tratamientos Termicos y Aplicaciones*.

Condori Sosa, J. D. (2014). *Evaluacion del Tratamiento Termico de Cementación y Desgaste en un Acero Inoxidable*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustin, Arequipa, Perú.

Herrera, L., Medina, A., & Naranjo, G. (2010). *Tutoria de la Investigación Científica*. Ambato, Ecuador: Graficas Corona Quito.

- Lira Calmet, G. (2009). *Aplicacion de la Criogenia en el Tratamiento Térmico de Aceros para Trabajo en Frío: K100 (AISI D3)*. Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Marco Rusiñol, D. (2004). *Efecto del Tratamiento Criogénico en las Propiedades Mecánicas de los Aceros de Herramienta de Trabajo en Frío*. Tesis Pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Barcelona, España.
- Medina Fadel, A. M. (2014). *Evaluación de las Variables en el Tratamiento de Aceros para Herramientas*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Moralesa, J., & Sidorovas, L. (2014). : Influencia de un tratamiento criogénico en las propiedades mecánicas de un acero para herramientas AISI T-2000. *Revista Ingeniería UC*, 21(3), 24-32.
- Patiño, H., & Rosero, B. (2016). Tratamiento Térmico de Temple, Influencia del Medio de Enfriamiento. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 52-58.
- Vega Cruz, H. E., & Ormeño Vásquez, J. P. (2014). *Evaluación y Optimización de los Parámetros de Operación del Tratamiento Térmico de Bonificado de un Acero de Medio Carbono C 45E-EN 10083*. Tesis pregrado, Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú.



# ANEXOS

# Anexo 01

## Norma ASTM A 681 - 08



Designation: A681 – 08

### Standard Specification for Tool Steels Alloy<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A681; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This specification covers the chemical, mechanical, and physical requirements for available wrought alloy tool steel products.

1.2 These products, which include hot or cold finished bar, plate, sheet, strip, rod, wire, or forgings, are normally fabricated into tools, dies, or fixtures. The selection of a material for a particular application will depend upon design, service conditions, and desired properties.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

A561 Practice for Macroetch Testing of Tool Steel Bars

A600 Specification for Tool Steel High Speed

A700 Practices for Packaging, Marking, and Loading Methods for Steel Products for Shipment

E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens

E30 Test Methods for Chemical Analysis of Steel, Cast Iron, Open-Hearth Iron, and Wrought Iron<sup>3</sup>

E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel

E59 Practice for Sampling Steel and Iron for Determination of Chemical Composition<sup>3</sup>

E527 Practice for Numbering Metals and Alloys in the Unified Numbering System (UNS)

##### 2.2 Military Standard:

MIL-STD-163 Steel Mill Products, Preparation for Shipment and Storage<sup>4</sup>

##### 2.3 Federal Standards:

Fed. Std. No. 123 Marking and Shipment (Civil Agencies)<sup>4</sup>

Fed. Std. No. 183 Continuous Identification Marking of Iron and Steel Products<sup>4</sup>

##### 2.4 Other Standards:

SAE J1086 Recommended Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS)<sup>5</sup>

#### 3. Classification

3.1 Material in accordance with this specification is classified by chemical composition. Types correspond to respective AISI designations.

##### 3.1.1 Hot Work Tool Steels, Identification H:

3.1.1.1 Types H10 to H19 are characterized by a controlled chromium content along with other alloying elements. The first four, containing molybdenum, offer excellent toughness and high hardenability and are frequently used in cold work applications requiring toughness at relatively high hardness levels.

3.1.1.2 Types H21 to H26 are characterized by a controlled tungsten content along with other alloying elements. These steels offer greater resistance to the softening effect of elevated service temperatures but exhibit a lower degree of toughness.

3.1.1.3 Types H41 to H43 are low-carbon modifications of molybdenum high speed tool steels (Note 1) and have characteristics similar to the tungsten types.

NOTE 1—High-speed tool steels are covered in Specification A600.

3.1.2 Cold Work Tool Steels, Identification A—Types A2 to A10 cover a wide range of carbon and alloy contents but all have high hardenability and may be hardened in air. The low carbon Types A8 and A9 have less wear resistance but offer greater toughness than others in this group. Type A7, with high carbon and vanadium, offers exceptional wear resistance but at a very low level of toughness.

3.1.3 Cold Work Tool Steels, Identification D—Types D2 to D7 are characterized by high carbon and high chromium

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.29 on Tool Steels.

Current edition approved Oct. 1, 2008. Published October 2008. Originally approved in 1973. Last previous edition approved in 2007 as A681–07<sup>1</sup>. DOI: 10.1520/A0681-08.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Withdrawn. The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

<sup>4</sup> Available from the Standardization Documents, Order Desk, Bldg. 4, Section D700 Robbins Ave. Philadelphia, PA 19111-5094 Attn: NPODS.

<sup>5</sup> Available from the Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth drive, Warrendale, PA 15096.

contents and exhibit high resistance to abrasion. The types containing molybdenum may be hardened in air and offer a high degree of dimensional stability in heat treatment.

3.1.4 *Cold Work Tool Steels, Identification O*—Types O1 to O7 are low-alloy types that must be hardened by quenching in oil. Sizes over about 2 in. (50 mm) in cross section usually exhibit lower interior hardness.

3.1.5 *Shock-Resisting Steels, Identification S*—Types S1 to S7 vary in alloy content but are intended for shock-resisting applications.

3.1.6 *Special-Purpose Tool Steels, Identification L*—Types L2 to L6 are low-alloy steels with a wide range of carbon content. The low-carbon types are generally used for structural applications requiring good levels of toughness, while the high-carbon types may be used for short-run tools.

3.1.7 *Special-Purpose Tool Steels, Identification F*—Types F1 to F2 are high-carbon steels with varying tungsten content used primarily for relatively short-run fine edge cutting tools.

3.1.8 *Mold Steels, Identification P*:

3.1.8.1 Types P2 to P6 are very low-carbon steels and must be carburized after machining or hubbing.

3.1.8.2 Types P20 and P21 are usually supplied in the prehardened condition and can be placed in service directly after machining.

#### 4. Ordering Information

4.1 Orders for material under this specification shall include the following information, as required to describe adequately the desired material:

- 4.1.1 Class of material (hot work tool steel, etc.),
- 4.1.2 Type (H11, D2, etc.),
- 4.1.3 Shape (sheet, strip, plate, flat bar, round bar, square bar, hexagon bar, octagon, special shapes),
- 4.1.4 Dimensions (thickness, width, diameter, length),
- 4.1.5 Finish (hot rolled, forged, blasted or pickled, cold drawn, machined, ground, precision ground and polished),
- 4.1.6 Condition (annealed, hardened and tempered, etc.),
- 4.1.7 ASTM designation and year of issue, and
- 4.1.8 Special requirements.

#### 5. Materials and Manufacture

5.1 Unless otherwise specified, material covered by this specification shall be made by an electric melting process. It shall be made from ingots or slabs that have been reduced in cross section in such a manner and to such a degree as to ensure proper refinement of the solidification structure.

#### 6. Chemical Composition

6.1 An analysis of each heat of steel shall be made by the manufacturer to determine the percentage of the elements specified, and these values shall conform to the requirements for chemical composition specified in Table 1. If requested or required, the chemical composition shall be reported to the purchaser or his representative.

6.2 Analysis may be made by the purchaser from finished bars and forgings by machining off the entire cross section and drilling parallel to the axis of the bar or forging at any point midway between the center and surface in accordance with the

latest issue of Practice E59. The chemical analysis of the drilling chips shall be made in accordance with the latest issue of Test Methods E30. The chemical composition thus determined shall not vary from the limits specified in Table 1.

#### 7. Hardness Requirements

7.1 Annealed hardness values shall be obtained in accordance with the latest issue of Test Methods and Definitions A370, and shall not exceed the Brinell hardness values (or equivalent Rockwell hardness values) specified in Table 2.

7.2 Specimens for determination of minimum response to hardening shall be ¼-in. (6.4-mm) thick disks cut so as to represent either the full cross-sectional area or that midway between the center and outer surface of the material. If the material form or size does not lend itself to accurate hardness determination on ¼-in. thick cross-sectional disks, then longitudinal specimens may be used for hardness testing. Examples are round bars less than ½ in. (12.7 mm) in diameter or sheet. In this case, the specimen shall be a minimum of 3 in. (76 mm) in length and parallel flats shall be ground on the original mill surfaces. The specimens shall be heat treated as prescribed in Table 3.

7.2.1 The hardness of the specimen after the specified heat treatment shall meet the minimum hardness value for the particular type of steel shown in Table 3. Rockwell C tests should be used where possible but light load tests may be necessary on thin specimens. These tests should be specified by agreement between the seller and the purchaser. The hardness value shall be obtained in accordance with the latest issue of Test Methods and Definitions A370, and shall be the average of at least five readings taken in an area midway between the center and surface of the largest dimension of the cross-sectional specimen or along the parallel surfaces of the longitudinal specimen.

#### 8. Macrostructure

8.1 Specimens for the determination of the macrostructure shall represent the entire cross-sectional area in the annealed condition and be prepared in accordance with the latest issue of Practice A561. Material supplied to this specification shall be capable of exhibiting a structure free of excessive porosity, segregation, slag, dirt or other nonmetallic inclusions, pipe, checks, cracks, and other injurious defects.

