

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y
Mecatrónica



“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA MAQUINA DE ENSAYO JOMINY PARA LA DETERMINACIÓN DE TEMPLABILIDAD DE ACEROS ALEADOS SEGÚN NORMA ASTM A255 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA DE LA UCSM”

Tesis Presentada por los Bachilleres
Alarcón Llerena Guillermo Manuel
Berrocal Rojas Carlos Alberto
para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Asesor: Ing. Chire Ramirez, Emilio

Arequipa - Perú

2018

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES

ACTA DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

Se convocó a la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, siendo las 12:30 horas del día 26 del mes de MARZO del 2018; se reunió el JURADO EVALUADOR integrado por los señores catedráticos:

PRESIDENTE : ING. MARCO CARPIO RIVERA
VOCAL : ING. MARCELO QUISPE CCACHUCCO
SECRETARIO : ING. EMILIO CHIRE RAMÍREZ

Para recibir las previas orales de TITULACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO del(los) Bachiller(es):
BERROCAL ROJAS CARLOS ALBERTO
ALARCÓN WERENA GUILLERMO MANUEL

El(los) acogiéndose al Decreto Ley N° 739 y el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad (Título III, Art. 9); optó (aron) por la alternativa:
TESIS y
Defendió (aron): "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY PARA LA DETERMINACIÓN DE TEMPERABILIDAD DE ACEROS ALEADOS SEGÚN NORMA ASTM A225 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECÁNICA DE LA UCSM"

Después de la sustentación, el Jurado formuló las preguntas e hizo las observaciones pertinentes. Luego se procedió a la deliberación y votación secreta, obteniéndose el siguiente calificativo:
APROBADO POR UNANIMIDAD

Finalmente a las 14:30 horas, se dio por concluido el acto, procediendo a la firma de la presente acta en duplicado.