8.2 Macroetch severity levels for center porosity and ingot pattern, illustrated photographically in Practice A561, shall not exceed the ratings specification in Table 4 for the appropriate material size and composition. More stringent requirements are available by agreement between seller and purchaser.

#### 9. Decarburization

9.1 Specimens for the determination of decarburization shall represent a cross section of the material and be prepared in accordance with the latest issue of Guide E3. Material supplied to this specification shall be capable, when examined at 20 times or greater magnification, of not exceeding the values given in Tables 5-8 for the appropriate size and shape of material. Lower limits of decarburization may be specified by agreement between the seller and purchaser.

TABLE 1 Chemical Requirements, %<sup>A</sup>

UNS Designation <sup>B</sup>	Type	Carbon		Manganese <sup>C</sup>		Phosphorus, max	Sulfur, max <sup>D</sup>	Silicon		Chromium		Vanadium		Tungsten		Molybdenum	
		min	max	min	max			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
T20810	H10	0.35	0.45	0.20	0.70	0.030	0.030	0.80	1.25	3.00	3.75	0.25	0.75	...	...	2.00	3.00
T20811	H11	0.33	0.43	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.30	0.60	...	...	1.10	1.60
T20812	H12	0.30	0.40	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.20	0.50	1.00	1.70	1.25	1.75
T20813	H13	0.32	0.45	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	0.80	1.20	...	...	1.10	1.75
T20814	H14	0.35	0.45	0.20	0.60	0.030	0.030	0.80	1.25	4.75	5.50	...	...	4.00	5.25	...	...
T20819	H19	0.32	0.45	0.20	0.50	0.030	0.030	0.15	0.50	4.00	4.75	1.75	2.20	3.75	4.50	0.30	0.55
T20821	H21	0.26	0.36	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.50	3.00	3.75	0.30	0.60	8.50	10.00	...	...
T20822	H22	0.30	0.40	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	1.75	3.75	0.25	0.50	10.00	11.75	...	...
T20823	H23	0.25	0.35	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.60	11.00	12.75	0.75	1.25	11.00	12.75	...	...
T20824	H24	0.42	0.53	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	2.50	3.50	0.40	0.60	14.00	16.00	...	...
T20825	H25	0.22	0.32	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	3.75	4.50	0.40	0.60	14.00	16.00	...	...
T20826	H26	0.45	0.55 <sup>F</sup>	0.15	0.40	0.030	0.030	0.15	0.40	3.75	4.50	0.75	1.25	17.25	19.00	...	...
T20841	H41	0.60	0.75 <sup>F</sup>	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.50	4.00	1.00	1.30	1.40	2.10	8.20	9.20
T20842	H42	0.55	0.70 <sup>F</sup>	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.75	4.50	1.75	2.20	5.50	6.75	4.50	5.50
T20843	H43	0.50	0.65 <sup>F</sup>	0.15	0.40	0.030	0.030	0.20	0.45	3.75	4.50	1.80	2.20	...	...	7.75	8.50
T30102	A2	0.95	1.05	0.40	1.00	0.030	0.030	0.10	0.50	4.75	5.50	0.15	0.50	...	...	0.90	1.40
T30103	A3	1.20	1.30	0.40	0.60	0.030	0.030	0.10	0.70	4.75	5.50	0.80	1.40	...	...	0.90	1.40
T30104	A4	0.95	1.05	1.80	2.20	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	2.20	...	...	...	...	0.90	1.40
T30105	A5	0.95	1.05	2.80	3.20	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	1.40	...	...	...	...	0.90	1.40
T30106	A6	0.65	0.75	1.80	2.50	0.030	0.030	0.10	0.70	0.90	1.40	...	...	...	...	0.90	1.40
T30107	A7	2.00	2.85	0.20	0.80	0.030	0.030	0.10	0.70	5.00	5.75	3.90	5.15	0.50	1.50	0.90	1.40
T30108	A8	0.50	0.60	0.20	0.50	0.030	0.030	0.75	1.10	4.75	5.50	...	...	1.00	1.50	1.15	1.65
T30109	A9	0.45	0.55	0.20	0.50	0.030	0.030	0.95	1.15	4.75	5.50	0.80	1.40	...	...	1.30	1.80
T30110	A10	1.25	1.50	1.60	2.10	0.030	0.030	1.00	1.50	...	...	...	...	...	...	1.25	1.75
T30402	D2	1.40	1.60	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	0.50	1.10	...	...	0.70	1.20
T30403	D3	2.00	2.35	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	...	1.00	...	1.00	...	...
T30404	D4	2.05	2.40	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	0.15	1.00	...	...	0.70	1.20
T30405	D5	1.40	1.60	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.00	13.00	...	1.00	...	...	0.70	1.20
T30407	D7	2.15	2.50	0.10	0.60	0.030	0.030	0.10	0.60	11.50	13.50	3.80	4.40	...	...	0.70	1.20
T31501	O1	0.85	1.00	1.00	1.40	0.030	0.030	0.10	0.50	0.40	0.70	...	0.30	0.40	0.60	...	...
T31502	O2	0.85	0.95	1.40	1.80	0.030	0.030	...	0.50	...	0.50	...	0.30	...	...	...	0.30
T31506	O6	1.25	1.55	0.30	1.10	0.030	0.030	0.55	1.50	...	0.30	...	...	...	...	0.20	0.30
T31507	O7	1.10	1.30	0.20	1.00	0.030	0.030	0.10	0.60	0.35	0.85	0.15	0.40	1.00	2.00	...	0.30
T41901	S1	0.40	0.55	0.10	0.40	0.030	0.030	0.15	1.20	1.00	1.80	0.15	0.30	1.50	3.00	...	0.50
T41902	S2	0.40	0.55	0.30	0.50	0.030	0.030	0.90	1.20	...	...	...	0.50	...	...	0.30	0.60
T41904	S4	0.50	0.65	0.60	0.95	0.030	0.030	1.75	2.25	0.10	0.50	0.15	0.35	...	...	...	...
T41905	S5	0.50	0.65	0.60	1.00	0.030	0.030	1.75	2.25	0.10	0.50	0.15	0.35	...	...	0.20	1.35
T41906	S6	0.40	0.50	1.20	1.50	0.030	0.030	2.00	2.50	1.20	1.50	0.20	0.40	...	...	0.30	0.50
T41907	S7	0.45	0.55	0.20	0.90	0.030	0.030	0.20	1.00	3.00	3.50	...	0.35	...	...	1.30	1.80
T61202	L2	0.45	1.00	0.10	0.90	0.030	0.030	0.10	0.50	0.70	1.20	0.10	0.30	...	...	0.25	...
T61203	L3	0.95	1.10	0.25	0.80	0.030	0.030	0.10	0.50	1.30	1.70	0.10	0.30	...	...	...	...
Nickel																	
T61206	L6	0.65	0.75	0.25	0.80	0.030	0.030	0.10	0.50	0.60	1.20	...	...	...	...	0.50	1.25 2.00
T60601	F1	0.95	1.25	...	0.50	0.030	0.030	0.10	0.50	...	...	...	...	1.00	1.75	...	...
T60602	F2	1.20	1.40	0.10	0.50	0.030	0.030	0.10	0.50	0.20	0.40	...	...	3.00	4.50	...	...
T51602	P2	...	0.10	0.10	0.40	0.030	0.030	0.10	0.40	0.75	1.25	...	...	...	...	0.15	0.40 0.10 0.50
T51603	P3	...	0.10	0.20	0.60	0.030	0.030	...	0.40	0.40	0.75	...	...	...	...	...	1.00 1.50
T51604	P4	...	0.12	0.20	0.60	0.030	0.030	0.10	0.40	4.00	5.25	...	...	...	...	0.40	1.00
T51605	P5	0.06	0.10	0.20	0.60	0.030	0.030	0.10	0.40	2.00	2.50	...	...	...	...	...	0.35
T51606	P6	0.05	0.15	0.35	0.70	0.030	0.030	0.10	0.40	1.25	1.75	...	...	...	...	...	3.25 3.75
T51620	P20	0.28	0.40	0.60	1.00	0.030	0.030	0.20	0.80	1.40	2.00	...	...	...	...	0.30	0.55
T51621	P21 <sup>F</sup>	0.18	0.22	0.20	0.40	0.030	0.030	0.20	0.40	0.20	0.30	0.15	0.25	...	...	...	3.90 4.25

<sup>A</sup> Chemistry limits include product analysis tolerances. Unless otherwise specified, nickel plus copper equal 0.75 % max for all types.

<sup>B</sup> New designation established in accordance with Practice E527 and SAEJ1086.

<sup>C</sup> Manganese limit is 1.0 % max for H13 resulfurized.

<sup>D</sup> Where specified, sulfur may be 0.06 to 0.15 % to improve machinability.

<sup>E</sup> Available in several carbon ranges.

<sup>F</sup> Also contains 1.05–1.25 % aluminum.

9.2 Material ordered as ground and polished or ground finished or machine finished shall be free of scale and decarburization.

10. Permissible Variations for Dimensions

10.1 Permissible variations for dimensions shall not exceed the applicable limits stated in Tables 9-28.

11. Workmanship, Finish, and Appearance

11.1 All alloy tool steels shall be free of heavy scale, deep pitting, laps, porosity, injurious segregations, excessive non-metallic inclusions, seams, cracks, checks, slivers, scale marks, dents, soft and hard spots, pipes, or any defects that would

**TABLE 2 Maximum Brinell Hardness in Annealed or Cold-Drawn Condition**

Type	Annealed BHN	Cold Drawn BHN	Type	Annealed BHN	Cold Drawn BHN
H10	229	255	O1	212	241
H11	235	262	O2	217	241
H12	235	262	O6	229	241
H13	235	262	O7	241	255
H14	235	262			
H19	241	262	S1	229	255
H21	235	262	S2	217	241
H22	235	262	S4	229	255
H23	255	269	S5	229	255
H24	241	262	S6	229	255
H25	235	262	S7	229	255
H26	241	262			
			L2	197	241
H41	235	262	L3	201	241
H42	235	262	L6	235	262
H43	235	262			
			F1	207	241
A2	248	262	F2	235	262
A3	229	255			
A4	241	262	P2	100	...
A6	248	262	P3	143	...
A7	269	285	P4	131	...
A8	241	262	P5	131	...
A9	248	262	P6	212	...
A10	269	285	P20	<sup>A</sup>	...
			P21	<sup>A</sup>	...
D2	255	269			
D3	255	269			
D4	255	269			
D5	255	269			
D7	262	277			

<sup>A</sup> Normally furnished in prehardened condition.

detrimentally affect the suitability of the material after removal of the recommended stock allowance.

## 12. Sampling

12.1 Each particular shipment of a heat of steel by type, size, and shape shall be considered a lot and must conform to the provisions of this specification.

## 13. Inspection

13.1 Unless otherwise specified in the contract or purchase order, the supplier is responsible for the performance of all inspection requirements as specified herein. The supplier may utilize his own facilities or any other acceptable to the purchaser.

13.2 When specified in the purchase order, the inspector representing the purchaser shall have access to the material subject to inspection for the purpose of witnessing the selection of samples, preparation of test pieces, and performance of the tests. For such tests, the inspector shall have the right to indicate the pieces from which samples will be selected. Otherwise the seller shall report to the purchaser, or his

representative, the results of the chemical analysis and the physical and mechanical property tests made in accordance with this specification.

13.3 The purchaser may perform any of the inspections set forth in this specification on the as-received material where such inspections are deemed necessary to ensure that supplies and services conform to the prescribed requirements.

## 14. Rejection and Rehearing

14.1 Unless otherwise specified, any rejections based on tests made in accordance with this specification shall be reported to the seller within 30 days from the date of receipt of the material.

14.2 Material that shows injurious defects subsequent to its acceptance by the purchaser shall be rejected and the seller notified.

14.3 Samples tested in accordance with this specification that represent rejected material shall be preserved for 30 days from the date of the test report. In case of dissatisfaction with the results of the test, the seller may make claim for a rehearing within that time.

## 15. Packaging, Loading, and Package Marking

### 15.1 Packaging and Loading:

15.1.1 Unless otherwise specified, shipments shall be packaged and loaded in accordance with Practices A700.

15.1.2 When specified in the contract or order, and for direct procurement by or direct shipment to the government, when Level A is specified, preservation, packaging, and loading shall be in accordance with the Level A requirement of MIL-STD-163.

### 15.2 Markings:

15.2.1 Shipments shall be properly marked with the name or brand of manufacturer, purchaser's name and order number, designation (ASTM A681), heat number, grade or type, and where appropriate, the size, length, and weight. Unless otherwise specified, method of marking is at the option of the manufacturer.

15.2.2 When specified in the contract or order, and for direct procurement by or direct shipment to the government, marking for shipment, in addition to any requirements specified in the contract or order, shall be in accordance with MIL-STD-163 for military agencies, and in accordance with Fed. Std. No. 123 for civil agencies.

15.2.3 For government procurement by the Defense Supply Agency, steel shall be continuously marked for identification in accordance with Fed. Std. No. 183.

## 16. Keywords

16.1 alloy; cold work tool steels; decarburization; hardness; hot work tool steels; macrostructure; tool steel

**TABLE 3 Heat-Treating Requirements**

NOTE 1—The austenitizing temperatures are stipulated for the response to hardening test only. Other combinations of austenitizing and tempering temperatures may be used for particular applications.

NOTE 2—Preheating temperature may be  $\pm 25^{\circ}\text{F}$  ( $14^{\circ}\text{C}$ ), but austenitizing and tempering temperatures shall be  $\pm 10^{\circ}\text{F}$  ( $5.6^{\circ}\text{C}$ ). If samples are austenitized in salt, the sample shall be at the austenitizing temperature for the minimum time shown. If a controlled atmosphere furnace is used, the sample shall be at the austenitizing temperature for 5 to 15 min (10 to 20 min for D types). The time at temperature is the time after the sample reaches the austenitizing temperature. This range of time is given because of the difficulty in determining when the sample reaches temperature in some types of controlled atmosphere furnaces.

NOTE 3—Those steels tempered at  $400^{\circ}\text{F}$  ( $204^{\circ}\text{C}$ ) shall have a single 2-h temper, while those tempered at 950 (510), 1025 (552), or  $1200^{\circ}\text{F}$  ( $649^{\circ}\text{C}$ ) shall be double-tempered for 2 h each cycle.

NOTE 4—The P types shall not be tested for response to heat treatment since P2 to P6 are used in the carburized condition and P20 are normally furnished in the prehardened condition.

NOTE 5—Specimens as described in 7.2 shall be capable of producing the specified minimum hardness when the stipulated heat treating parameters are used.

Type	Preheat Temperature, °F (°C)	Austenitizing Temperature, °F (°C)		Austenitizing Time (minutes)	Quench Medium	Tempering Temperature, °F (°C)	Minimum Hardness, RC
		Salt Bath	Controlled Atmosphere Furnaces				
H10	1450 (788)	1850 (1010)	1875 (1024)	5–15	Air	1025 (552)	55
H11	1450 (788)	1825 (996)	1850 (1010)	5–15	Air	1025 (552)	53
H12	1450 (788)	1825 (996)	1850 (1010)	5–15	Air	1025 (552)	53
H13	1450 (788)	1825 (996)	1850 (1010)	5–15	Air	1025 (552)	52
H14	1450 (788)	1900 (1038)	1925 (1052)	5–15	Air	1025 (552)	55
H19	1450 (788)	2150 (1177)	2175 (1191)	5–15	Air	1025 (552)	55
H21	1450 (788)	2150 (1177)	2175 (1191)	5–15	Air	1025 (552)	52
H22	1450 (788)	2150 (1177)	2175 (1191)	5–15	Air	1025 (552)	53
H23	1500 (816)	2275 (1246)	2300 (1260)	5–15	Oil	1200 (649)	42
H24	1450 (788)	2200 (1204)	2225 (1218)	5–15	Air	1025 (552)	55
H25	1450 (788)	2250 (1232)	2275 (1246)	5–15	Air	1025 (552)	44
H26	1550 (843)	2275 (1246)	2300 (1260)	5–15	Air	1025 (552)	58
H41	1450 (788)	2125 (1163)	2150 (1177)	5–15	Air	1025 (552)	60
H42	1450 (788)	2175 (1191)	2200 (1204)	5–15	Air	1025 (552)	60
H43	1450 (788)	2150 (1177)	2175 (1191)	5–15	Air	1025 (552)	58
A2	1450 (788)	1725 (941)	1750 (954)	5–15	Air	400 (204)	60
A3	1450 (788)	1775 (968)	1800 (982)	5–15	Air	400 (204)	63
A4	1250 (677)	1550 (843)	1575 (857)	5–15	Air	400 (204)	61
A6	1200 (649)	1525 (829)	1550 (843)	5–15	Air	400 (204)	58
A7	1500 (816)	1750 (954)	1775 (968)	5–15	Air	400 (204)	63
A8	1450 (788)	1825 (996)	1850 (1010)	5–15	Air	950 (510)	56
A9	1450 (788)	1825 (996)	1850 (1010)	5–15	Air	950 (510)	56
A10	1200 (649)	1475 (802)	1500 (816)	5–15	Air	400 (204)	59
D2	1500 (816)	1825 (996)	1850 (1010)	10–20	Air	400 (204)	59
D3	1500 (816)	1750 (954)	1775 (968)	10–20	Oil	400 (204)	61
D4	1500 (816)	1800 (982)	1825 (996)	10–20	Air	400 (204)	62
D5	1500 (816)	1825 (996)	1850 (1010)	10–20	Air	400 (204)	61
D7	1500 (816)	1925 (1052)	1950 (1066)	10–20	Air	400 (204)	63
O1	1200 (649)	1450 (788)	1475 (802)	5–15	Oil	400 (204)	59
O2	1200 (649)	1450 (788)	1475 (802)	5–15	Oil	400 (204)	59
O6	...	1450 (788)	1475 (802)	5–15	Oil	400 (204)	59
O7	1200 (649)	1575 (857)	1600 (871)	5–15	Oil	400 (204)	62
S1	1250 (677)	1725 (941)	1750 (954)	5–15	Oil	400 (204)	56
S2	1250 (677)	1625 (885)	1650 (899)	5–15	Brine	400 (204)	58
S4	1250 (677)	1625 (885)	1650 (899)	5–15	Oil	400 (204)	58
S5	1250 (677)	1625 (885)	1650 (899)	5–15	Oil	400 (204)	58
S6	1450 (788)	1700 (927)	1725 (941)	5–15	Oil	400 (204)	56
S7	1250 (677)	1725 (941)	1750 (954)	5–15	Air	400 (204)	56
L2	1200 (649)	1575 (857)	1600 (871)	5–15	Oil	400 (204)	53 <sup>A</sup>
L3	1200 (649)	1525 (829)	1550 (843)	5–15	Oil	400 (204)	62
L6	1200 (649)	1500 (816)	1525 (829)	5–15	Oil	400 (204)	58
F1	1200 (649)	1525 (829)	1550 (843)	5–15	Brine	400 (204)	64
F2	1200 (649)	1525 (829)	1550 (843)	5–15	Brine	400 (204)	64

<sup>A</sup>0.45–0.55 % carbon type.