PRESIDENTE

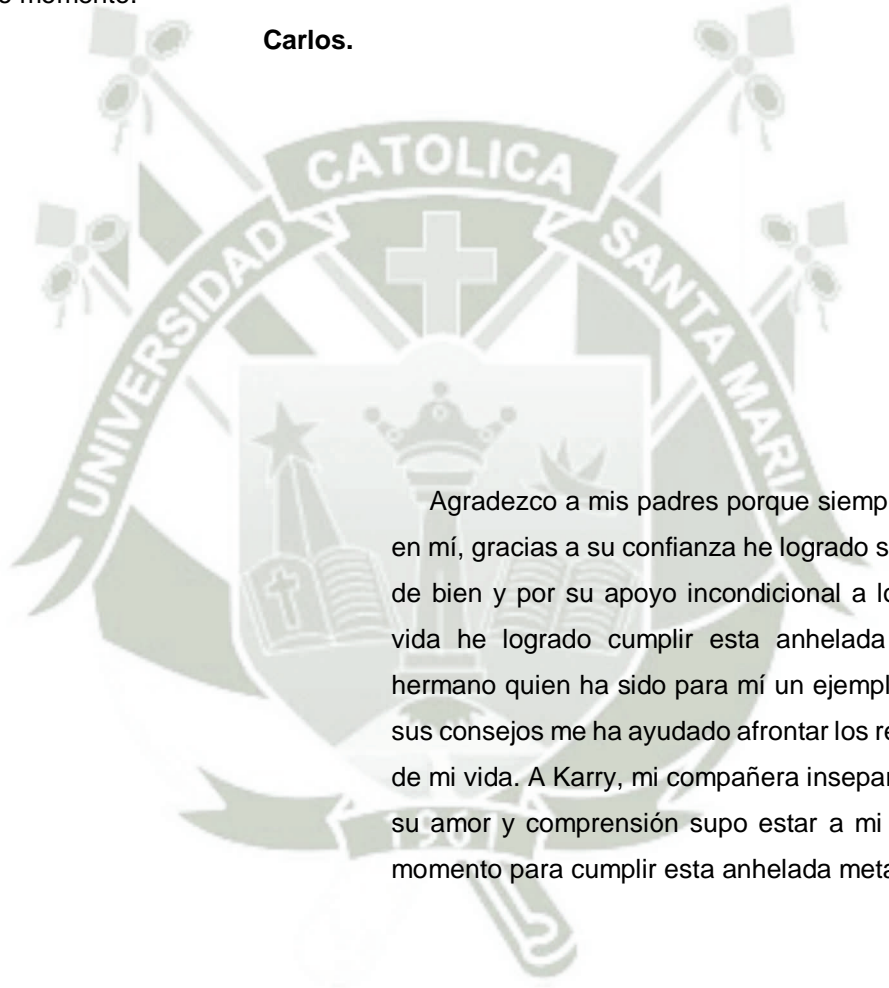
SECRETARIO

VOCAL

TITULANDO

En primer lugar agradezco a Dios por acompañarme todos los días y ser mi fortaleza. A mis padres por quienes estoy inmensamente agradecido que con su apoyo, amor y sacrificio a lo largo de mi vida supieron inculcarme los mejores valores para ser un hombre de bien. A mi hermana Fiorella por sus enseñanzas, cariño y apoyo en todo momento.

Carlos.



Agradezco a mis padres porque siempre han creído en mí, gracias a su confianza he logrado ser un hombre de bien y por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida he logrado cumplir esta anhelada meta. A mi hermano quien ha sido para mí un ejemplo y gracias a sus consejos me ha ayudado afrontar los retos a lo largo de mi vida. A Karry, mi compañera inseparable que con su amor y comprensión supo estar a mi lado en todo momento para cumplir esta anhelada meta.

Manuel.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla entorno a los ensayo de templabilidad Jominy para un acero de baja y media aleación orientados a validar la construcción de la Máquina para ejecución del ensayo de extremo templado (más conocido como Jominy). El tratamiento térmico del acero se realizará mediante la técnica de templabilidad según Norma ASTM A 255 "Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel"; el temple se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Mecánica-eléctrica y Mecatrónica de nuestra Universidad en un horno eléctrico de mufla a una temperatura de austenización de 925 °C, una vez alcanzada la temperatura de austenización la probeta permanecerá en el horno 30 minutos, después se enfriará a chorro de agua a una temperatura de 19°C durante 10 minutos obteniendo las curvas de templabilidad, de temperatura y velocidad de enfriamiento. Se realizará la prueba de metalografía para visualizar y comparar la microestructura obtenida. Los resultados serán comparados para ser correlacionados.



RESUMEN

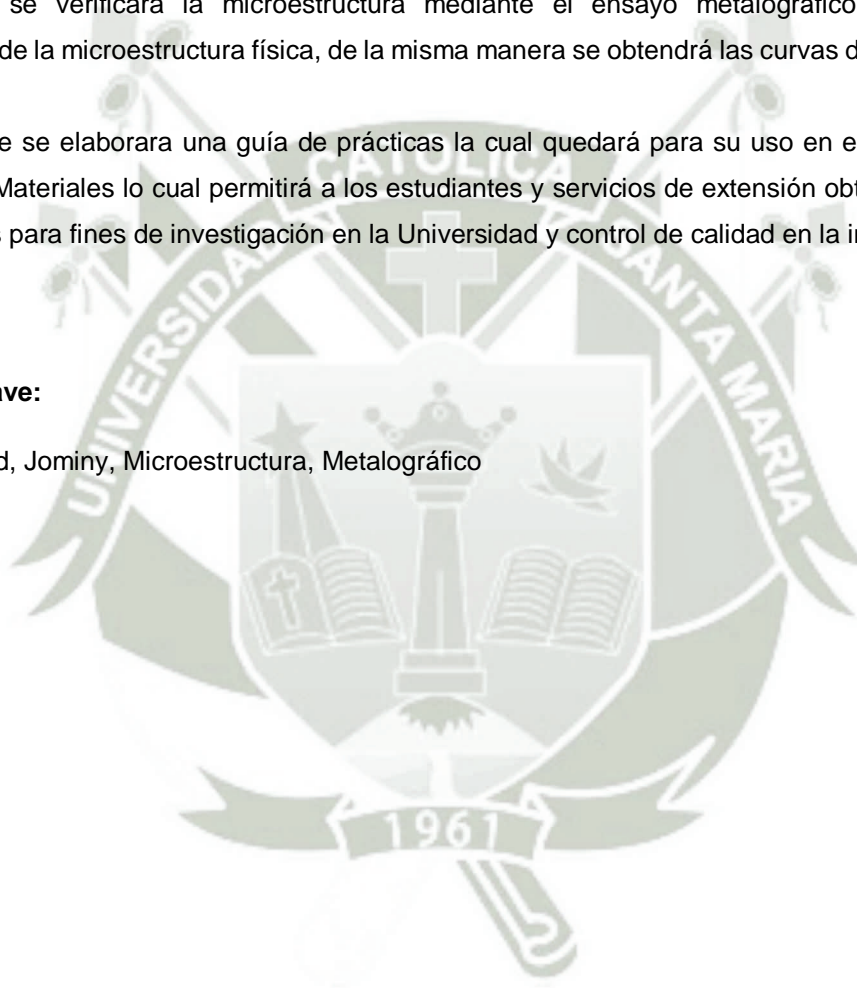
En una primera parte en el presente trabajo se propone el diseño normalizado y construcción de una máquina de ensayo de Jominy con los dispositivos y accesorios auxiliares que en conjunto permitirán la ejecución de ensayos de templabilidad de aceros aleados. Tanto para el diseño y construcción se va a emplear en forma estricta las dimensiones y características constructivas contenidas en la Norma ASTM A255.