**TABLE 4 Macroetch Standards  
(Maximum Allowable Rating)<sup>a</sup>**

Bar Size, in. (mm)	Low-Alloy Tool Steels <sup>b</sup>		High-Alloy Tool Steels <sup>c</sup>	
	Porosity	Ingot Pattern	Porosity	Ingot Pattern
Up to 2 (50.8), incl	4	6	3	6
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	4½	6	3½	6
Over 3 to 4 (76 to 102), incl	4½	6	4	6
Over 4 to 5 (102 to 127), incl	5	6	4½	6
Over 5 to 6 (127 to 152), incl	5	6	5	6
Over 6 (152)	As negotiated between seller and purchaser.			

<sup>a</sup> Refer to macroetch photographs in Practice A561.

<sup>b</sup> Low-alloy tool steels include H10-13, A2-6, A8-10, A110,S,L,F, and P types.

<sup>c</sup> High-alloy tool steels include H14-43, D2-7, and A7.

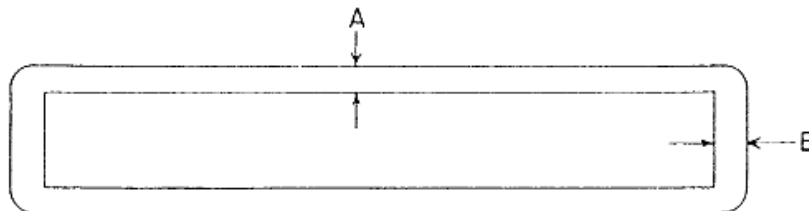
**TABLE 5 Maximum Decarburization Limits  
(Rounds, Hexagons and Octagons Maximum Limit Per Side)**

NOTE—The recommended minimum allowance for machining prior to heat treatment is 25 % greater than the maximum decarburization allowed.

Ordered Size, in. (mm)	Hot Rolled	Forged	Cold Drawn
Up to ½ (12.7), incl	0.013 (0.33)	...	0.013 (0.33)
Over ½ to 1 (12.7 to 25.4), incl	0.025 (0.64)	...	0.025 (0.64)
Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	0.038 (0.97)	0.058 (1.47)	0.038 (0.96)
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	0.050 (1.27)	0.075 (1.91)	0.050 (1.27)
Over 3 to 4 (76 to 102), incl	0.070 (1.78)	0.096 (2.44)	0.070 (1.78)
Over 4 to 5 (102 to 127), incl	0.090 (2.29)	0.116 (2.95)	...
Over 5 to 6 (127 to 152), incl	0.120 (3.05)	0.136 (3.45)	...
Over 6 to 8 (152 to 203), incl	...	0.160 (4.06)	...
Over 8 to 10 (203 to 254), incl	...	0.160 (4.06)	...

**TABLE 6 Maximum Decarburization Limits  
(Hot Rolled Square and Flat Bars Maximum Limit Per Side)**

NOTE—The recommended minimum allowance for machining prior to heat treatment is 25 % greater than the maximum decarburization allowed.

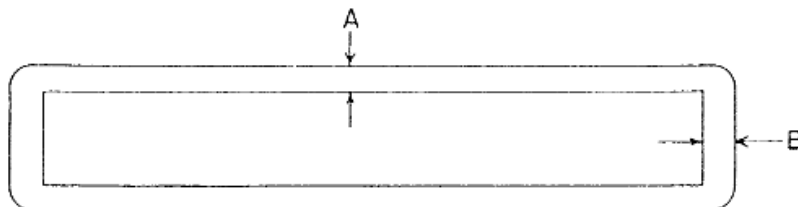


Specified Thickness, in. (mm)		Specified Widths, in. (mm)										
		0 to ½ (0 to 12.7) incl	Over ½ to 1 (12.7 to 25.4), incl	Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	Over 3 to 4 (76 to 102), incl	Over 4 to 5 (102 to 127), incl	Over 5 to 6 (127 to 152), incl	Over 6 to 7 (152 to 178), incl	Over 7 to 8 (178 to 203), incl	Over 8 to 9 (203 to 229), incl	Over 9 to 12 (229 to 304), incl
0 to ½ (0 to 12.7), incl	A	0.020 (0.51)	0.020 (0.51)	0.024 (0.61)	0.028 (0.71)	0.032 (0.81)	0.036 (0.91)	0.040 (1.02)	0.044 (1.12)	0.048 (1.22)	0.048 (1.22)	0.048 (1.22)
	B	0.020 (0.51)	0.026 (0.66)	0.032 (0.81)	0.038 (0.97)	0.044 (1.12)	0.054 (1.37)	0.062 (1.57)	0.066 (1.68)	0.078 (1.98)	0.082 (2.08)	0.096 (2.44)
Over ½ to 1 (12.7 to 25.4), incl	A	...	0.036 (0.91)	0.036 (0.91)	0.036 (0.91)	0.040 (1.02)	0.044 (1.12)	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	0.060 (1.52)	0.060 (1.52)	0.060 (1.52)
	B	...	0.036 (0.91)	0.042 (1.07)	0.046 (1.17)	0.056 (1.42)	0.064 (1.63)	0.082 (2.08)	0.090 (2.29)	0.098 (2.49)	0.102 (2.59)	0.108 (2.74)
Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	A	...	...	0.052 (1.32)	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	0.056 (1.42)	0.060 (1.52)	0.060 (1.52)	0.064 (1.63)	0.068 (1.73)	0.072 (1.83)
	B	...	...	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	0.060 (1.52)	0.072 (1.83)	0.086 (2.18)	0.098 (2.49)	0.112 (2.84)	0.118 (3.00)	0.122 (3.10)
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	A	...	...	...	0.064 (1.63)	0.064 (1.63)	0.068 (1.73)	0.068 (1.73)	0.072 (1.83)	0.072 (1.83)	0.080 (2.03)	0.080 (2.03)
	B	...	...	...	0.064 (1.63)	0.072 (1.83)	0.082 (2.08)	0.094 (2.39)	0.110 (2.79)	0.122 (3.10)	0.130 (3.30)	0.136 (3.45)
Over 3 to 4 (76 to 102), incl	A	...	...	...	...	0.080 (2.03)	0.080 (2.03)	0.086 (2.18)	0.092 (2.34)	0.094 (2.39)	0.100 (2.54)	0.100 (2.54)
	B	...	...	...	...	0.080 (2.03)	0.090 (2.29)	0.100 (2.54)	0.120 (3.05)	0.132 (3.35)	0.132 (3.35)	0.150 (3.81)

**A681 – 08**

**TABLE 7 Maximum Decarburization Limits  
(Forged Square and Flat Bars Maximum Limit Per Side)**

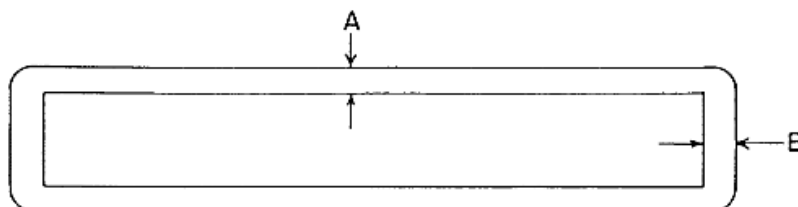
NOTE—The recommended minimum allowance for machining prior to heat treatment is 25 % greater than the maximum decarburization allowed.



Specified Thickness, in. (mm)		Specified Width, in. (mm)								
		Over 1 to 2 (25.4 to 50.0), incl	Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	Over 3 to 4 (76 to 102), incl	Over 4 to 5 (102 to 127), incl	Over 5 to 6 (127 to 152), incl	Over 6 to 7 (152 to 178), incl	Over 7 to 8 (178 to 203), incl	Over 8 to 9 (203 to 229), incl	Over 9 to 12 (229 to 305), incl
Over 1/2 to 1, (12.7 to 25.4), incl	A	0.038 (0.97)	0.042 (1.07)	0.048 (1.32)	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	0.062 (1.57)	0.066 (1.68)	0.072 (1.83)	0.080 (2.03)
	B	0.048 (1.22)	0.056 (1.42)	0.070 (1.78)	0.080 (2.03)	0.094 (2.39)	0.110 (2.79)	0.132 (3.35)	0.132 (3.35)	0.132 (3.35)
Over 1 to 2, (25.4 to 50.8), incl	A	0.058 (1.47)	0.062 (1.57)	0.066 (1.68)	0.070 (1.78)	0.074 (1.78)	0.080 (1.88)	0.084 (2.03)	0.094 (2.39)	0.106 (2.69)
	B	0.058 (1.47)	0.066 (1.68)	0.078 (1.98)	0.086 (2.18)	0.100 (2.54)	0.114 (2.90)	0.132 (3.35)	0.132 (3.35)	0.132 (3.35)
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	A	...	0.080 (2.03)	0.084 (2.13)	0.088 (2.24)	0.092 (2.34)	0.098 (2.49)	0.106 (2.69)	0.114 (2.90)	0.126 (3.20)
	B	...	0.080 (2.03)	0.092 (2.34)	0.098 (2.49)	0.106 (2.69)	0.118 (3.00)	0.136 (3.45)	0.136 (3.45)	0.136 (3.45)
Over 3 to 4 (76 to 102), incl	A	...	...	0.102 (2.59)	0.106 (2.69)	0.112 (2.84)	0.120 (3.05)	0.132 (3.35)	0.140 (3.56)	0.158 (4.01)
	B	...	...	0.102 (2.59)	0.106 (2.69)	0.112 (2.84)	0.120 (3.05)	0.132 (3.35)	0.140 (3.56)	0.158 (4.01)
Over 4 to 5 (102 to 127), incl	A	...	...	...	0.126 (3.20)	0.130 (3.30)	0.138 (3.51)	0.146 (3.71)	0.156 (3.96)	0.170 (4.32)
	B	...	...	...	0.126 (3.20)	0.130 (3.30)	0.138 (3.51)	0.146 (3.71)	0.156 (3.96)	0.170 (4.32)
Over 5 to 6 (127 to 152), incl	A	...	...	...	...	0.150 (3.81)	0.158 (4.01)	0.166 (4.22)	0.176 (4.47)	0.188 (4.78)
	B	...	...	...	...	0.150 (3.81)	0.158 (4.01)	0.166 (4.22)	0.176 (4.47)	0.188 (4.78)
Over 6 to 7 (152 to 178) incl	A	...	...	...	...	...	0.176 (4.47)	0.186 (4.72)	0.186 (4.72)	0.198 (5.03)
	B	...	...	...	...	...	0.176 (4.47)	0.186 (4.72)	0.186 (4.72)	0.198 (5.03)

**TABLE 8 Maximum Decarburization Limits  
(Cold Drawn Square and Flat Bars Maximum Limits Per Side)**

NOTE—The recommended minimum allowance for machining prior to heat treatment is 25 % greater than the maximum decarburization allowed.



Specified Thickness, in. (mm)		Specified Width, in. (mm)					
		0 to 1/2 (0 to 12.7), incl	Over 1/2 to 1 (12.7 to 25.4), incl	Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	Over 3 to 4 (76 to 102), incl	Over 4 to 5 (102 to 127), incl
0 to 1/2 (0 to 12.7), incl	A	0.020 (0.51)	0.020 (0.51)	0.024 (0.61)	0.028 (0.71)	0.032 (0.81)	0.036 (0.91)
	B	0.020 (0.51)	0.026 (0.66)	0.032 (0.81)	0.038 (0.97)	0.044 (1.12)	0.054 (1.37)
Over 1/2 to 1 (12.7 to 25.4), incl	A	...	0.036 (0.91)	0.036 (0.91)	0.036 (0.91)	0.040 (1.02)	0.044 (1.12)
	B	...	0.036 (0.91)	0.042 (1.07)	0.046 (1.17)	0.056 (1.42)	0.064 (1.63)
Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	A	...	...	0.052 (1.32)	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	...
	B	...	...	0.052 (1.32)	0.056 (1.42)	0.060 (1.52)	...



**TABLE 9 Hot-Rolled Bars  
(Rounds, Squares, Octagons, Quarter Octagons, Hexagons Size Tolerance)**

Specified Sizes, in. (mm)	Size Tolerances, in. (mm)	
	Under	Over
To ½ (12.7), incl	0.005 (0.13)	0.012 (0.30)
Over ½ to 1 (12.7 to 25.4), incl	0.005 (0.13)	0.016 (0.41)
Over 1 to 1½ (25.4 to 38.1), incl	0.006 (0.15)	0.020 (0.51)
Over 1½ to 2 (38.1 to 50.8), incl	0.008 (0.20)	0.025 (0.64)
Over 2 to 2½ (50.8 to 63.5), incl	0.010 (0.25)	0.030 (0.76)
Over 2½ to 3 (63.5 to 76.2), incl	0.010 (0.25)	0.040 (1.02)
Over 3 to 4 (76.2 to 101.6), incl	0.012 (0.30)	0.050 (1.27)
Over 4 to 5½ (101.6 to 139.7), incl	0.015 (0.38)	0.060 (1.52)
Over 5½ to 6½ (139.7 to 165.1), incl	0.018 (0.46)	0.100 (2.54)
Over 6½ to 8 (165.1 to 203.2), incl	0.020 (0.51)	0.150 (3.81)

**TABLE 10 Forged Bars  
(Rounds, Squares, Octagons, Hexagons Size Tolerances)<sup>A</sup>**

Specified Sizes, in. (mm)	Size Tolerances, in. (mm)	
	Under	Over
Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	0.030 (0.76)	0.060 (1.52)
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	0.030 (0.76)	0.080 (2.03)
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	0.060 (1.52)	0.125 (3.18)
Over 5 to 7 (127 to 177.8) incl	0.125 (3.18)	0.187 (4.75)
Over 7 to 9 (177.8 to 229), incl	0.187 (4.75)	0.312 (7.92)

<sup>A</sup> Out-of-section tolerances to be three fourths of the total tolerance.

**TABLE 11 Rough-Turned Round Bars  
(Size Tolerance)<sup>A</sup>**

Specified Sizes, <sup>B</sup> in. (mm)	Size Tolerance, in. (mm)	
	Under	Over
Over ¾ to 1½ (19.0 to 38.1), incl	0.00	0.010 (0.254)
Over 1½ to 3½ (38.1 to 77.8), incl	0.00	0.015 (0.38)
Over 3½ to 4½ (77.8 to 103.2), incl	0.00	0.031 (0.79)
Over 4½ to 6½ (103.2 to 154), incl	0.00	0.062 (1.6)
Over 6½ to 10½ (154 to 255.6), incl	0.00	0.094 (2.4)
Over 10½ Please consult producer		


<sup>A</sup> Out-of-round tolerances to be one half of the total tolerance.

<sup>B</sup> Consult producer for oversize allowance and decarburization limits for all sizes.

**TABLE 12 Cold-Drawn Bars  
(Rounds, Octagons, Quarter Octagons, and Hexagons Size Tolerances)<sup>A</sup>**

Size Range, in. (mm)	Tolerance, in. (mm) Plus and Minus
¼ to ½ (6.4 to 12.7), excl	0.002 (0.05)
½ to 1 (12.7 to 25.4), excl	0.0025 (0.06)
1 to 2¾ (25.4 to 69.8), incl	0.003 (0.08)

<sup>A</sup> Out-of-round tolerances to be one half of the total thickness.

 **A681 – 08**

**TABLE 13 Centerless Ground Bars Rounds  
(Diameter Tolerances)<sup>4</sup>**

Diameter Range, in. (mm)	Tolerance, in. (mm)	
	Under	Over
¼ to ½ (6.4 to 12.7), excl	0.0015 (0.038)	0.0015 (0.038)
½ to ¾ (12.7 to 19.0), excl	0.002 (0.05)	0.002 (0.05)
¾ to 1 (19.0 to 25.4), excl	0.003 (0.08)	0.003 (0.08)

<sup>4</sup> Out of round tolerances to be ½ of the total tolerance.

**TABLE 14 Hot-Rolled Flat Bars  
(Width and Thickness Tolerances Width Tolerances)<sup>4</sup>**

Specified Widths, in. (mm)	Width Tolerances, in. (mm)											
	Under						Over					
To 1 (25.4), incl	0.016 (0.41)						0.031 (0.79)					
Over 1 to 3 (25.4 to 76), incl	0.031 (0.79)						0.047 (1.19)					
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	0.047 (1.19)						0.063 (1.60)					
Over 5 to 7 (127 to 178), incl	0.063 (1.60)						0.094 (2.39)					
Over 7 to 10 (178 to 254), incl	0.078 (1.98)						0.125 (3.18)					
Over 10 to 12 (254 to 305), incl	0.094 (2.39)						0.156 (3.96)					