Se estudiará los resultados de un ensayo de templabilidad Jominy para un acero de media y baja aleación, orientados a validar la construcción de la Máquina; se realizara la comparación de durezas obtenidas y se verificara la microestructura mediante el ensayo metalográfico obteniendo la composición de la microestructura física, de la misma manera se obtendrá las curvas de templabilidad.

Finalmente se elaborara una guía de prácticas la cual quedará para su uso en el Laboratorio de Ensayos de Materiales lo cual permitirá a los estudiantes y servicios de extensión obtener resultados normalizados para fines de investigación en la Universidad y control de calidad en la industria.

Palabras Clave:

Templabilidad, Jominy, Microestructura, Metalográfico



ABSTRACT

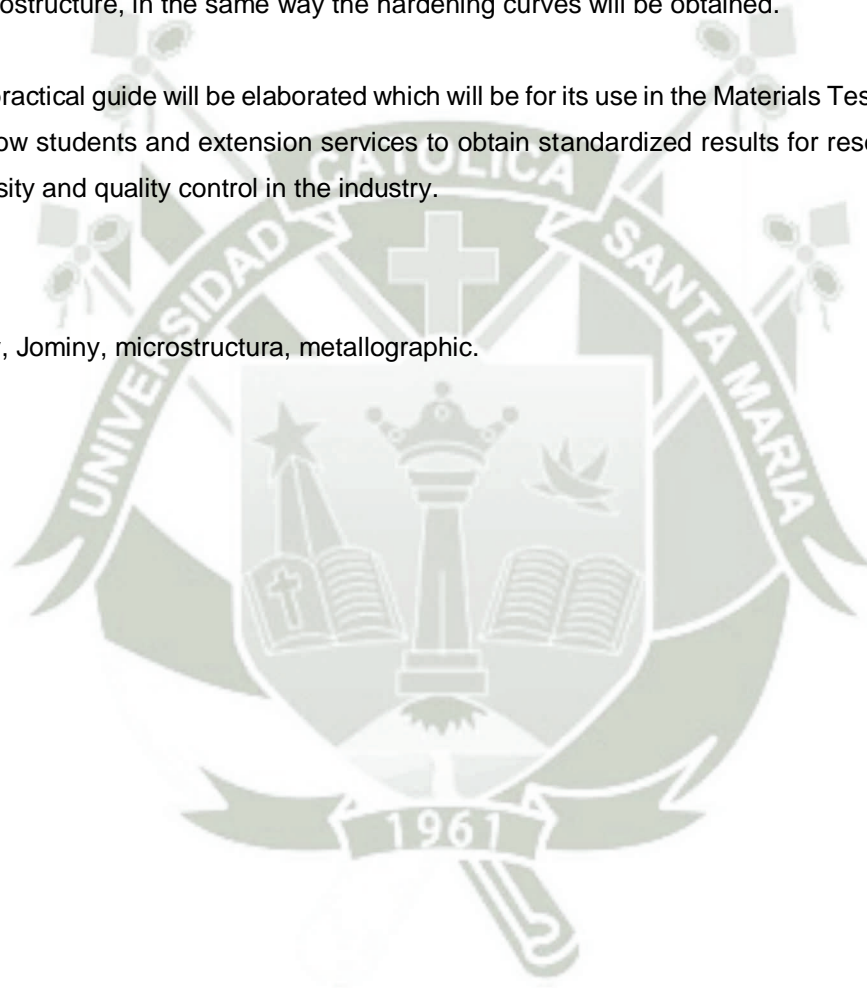
In the first part of this paper, the standardized design and construction of a Jominy test machine with the auxiliary devices and accessories that together will allow the execution of hardenability tests of alloyed steels is proposed. For both design and construction, the dimensions and construction characteristics contained in the ASTM A255 Standard will be strictly used.