Specified Widths, in. (mm)	Thickness Tolerances for Specified Thicknesses, in. (mm)											
	To ¼ (6.4), incl		Over ¼ to ½ (6.4 to 12.7), incl		Over ½ to 1 (12.7 to 25.4), incl		Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl		Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl		Over 3 to 4 (76 to 102), incl	
	Under	Over	Under	Over	Under	Over	Under	Over	Under	Over	Under	Over
To 1 (25.4), incl	0.006 (0.15)	0.010 (0.25)	0.008 (0.20)	0.012 (0.30)	0.010 (0.25)	0.016 (0.41)	...	...	...	...	...	...
Over 1 to 2 (25.4 to 50.8), incl	0.006 (0.15)	0.014 (0.36)	0.008 (0.20)	0.016 (0.41)	0.010 (0.25)	0.020 (0.51)	0.020 (0.51)	0.024 (0.61)	...	...	...	...
Over 2 to 3 (50.8 to 76), incl	0.006 (0.15)	0.018 (0.46)	0.008 (0.20)	0.020 (0.51)	0.010 (0.25)	0.024 (0.61)	0.020 (0.51)	0.027 (0.69)	0.026 (0.66)	0.034 (0.86)	...	...
Over 3 to 4 (76 to 102), incl	0.008 (0.20)	0.020 (0.51)	0.010 (0.25)	0.022 (0.56)	0.013 (0.33)	0.024 (0.61)	0.024 (0.61)	0.030 (0.76)	0.032 (0.81)	0.042 (1.07)	0.040 (1.02)	0.048 (1.22)
Over 4 to 5 (102 to 127), incl	0.010 (0.25)	0.020 (0.51)	0.012 (0.30)	0.024 (0.61)	0.015 (0.38)	0.030 (0.76)	0.027 (0.69)	0.035 (0.89)	0.032 (0.81)	0.042 (1.07)	0.042 (1.07)	0.050 (1.27)
Over 5 to 6 (127 to 152), incl	0.012 (0.30)	0.020 (0.51)	0.014 (0.36)	0.030 (0.76)	0.018 (0.46)	0.030 (0.76)	0.030 (0.76)	0.035 (0.89)	0.036 (0.91)	0.046 (1.17)	0.044 (1.12)	0.054 (1.37)
Over 6 to 7 (152 to 178), incl	0.014 (0.36)	0.027 (0.69)	0.016 (0.41)	0.032 (0.81)	0.018 (0.46)	0.035 (0.89)	0.030 (0.76)	0.040 (1.02)	0.036 (0.91)	0.048 (1.22)	0.046 (1.17)	0.056 (1.42)
Over 7 to 10 (178 to 254), incl	0.018 (0.46)	0.030 (0.76)	0.020 (0.51)	0.035 (0.89)	0.024 (0.61)	0.040 (1.02)	0.035 (0.89)	0.045 (1.14)	0.040 (1.02)	0.054 (1.37)	0.052 (1.32)	0.064 (1.62)
Over 10 to 12 (254 to 305), incl	0.020 (0.51)	0.035 (0.89)	0.025 (0.64)	0.040 (1.02)	0.030 (0.76)	0.045 (1.14)	0.040 (1.02)	0.050 (1.27)	0.046 (1.17)	0.060 (1.52)	0.056 (1.42)	0.072 (1.83)

<sup>4</sup> Out of square tolerance to be ¾ of total width tolerance max.

**TABLE 15 Forged Flat Bars  
(Width Tolerances)**

Specified Widths, in. (mm)	Width Tolerances, in. (mm)									
			Under					Over		
Over 1 to 3 (25.4 to 76), incl			0.031 (0.79)					0.078 (1.98)		
Over 3 to 5 (76 to 127), incl			0.062 (1.57)					0.125 (3.18)		
Over 5 to 7 (127 to 178), incl			0.125 (3.18)					0.187 (4.75)		
Over 7 to 9 (178 to 229), incl			0.187 (4.75)					0.312 (7.92)		

Specified Widths, in. (mm)	Thickness Tolerances for Specified Thicknesses, in. (mm)									
	To 1 (25.4), incl		Over 1 to 3 (25.4 to 76), incl		Over 3 to 5 (76 to 127), incl		Over 5 to 7 (127 to 178), incl		Over 7 to 9 (178 to 229), incl	
	Under	Over	Under	Over	Under	Over	Under	Over	Under	Over
Over 1 to 3 (25.4 to 76), incl	0.016 (0.41)	0.031 (0.79)	0.031 (0.79)	0.078 (1.98)	...	...	...	...	...	...
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	0.031 (0.79)	0.062 (1.57)	0.047 (1.19)	0.094 (2.39)	0.062 (1.57)	0.125 (3.18)	...	...	...	...
Over 5 to 7 (127 to 178), incl	0.047 (1.19)	0.094 (2.39)	0.062 (1.57)	0.125 (3.18)	0.078 (1.98)	0.156 (3.96)	0.125 (3.18)	0.187 (4.75)	...	...
Over 7 to 9 (178 to 229), incl	0.062 (1.57)	0.125 (3.18)	0.078 (1.98)	0.156 (3.96)	0.094 (2.39)	0.187 (4.75)	0.156 (3.96)	0.219 (5.56)	0.187 (4.75)	0.312 (7.92)

**TABLE 16 Cold Drawn Square and Flat Bars  
(Size Tolerances)**

Size Range, in. (mm)	Tolerance, in. (mm) Plus and Minus
¼ to ¾ (6.4 to 19.1), incl	0.002 (0.05)
Over ¾ to 1½ (19.1 to 38.1), incl	0.003 (0.08)
Over 1½ (38.1)	0.004 (0.10)

**TABLE 17 Drill Rod, Rounds, Polished or Ground  
(Size Tolerances)<sup>A</sup>**

NOTE—Out-of-round to be ½ of total tolerance maximum.

Specified Size, in. (mm)	Standard Manufacturing Tolerance, in. (mm), plus and minus	Precision Tolerance, in. (mm), plus and minus
Up to 0.124 (3.15), incl	0.0003 (0.008)	0.0002 (0.005)
0.125 to 0.499 (3.18 to 12.7), incl	0.0005 (0.013)	0.00025 (0.006)
0.500 to 1.500 (12.7 to 38.1), incl	0.001 (0.025)	0.0005 (0.013)

<sup>A</sup> Out-of-round tolerances to be one half of the total tolerance.

**TABLE 18 Drill Rod, Shapes Other than Rounds, Cold Drawn  
(Size Tolerances)<sup>A</sup>**

Specified Size, in. (mm)	Tolerances, in. (mm), plus and minus
Up to ¼ (6.4), excl	0.0005 (0.013)
¼ to ¾ (6.4 to 19.0), excl	0.001 (0.025)
¾ to 1 (19.0 to 25.4), incl	0.0015 (0.038)

<sup>A</sup> Out-of-round tolerances to be one half of the total tolerance.

**TABLE 19 Precision Ground Square and Flat Bars  
(Thickness and Width Tolerances)**

NOTE—Surface Finish, 35 µin. (0.89 µm) rms maximum. Free of decarburization.

Thickness, in. (mm)	Tolerance, in. (mm)	
	Under	Over
Up to 1¼ (31.8), incl	0.001 (0.03)	0.001 (0.03)
Over 1¼ to 2 (31.8 to 50.8), incl	0.002 (0.05)	0.002 (0.05)
½ to 14 (12.7 to 355.6), incl	0.000	0.005 (0.13)

**TABLE 20 Hot-Rolled or Forged Bars and Billets  
(Tolerances for Machine Cut Lengths)**

Specified Sizes Apply to Rounds, Squares, Hexagons, Octagons, and Width of Flats, in. (mm)	Tolerances for Specified Lengths, 14 ft (4.27 m) max, in. (mm)	
	Over	Under
To 9 (229), incl	¾ (9.5)	0
Over 9 to 12 (229 to 305), incl	½ (12.7)	0
Over 12 to 18 (305 to 457), incl	¾ (19.1)	0
Over 18 (457)	1 (25.4)	0

**TABLE 21 Straightened Hot-Rolled Annealed Bars or Cold-Finished Bars (Straightness Tolerances)**

This table does not apply to flat bars having a width to thickness ratio of 6 to 1 or greater.  
 Measurement is taken on the concave side of the bar with a straightedge.  
 Bars are furnished to the following straightness tolerances:  
 Hot rolled bars:  
 $\frac{1}{16}$  in. in any 5 ft, but may not exceed  $\frac{1}{16}$  in.  $\times$  (no. of ft in length/5)  
 The foregoing formula applies also to bars under 5 ft in length. (3.2 mm in any 1.54 m, but may not exceed 3.2 mm  $\times$  (no. of m in length/1.54). The foregoing formula applies also to bars under 1.54 m in length.)  
 Cold finished bars:  
 $\frac{1}{16}$  in. in any 5 ft, but may not exceed  $\frac{1}{16}$  in.  $\times$  (no. of ft in length/5)  
 The foregoing formula applies also to bars under 5 ft in length. (1.6 mm in any 1.54 m, but may not exceed 1.6 mm  $\times$  (no. of m in length/1.54). The foregoing formula applies also to bars under 1.54 m in length.)

**TABLE 22 Forgings, Disks, Rings and Rectangular Blocks (Allowances for Machining; Tolerances Over Allowances)**

NOTE 1—Unmachined tool steel forgings are furnished to size and surface allowances for machining and tolerances over allowances. Experience indicates that the allowances and tolerances in the tabulation below are satisfactory for many applications. When width and thickness differ, each dimension carries its individual allowance and tolerance in accordance with the tabulation; also, the ID and OD take their respective allowances and tolerances.

NOTE 2—When forgings are ordered, the purchaser should state whether the sizes are the forged or the finished sizes. The minimum sizes ordered for forgings should be the finished sizes plus allowances for machining; and the ordered forged sizes are subject to applicable tolerances.