We will study the results of a Jominy hardenability test for a medium and low alloy steel, aimed at validating the construction of the machine; the comparison of obtained hardnesses will be carried out and the microstructure will be verified by the metallographic test obtaining the composition of the physical microstructure, in the same way the hardening curves will be obtained.

Finally a practical guide will be elaborated which will be for its use in the Materials Testing Laboratory which will allow students and extension services to obtain standardized results for research purposes in the University and quality control in the industry.

Key Words:

Hardenability, Jominy, microestructura, metallográfica.



Contenido

INTRODUCCIÓN	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
LISTA DE SÍMBOLOS.....	13
Capítulo 1 – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1.1 HIPÓTESIS	16
1.1.2 Variables Independientes.....	16
1.1.3 Variables Dependientes.....	16
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Principal.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 ALCANCES	17
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	17
2. Capítulo 2 - MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Tratamiento Térmico	18
2.1.1 Definición	18
2.1.2 Procedimiento	19
2.2 Diagrama TTT (Tiempo – Temperatura – Transformación)	23
2.2.1 Transformación de la martensita.....	23
2.3 Ensayo Jominy.....	24
2.3.1 Definición	24
2.3.2 Procedimiento	25
2.3.3 Descripción De Partes	28
2.4 Tratamiento Térmico De Los Aceros.....	31
2.4.1 Parámetros Del Tratamiento Térmico.....	31
.....	32
2.4.2 Principales Tratamientos Térmicos.....	32
2.5 Definición De Temple.....	32
2.5.1 Objetivo Del Temple.....	33
2.5.2 Factores Del Temple.....	34
2.6 Transformación De La Martensita.....	37
2.6.1 Características de la Martensita	38

2.7	Fases Del Temple	38
2.7.1	Calentamiento	38
2.7.2	Enfriamiento	39
2.8	Definición De Templabilidad	39
2.8.1	Generalidades De La Templabilidad.....	40
2.8.2	Determinación De La Templabilidad.....	40
2.8.3	Factores Que Influyen Sobre La Templabilidad De Los Aceros	46
3.	Capítulo 3 – DISEÑO DE LA MAQUINA	51
3.1	Parámetros de diseño de modulo	51
3.2	Diseño de tanque porta probetas.....	52
3.2.1	Parámetros de diseño.....	52
3.2.2	Calculo de volumen de agua	53
3.2.3	Cálculo de espesor de anillo	53
3.2.4	Calculo de soldadura	54
3.3	Diseño de tanque de alimentación	56
3.3.1	Parámetros de diseño.....	56
3.3.2	Calculo de volumen de agua	57
3.3.3	Cálculo de espesor de anillo	57
3.3.4	Calculo de soldadura	58
3.4	Diseño de tanque de enfriamiento y estructura.....	60
3.4.1	Parámetros de diseño.....	60
3.4.2	Calculo de volumen de agua	61
3.4.3	Cálculo de espesor de anillo	62
3.4.4	Calculo de soldadura	62
3.5	Cálculo y selección del sistema hidráulico	63
3.5.1	Cálculo de velocidad de salida en el sistema	63
3.5.2	Calculo de caudal en el sistema hidráulico.....	65
3.5.3	Selección de tubería del sistema	66
3.5.4	Calculo de tobera de reducción.....	66
3.5.5	Elementos del sistema hidráulico.....	68
3.5.6	Calculo de pérdidas de energía en el sistema hidráulico	72
3.5.7	Calculo de la carga total sobre la bomba	86
3.5.8	Potencia suministrada a la bomba	87
3.5.9	Presión critica en la salida de la bomba.....	88
3.5.10	Calculo de NPSH.....	89