Finished Size Diameters or Dimensions of Blocks, in. (mm)	Allowance for Machining Over Finished Size, in. (mm)	Tolerance Over the Allowance, in. (mm)	
		Plus	Minus
		Up to 3 (76), incl	$\frac{1}{16}$ (3.2)
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	$\frac{3}{16}$ (4.8)	$\frac{3}{16}$ (4.8)	0
Over 5 to 7 (127 to 178), incl	$\frac{1}{4}$ (6.4)	$\frac{1}{4}$ (6.4)	0
Over 7 to 10 (178 to 254), incl	$\frac{5}{16}$ (7.9)	$\frac{5}{16}$ (7.9)	0
Over 10 to 12 (254 to 305), incl	$\frac{3}{8}$ (9.5)	$\frac{3}{8}$ (9.5)	0
Over 12 to 15 (305 to 381), incl	$\frac{7}{16}$ (11.1)	$\frac{7}{16}$ (11.1)	0
Over 15 to 18 (381 to 457), incl	$\frac{1}{2}$ (12.7)	$\frac{1}{2}$ (12.7)	0
Over 18 to 24 (457 to 610), incl	$\frac{5}{8}$ (15.9)	$\frac{1}{2}$ (12.7)	0
Over 24 to 32 (610 to 813), incl	$\frac{3}{4}$ (19.1)	$\frac{1}{2}$ (12.7)	0
Over 32 to 40 (813 to 1016), incl	$\frac{7}{8}$ (22.2)	$\frac{1}{2}$ (12.7)	0

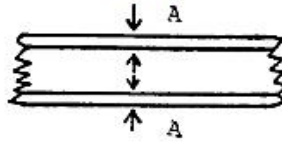
Ring forgings: for the OD, use the same allowances and tolerances shown in the above tabulation; for the ID, double the tolerances shown in the above tabulation.

**TABLE 23 Forgings, Disks, Rings, and Rectangular Blocks  
(Allowances for Machining: Tolerances Over Allowances)  
Thickness of Disks and Ring Forgings**

Finished Diameter, in. (mm)	Finished Thickness, in. (mm)											
	Up to 3 (76), incl		Over 3 to 5 (76 to 127), incl		Over 5 to 7 (127 to 178), incl		Over 7 to 10 (178 to 254), incl		Over 10 to 12 (254 to 305), incl			
	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus
Up to 3 (76), incl	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)	1/8 (3.2)	0 (3.2)
Over 5 to 7 (127 to 178), incl	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)
Over 7 to 10 (178 to 254), incl	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)
Over 10 to 12 (254 to 305), incl	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)	3/16 (4.8)	0 (4.8)
Over 12 to 15 (305 to 381), incl	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)
Over 15 to 18 (381 to 457), incl	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)
Over 18 to 24 (457 to 610), incl	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)	1/4 (6.4)	0 (6.4)
Over 24 to 32 (610 to 813), incl	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)
Over 32 to 40 (813 to 1016), incl	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)	3/16 (7.9)	0 (7.9)
	Finished Thickness, in. (mm) <sup>a</sup>											
	Over 12 to 15 (304 to 381), incl		Over 15 to 18 (381 to 475), incl		Over 18 to 24 (457 to 610), incl		Over 24 to 32 (610 to 813), incl		Over 32 to 40 (813 to 1016), incl			
Finished Diameter, in. (mm)	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus	Allow- ance	Tolerance Plus Minus
Up to 3 (76), incl	3/16 (11.1)	0 (11.1)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 3 to 5 (76 to 127), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 5 to 7 (127 to 178), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 7 to 10 (178 to 254), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 10 to 12 (254 to 305), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 12 to 15 (305 to 381), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 15 to 18 (381 to 457), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 18 to 24 (457 to 610), incl	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)	1/2 (12.7)	0 (12.7)
Over 24 to 32 (610 to 813), incl	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)
Over 32 to 40 (813 to 1016), incl	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)	3/8 (9.5)	0 (9.5)

<sup>a</sup> Forgings processed to the above allowances are free of decarburization and surface defects when machined or ground to the finished size by removal of equal amounts from opposite surfaces.

**TABLE 24 Hot Rolled Sheet and Plate  
(Tolerances for Thickness and Minimum Allowances for Machining)**



Thickness, in. (mm)	Thickness Tolerance, in. (mm) <sup>a, b</sup>	Machining Allowance, in. (mm) <sup>c, d</sup>
Up to 0.025 (0.64) incl.	0.006 (0.15)	0.013 (0.33)
Over 0.025 to 0.062 (0.64 to 1.6) incl.	0.012 (0.30)	0.013 (0.33)
Over 0.062 to 0.093 (1.6 to 2.4) incl.	0.016 (0.41)	0.015 (0.38)
Over 0.093 to 0.125 (2.4 to 3.2) incl.	0.020 (0.51)	0.015 (0.38)
Over 0.125 to 0.187 (3.2 to 4.8) incl.	0.028 (0.71)	0.018 (0.46)
Over 0.187 to 0.250 (4.8 to 6.4) incl.	0.050 (1.27)	0.023 (0.58)
Over 0.250 to 0.375 (6.4 to 9.5) incl.	0.060 (1.52)	0.035 (0.89)
Over 0.375 to 0.500 (9.5 to 12.7) incl.	0.070 (1.78)	0.035 (0.89)
Over 0.500 to 1.000 (12.7 to 25.4) incl.	0.100 (2.54)	0.063 (1.60)
Over 1.000 to 1.500 (25.4 to 38.1) incl.	0.125 (3.18)	0.063 (1.60)
Over 1.500 to 2.000 (38.1 to 50.8) incl.	0.125 (3.18)	0.075 (1.90)
Over 2.000 to 4.000 (50.8 to 101.6) incl.	0.250 (6.35)	0.094 (2.36)

<sup>a</sup> Thickness is measured along the longitudinal edges of the sheet or plate at least 1/8 in. (9.5 mm), but not more than 3.0 in. (76.2 mm) from the edge.

<sup>b</sup> All tolerances are over the specified thickness.

<sup>c</sup> Maximum decarburization limits are 80 % the allowance per side for machining.

<sup>d</sup> Additional cleanup for deviations from flatness may be added. Consult with producer.

**TABLE 25 Hot Rolled Trimmed Sheet and Plate  
(Tolerances for Width and Length)<sup>a</sup>**

Thickness, in. (mm)	Tolerance, in. (mm) <sup>b</sup>	
	Width	Length
Up to 0.187 (4.8) incl.	0.125 (3.18)	0.250 (6.35)
Over 0.187 to 0.375 (4.8 to 9.5)	0.1875 (4.76)	0.250 (6.35)
Over 0.375 to 4.000 (9.5 to 101.6)	0.250 (6.35)	0.250 (6.35)

<sup>a</sup> Tolerances shown are for all trimming methods.

<sup>b</sup> All tolerances are on the plus side of the specified width or length.

**TABLE 26 Hot Rolled Sheet and Plate  
(Tolerances for Flatness)**

Thickness, in. (mm)	Tolerances, in. (mm) <sup>a</sup>
Up to 0.125 (3.18) incl.	0.750 (19.05)
Over 0.125 to 0.500 (3.18 to 12.7) incl.	0.500 (12.70)
Over 0.500 to 1.500 (12.7 to 38.1) incl.	0.375 (9.52)
Over 1.500 to 4.000 (38.1 to 101.6) incl.	0.250 (6.35)

<sup>a</sup> Maximum deviation from a horizontal flat surface in any 10 ft (3.05 m).

**TABLE 27 Hot Rolled Trimmed Sheet and Plate  
(Tolerances for Camber)**

NOTE—Camber is the deviation of a side edge from a straight line. Measurement is taken by placing a 5 ft (1.52 m) straight edge on the concave side and measuring the greatest distance between the sheet or plate edge and the straight edge.

Maximum camber = 0.125 in. in any 5 ft (3.18 mm in any 1.52 m)

**TABLE 28 Machined Square and Flat Bars  
(Size, Straightness and Squareness Tolerances, in. (mm))**

NOTE—Bars shall be free of surface imperfections and decarburization and furnished oversize as shown. Surface finish shall be 125 µin. (3.18 µm) rms maximum for ground bars, and 250 µin. (6.36 µm) rms maximum for machined (milled) bars.

Specified Thickness	Thickness <sup>A</sup>		Width <sup>A</sup>			
	Machined or Plate		Machined		Cut From Plate	
	Oversize	Tolerance	Oversize	Tolerance	Oversize	Tolerance
½ to 4, incl (12.7 to 101.6)	0.015 (0.38)	+0.020, -0 (0.51)	0.015 (0.38)	+0.020, -0 (0.51)	0.015 (0.38)	+0.062, -0 (1.59)
Over 4 to 6, incl (101.6 to 152.4)	0.062 (1.59)	+0.031, -0 (0.79)	0.062 (1.59)	+0.031, -0 (0.79)	0.062 (1.59)	+0.062, -0 (1.59)

**Straightness Tolerances**

¼<sub>16</sub> in. in any 5 ft, but may not exceed ¼<sub>16</sub> in. × no. of ft in length/5

The foregoing formula applies also to bars under 5 ft in length.

1.6 mm in any 1.54 m, but may not exceed 1.6 mm × no. of m in length/1.54

The foregoing formula applies also to bars under 1.54 m in length.

**Squareness Tolerances**

The width and thickness dimensions specified must be attainable when surfaces are subsequently made to be parallel and square.