3.5.11	Curva del sistema.....	91
3.5.12	Curva de Bomba.....	93
3.5.13	Punto de Operación	94
4.	Capítulo 4 – Construcción y validación experimental de la maquina	95
4.1	Ensamblaje y pruebas de funcionamiento.....	95
4.2	Ensamblaje del sistema hidráulico	95
4.2.1	Línea de succión de 1”.....	95
4.2.2	Línea de descarga de 1”	96
4.2.3	Línea de descarga de 3/4”	96
4.2.4	Línea de descarga de 1/2”	97
4.2.5	Línea de drenaje de 1/2”	97
4.2.6	Ensamble general del sistema hidráulico.....	98
4.3	Pruebas de funcionamiento	99
4.4	Procedimiento experimental	100
4.4.1	Maquinado de acero SAE 1020 y 1045.....	100
4.4.2	Ensayo de Jominy SAE 1020 y 1045	102
4.5	Análisis de resultados	121
4.6	Propuesta de prácticas de laboratorio	121
4.7	Manual de usuario y mantenimiento de la máquina	121
4.7.1	Advertencias de seguridad.....	122
4.7.2	Componentes del módulo de ensayo de Jominy	122
4.7.3	Especificaciones técnicas del equipo	123
4.7.4	Operación del equipo.....	124
4.7.5	Fallas frecuentes del equipo	124
5.	Capítulo 5 - ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	125
6.	Capítulo 6 - CONCLUSIONES	127
7.	Capítulo 7 - RECOMENDACIONES	127
8.	Capítulo 8 - PLANOS.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

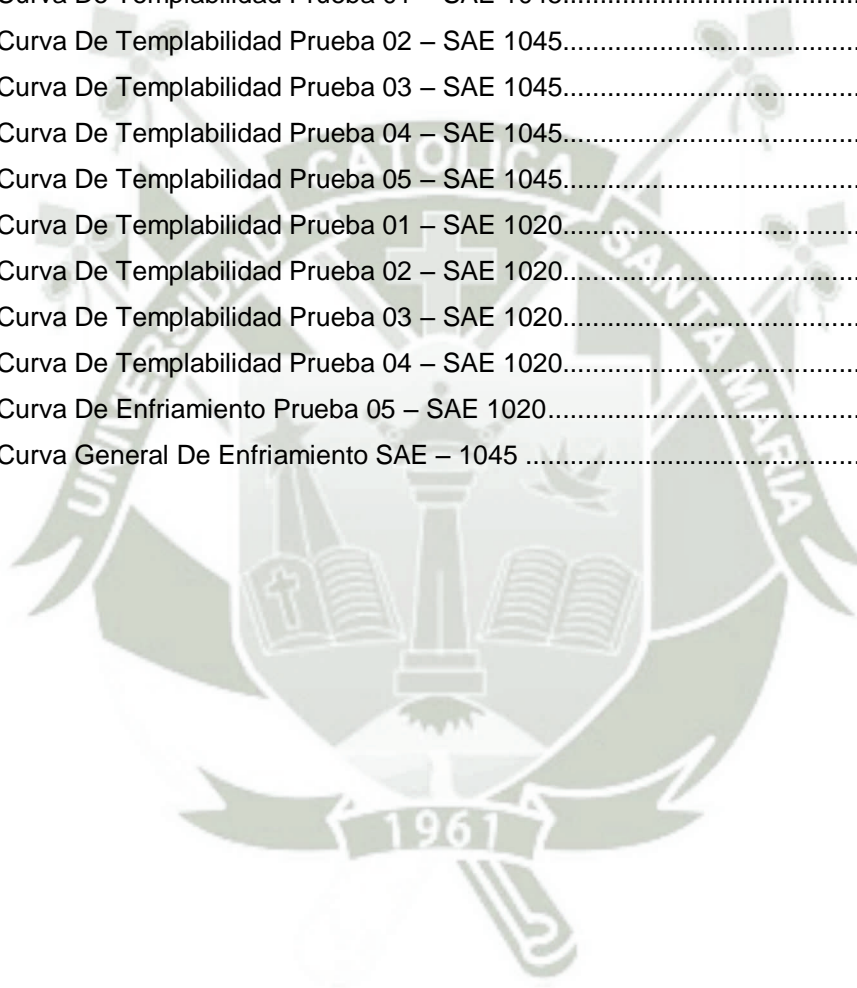
TABLA 1: Componentes Del Módulo Jominy	51
TABLA 2: Componentes Tanque Porta Probetas	52
TABLA 3: Componentes Tanque De Alimentación	57
TABLA 4: Componentes Tanque De Enfriamiento.....	60
TABLA 5: Componentes Estructura De Enfriamiento	61
TABLA 6: Componentes De La Línea De Alimentación 1”	69
TABLA 7: Componentes Línea De Descarga 1”	69
TABLA 8: Componentes Línea De Descarga 3/4 “	70
TABLA 9: Componentes Línea De Descarga 1/2”	71
TABLA 10: Componentes Línea De Descarga 1/2”	72
TABLA 11: Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial, nueva y limpia	73
TABLA 12: Longitud Equivalente En Diámetros De Tubería.....	76
TABLA 13: Valores De Rugosidad.....	83
TABLA 14: presión De Vapor y Carga De Presión De Vapor De Agua.....	90
TABLA 15: Curva Del Sistema	92
TABLA 16: Curva De La Bomba	93
TABLA 17: Lista De Partes Línea Succión 1”	96
TABLA 18: Lista De Partes Línea De Descarga 1”	96
TABLA 19: Lista De Partes Línea Descarga 3/4”	96
TABLA 20: Lista De Partes línea Descarga 1/2”	97
TABLA 21: Lista De Partes Línea Drenaje 1/2”	97
TABLA 22: Datos De Templabilidad Prueba 01 – SAE 1045	111
TABLA 23: Datos De Templabilidad Prueba 02 – SAE 1045	112
TABLA 24: Datos De Templabilidad Prueba 03 – SAE 1045	113
TABLA 25: Datos De Templabilidad Prueba 04 – SAE 1045	114
TABLA 26: Datos De Templabilidad Prueba 05 – SAE 1045	115
TABLA 27: Datos De Templabilidad Prueba 01 – SAE 1020	116
TABLA 28: Datos De Templabilidad Prueba 02 – SAE 1020	117
TABLA 29: Datos De Templabilidad Prueba 03 – SAE 1020	118
TABLA 30: Datos De Templabilidad Prueba 04 – SAE 1020	119
TABLA 31: Datos De Templabilidad Prueba 05 – SAE 1020	120
TABLA 32: Componentes Del Módulo Jominy	123
TABLA 33: Especificaciones Técnicas Modulo Jominy.....	123
TABLA 34: Fallas Frecuentes Del Módulo Jominy	124
TABLA 35: Datos Generales De Templabilidad – SAE 1045	125

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Proceso de tratamiento térmico.....	18
FIGURA 2: Proceso de templado.....	20
FIGURA 3: Proceso de revenido.....	21
FIGURA 4: Proceso de normalizado.....	21
FIGURA 5: Proceso de recocido.....	22
FIGURA 6: Procedimiento General Del Tratamiento Térmico.....	22
FIGURA 7: Diagrama De Transformaciones Isotérmicas	23
FIGURA 8: Transformación de la martensita	24
FIGURA 9: Ensayo de Jominy	25
FIGURA 10: Dimensiones de Probeta Jominy	25
FIGURA 11: Enfriamiento de Probeta Jominy.....	26
FIGURA 12: Maquinado de Probetas Jominy	27
FIGURA 13: Curva de Dureza de Ensayo Jominy	28
FIGURA 14: Probeta Para Ensayo Jominy	28
FIGURA 15: Horno Eléctrico.....	29
FIGURA 16: Maquina Pulidora de Superficies.....	29
FIGURA 17: Modulo de Ensayo de Jominy.....	30
FIGURA 18: Maquina de Dureza Rockwell C	30
FIGURA 19: Diagrama Hierro-Carbono (Fe-C) de los aceros.....	32
FIGURA 20: Martensita.....	33
FIGURA 21: Temperatura de temple de Aceros al Carbono.....	35
FIGURA 22: Calentamiento del Templado.....	35
FIGURA 23: Curva Típica De Enfriamiento Para Un Cilindro Pequeño de Acero Templado.....	36
FIGURA 24: Diagrama Tiempo – Temperatura – Transformación (TTT) de un acero al carbono	37
FIGURA 25: Probeta Para Determinación De La Templabilidad.....	41
FIGURA 26: Determinación De La Templabilidad Por Examen De La Fractura De Probetas Templadas. Las Áreas Centrales De Grano Gruesa Indican Que No Han Sido Templados. El Acero “A” Es De Baja Templabilidad, El “B” De Media, El “C” Es De Alta Templabilidad.....	42
FIGURA 27: Probetas templadas, seccionadas atacadas con reactivo ácido	43
FIGURA 28: Variación De La Dureza Según Un Diámetro De Un Acero De Forma Circular De 70mm Templado-Templado En Agua-Templado En Aceite (Acero-Semiduro).....	44
FIGURA 29: Curvas “U” de dos barras de diámetro 19 y 25 mm, de acero 0.45%C templado en agua.....	45
FIGURA 30: Bandas de templabilidad de los aceros. 1) $C=0.17-0.24, Mn=1.5-2, Si=0.20-0.35$ 2) $C=0.27-0.34, Mn=1.5-2, Si=0.20-0.35$	46
FIGURA 31: Efecto del contenido de carbono sobre las curvas de Jominy. Acero: $C=0.45\%$; $Mn=0.7\%$; $Ni=1.8\%$; $Mo=0.5\%$	47