Closer limits of squareness may be agreed upon between seller and purchaser.

<sup>A</sup> For larger widths and thicknesses than shown, refer to producer.

**SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS**

One or more of the following supplementary requirements shall apply only when specified by the purchaser in the inquiry, contract, and order. Details of these supplementary requirements shall be agreed upon by the seller and the purchaser.

**S1. Ultrasonic Quality**

S1.1 Material shall be ultrasonically tested at appropriate stages of the manufacture to ensure the quality, when and as agreed upon between seller and purchaser.

**S2. Cleanliness**

S2.1 In special situations such as where the surface finish of the part requires optimum polishing characteristics, the cleanliness of the steel shall be ascertained in accordance with the latest issue of Test Methods E45. The permissible limits shall be agreed upon between seller and purchaser.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

## Anexo 02

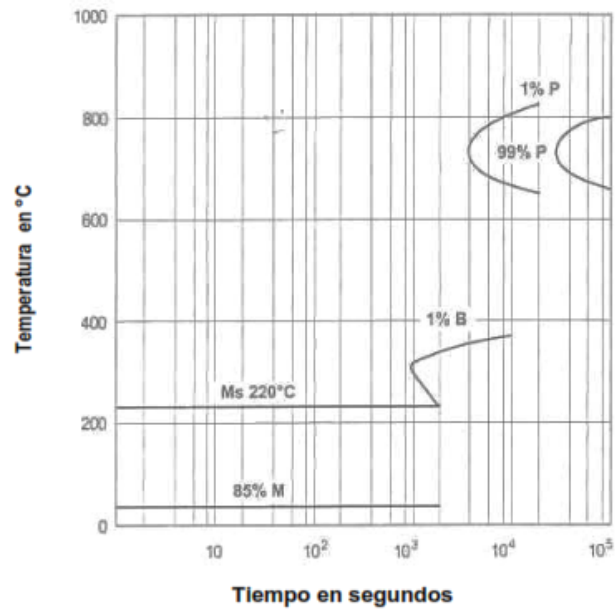
### Ficha técnica del Acero AISI M42

**ACERO GRADO HERRAMIENTA (ALTA VELOCIDAD)**  
**MICRO MELT M42**  
**(SIMILAR AISI TIPO M42)**

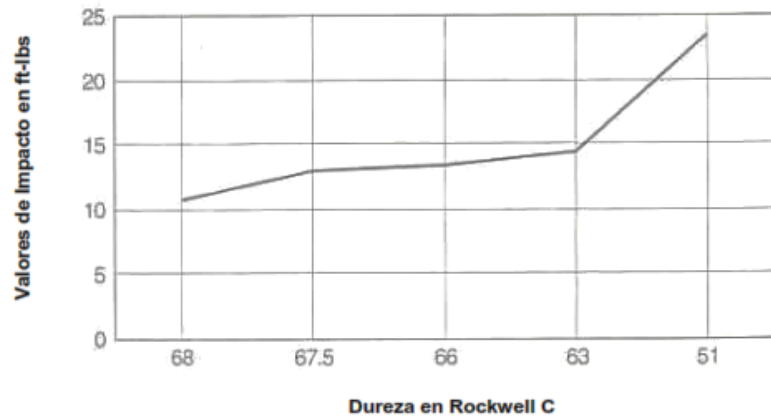
<b>ANALISIS QUIMICO TIPICO</b>	Carbono 1.10 Azufre 0.060 máx. Silicio 0.25 Cromo 3.75 Molibdeno 9.50	Vanadio 1.15 Tungsteno 1.50 Cobalto 8.25
<b>DESCRIPCION</b>	<p>La aleación Micro- Melt M-42 obtenido por metalurgia de polvos es un acero herramienta de alta velocidad que puede tomar durezas de hasta 68 – 70 Rockwell C. Esta aleación ha sido utilizada para herramientas de corte en donde las operaciones de maquinado son extremas.</p>	<p>Las ventajas de esta aleación incluye el fácil rectificado, una mejor respuesta al tratamiento térmico, una estructura más uniforme, mayor resistencia al desgaste y alta tenacidad.</p>
<b>APLICACIONES</b>	<p>Brocas helicoidales, herramientas para maquinado, fresas escariadoras, cuchillas para molino, mandriles, brocas rebajadoras, herramientas</p>	<p>Formadoras, dados formadores de roscas etc.</p>
<b>TRATAMIENTO TERMICO</b>	<p><b>Recocido:</b> Para el recocido, se deberán tomar precauciones para evitar la carburización o descarburización excesiva. Calentar uniformemente de 843 °C a 899°C mantener hasta que toda la masa tenga la misma temperatura, enfriando lentamente en el horno a una velocidad no mayor a 7°C por hora hasta 538 °C, apagar el horno y permitir un enfriamiento natural, este tratamiento le dará una dureza aproximada de 235/269 HNB.</p>	<p><b>Endurecido:</b> Puede ser endurecido sin peligro de descarburación en un horno de sales neutras o de atmosfera controlada, precalentar a 816/871 °C en un baño de sales neutras, posteriormente transferir a un horno de sales con una temperatura de 1177 / 1204 °C y templar en aceite.</p> <p><b>Revenido:</b> Las herramientas deberán ser revenidas inmediatamente y la temperatura de revenido dependera de la dureza deseada.</p>
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	<p>Densidad 0.288 lb/in<sup>3</sup> 7.980 Kg/cm<sup>3</sup></p>	



**Aleación Micro-Melt M-42 Austenizado a 1225 °C**



**Fig. 1 Diagrama de transformación Isotérmica**



**Fig. 2 Valores de Impacto (Izod) Micro-Melt M-42 austenizado a 1177 °C en Sales, templado en aceite y revenido tres veces y enfriado en aire.**

## Anexo 03

### Ficha técnica del Durómetro Rockwell

**TECNIMETAL**



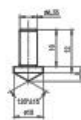
#### ROCKWELL TYPE HARDNESS TESTER CV-631™

*Bench hardness tester with protruding nose for internal tests*

- Automatic load selector
- Horizontally protruding nose type machine
- Tests on difficult to reach areas
- Tests on internal surfaces from 40mm diameter with standard indenter and 23mm with short indenter
- Tests on external surfaces down to approx 3mm diameter (hardness dependant)
- Automatic test cycle
- Clear matrix backlit LCD
- Data output to printer TA-220
- Easy menu selectable screens for display and control
- Four models of diamond indentors available:



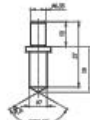
Standard



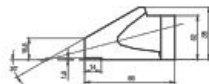
Short



Chisel



Slim



*Dimensions of protruding nose*



#### Technical specifications

Hardness parameters	A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, P, R, S, V
Hardness resolution	0.1 of a Rockwell unit
Test loads	10kgf preload / 60, 100, 150kgf total load
Display	Matrix backlit LCD
Language	English
Data entry	Membrane keypad, menu driven
Test cycle	Automatic
Load duration	Programmable dwell and recovery times 2-50sec
Data output	USB, RS232 serial port for printer TA-220/computer
Menu features	Upper/lower hardness limits settings and alarm Data statistics: Ave., Max., Min., S.R. Scale conversion: converts tested value to Vickers, Løebs, Brinell, Rockwell superficial, UTS Curve correction: cylinder and sphere Test force switches automatically Automatic data storage within 500 data groups, Hardness & Strength conversion also for aluminum, alloy aluminum copper and alloy copper
Standard	EN-ISO 6508, ASTM E-18
Specimen accommodation	Vertical space 260mm (10.24") Horizontal space (from centre-line) 150mm (6")
Specimen access	External surfaces Cylindrical surfaces down to 3mm diameter Internal surfaces Cylindrical surfaces down to 23mm diameter
Power supply	220V or 110V, 50Hz
Machine dimensions	Width 225mm, depth 715mm, height 790mm
Machine weight	100kg

#### Standard delivery

- Main unit
- 120° Cone diamond indenter
- Ball indenter 1/16"
- Spare balls 1/16" (5 pcs)
- Fixing screw for indentors
- Flat anvil 70mm diameter
- V-anvil 30mm diameter
- Test block HRA
- Test block HRB
- Test block HRC (3 pcs)
- Power cable
- Certificate
- Manual

#### Optional accessories

- Short diamond indenter
- Chisel diamond indenter
- Slim diamond indenter
- Ball indenter 1/8"
- Ball indenter 1/4"
- Ball indenter 1/2"
- Flat anvil 225mm diameter
- Flat anvil 150mm diameter
- V-anvil large
- V-anvil flat
- Support fixtures
- Printer TA-220 with cable
- UKAS certified test blocks

## TESIS

### EVALUACION DE LOS PARAMETROS APLICADOS DURANTE EL TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO AISI M42 EN LA EMPRESA BOEHLER DEL PERÚ S.A. - 2018

#### JURADO DE TESIS

---

Dr. RUIZ SANCHEZ, Berardo Beder  
CIP. 26627  
PRESIDENTE

---

Dr. NUMA GARCIA, José Vicente  
CIP. 51874  
SECRETARIO

---

Ing. ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín José  
CIP: 108833  
VOCAL

---

Mg. NATIVIDA HUASUPOMA, Delicias Eufemia  
CIP. 51874  
ASESOR