FIGURA 32: Amplitud a temple de un acero e influencia ejercida sobre ella por la dimensión del grano austenítico (Bain y Daven port).....	48
FIGURA 33: Influencia de la masa en la templabilidad V1: Velocidad del núcleo, V2: Velocidad periférica.	49
FIGURA 34: Partes De Modulo Jominy	51
FIGURA 35: Tanque Porta Probetas	52
FIGURA 36: Soldadura	54
FIGURA 37: Tanque De Alimentación	57
FIGURA 38: Tanque De Enfriamiento.....	60
FIGURA 39: Estructura De Tanque De Enfriamiento	61
FIGURA 40: Sistema Hidráulico Modulo De Jominy	63
FIGURA 41: Altura De Chorro.....	64
FIGURA 42: Tobera De Chorro.....	67
FIGURA 43: Sistema Hidráulico.....	68
FIGURA 44: Línea De Alimentación 1”	68
FIGURA 45: Línea De Descarga 1”	69
FIGURA 46: Línea De Descarga 3/4 “	70
FIGURA 47: Línea De Descarga 1/2 “	71
FIGURA 48: Línea De Drenaje 1/2 “	72
FIGURA 49: Coeficientes De Resistencia Para Válvulas Y Acoplamientos	74
FIGURA 50: Codos De Tubería	75
FIGURA 51: Factor De Resistencia Bushing.	78
FIGURA 52: Nivel De Agua Punto A - B.	87
FIGURA 53: Nivel De Agua Punto B – C	88
FIGURA 54: Curva Del Sistema.....	93
FIGURA 55: Curva De Bomba	94
FIGURA 56: Curva De Bomba VS Curva De Sistema	94
FIGURA 57: Modulo De Jominy.....	95
FIGURA 58: Ensamble General Del Sistema Hidráulico.....	98
FIGURA 59: Pruebas De Funcionamiento	99
FIGURA 60: Dimensiones Probeta Jominy	100
FIGURA 61: Maquinado De Probetas Jominy.....	100
FIGURA 62: Torneado De Probetas Jominy	101
FIGURA 63: Probetas De Acero Torneada	101
FIGURA 64: Probeta De Acero Torneada – acabado	102
FIGURA 65: EPPs Para Ensayo De Jominy	103
FIGURA 66: Horno Eléctrico En Funcionamiento	103
FIGURA 67: Retiro de Probeta Jominy – Horno Eléctrico.....	104
FIGURA 68: Ingreso de Probeta Jominy A Modulo.....	104
FIGURA 69: Inicio De Ensayo Jominy	105

FIGURA 70: Enfriamiento De Probeta Jominy	105
FIGURA 71: Enfriamiento De Probeta Jominy Etapa - Media.....	106
FIGURA 72: Enfriamiento De Probeta Jominy Etapa – Final.....	106
FIGURA 73: Retiro De Probeta Jominy	107
FIGURA 74: Maquinado De Probetas Jominy – Fresado	108
FIGURA 75: Probetas Maquinadas – Fresado.....	108
FIGURA 76: Pulido De Probetas Jominy	109
FIGURA 77: Pulido de Probetas Jominy En Maquina De Pulido	109
FIGURA 78: Probetas De Jominy Pulidas.....	110
FIGURA 79: Pulido Final Con Lumina	110
FIGURA 80: Curva De Templabilidad Prueba 01 – SAE 1045.....	111
FIGURA 81: Curva De Templabilidad Prueba 02 – SAE 1045.....	112
FIGURA 82: Curva De Templabilidad Prueba 03 – SAE 1045.....	113
FIGURA 83: Curva De Templabilidad Prueba 04 – SAE 1045.....	114
FIGURA 84: Curva De Templabilidad Prueba 05 – SAE 1045.....	115
FIGURA 85: Curva De Templabilidad Prueba 01 – SAE 1020.....	116
FIGURA 86: Curva De Templabilidad Prueba 02 – SAE 1020.....	117
FIGURA 87: Curva De Templabilidad Prueba 03 – SAE 1020.....	118
FIGURA 88: Curva De Templabilidad Prueba 04 – SAE 1020.....	119
FIGURA 89: Curva De Enfriamiento Prueba 05 – SAE 1020.....	120
FIGURA 90: Curva General De Enfriamiento SAE – 1045	126



LISTA DE SÍMBOLOS

θ	: Abertura del cono.
H_s	: Altura de Sistema
H	: Altura de Tanque
H_A	: Altura de Tanque de Alimentación
H_E	: Altura de Tanque de Enfriamiento
Z_A	: Altura del punto A desde un punto referencial.
Z_B	: Altura del punto B desde un punto referencial.
A	: Área
h_{vp}	: Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo
h_{sp}	: Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento
$NPSH_A$	: Carga de Succión Neta Requerida
$NPSH_R$	: Carga de Succión Neta Requerida Máxima Permisible
h_A	: Carga del fluido a la bomba
Q	: Caudal
K	: Coeficiente de resistencia
$K_{accesorios}$	: Coeficiente de Resistencia de Accesorios
$K_{tuberias}$	: Coeficiente de Resistencia de Tuberías
ρ	: Densidad del fluido.
D	: Diámetro
d_{tobera}	: Diámetro de Salida de Tobera
d	: Diámetro de salida del fluido
D_A	: Diámetro de Tanque de Alimentación
D_E	: Diámetro de Tanque de Enfriamiento
D_{tobera}	: Diámetro Interior de Tobera
ΔZ	: Diferencia de Altura
h_s	: Diferencia de elevación de fluido desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba
σ	: Esfuerzo Normal
σ_{per}	: Esfuerzo Permisible
σ_{real}	: Esfuerzo Real
e	: Espesor de Anillo
f	: Factor de fricción
f_t	: Factor de fricción flujo turbulento
F_f	: Fuerza Ejercida por el Fluido sobre el Fondo del Cilindro
k	: Grado de conicidad de la boquilla
g	: Gravedad
L_b	: Longitud de la boquilla (25.4mm)
l	: Longitud de la Soldadura.
L	: Longitud de la tubería

$\frac{L_e}{D}$	: Longitud equivalente en diámetros de tubería
h	: Medida de la Garganta o Espesor del Material.
N_R	: Número de Reynolds
h_f	: Pérdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores
hl_{total}	: Pérdida Total de Energía
hl_m	: Pérdidas Mayores
$hl_{m\text{alimentacion}}$	: Pérdidas Mayores de Alimentación
$hl_{m\text{descarga}}$	: Pérdidas Mayores de Descarga
hl	: Pérdidas Menores
$hl_{descarga}$	: Pérdidas Menores en Línea de Descarga
$hl_{succion}$	: Pérdidas Menores en Línea de Succión
γ	: Peso Específico de Fluido
P	: Potencia de Bomba
$P_{atmosferica}$	: Presión atmosférica
P_C	: Presión Crítica en Salida de Bomba
P_A	: Presión en el punto A.
P_B	: Presión en el punto B.
P	: Presión en la Base del Recipiente
$P_{absoluta}$	: Presión estática (absoluta)
P_{sp}	: Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.
$P_{manometrica}$	: Presión manométrica
r	: Radio de Tanque
S_y	: Resistencia a la Fluencia
S_U	: Resistencia a la Tensión
ϵ	: Rugosidad relativa tubería hierro galvanizado
τ	: Tensión
F_a	: Tensión o Fuerza Ejercida en el Anillo
P_a	: Tensión o Fuerza Ejercida en el Anillo
τ_{per}	: Tensión Permisible
τ_{real}	: Tensión Real
V_A	: Velocidad del fluido en el punto A.
V_B	: Velocidad del fluido en el punto B.
ϑ	: Velocidad promedio del flujo.
η	: Viscosidad del Fluido
V	: Volumen de Tanque

Capítulo 1 – PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Constantemente los seres humanos buscan nuevos métodos que faciliten el proceso de enseñanza-aprendizaje. Desde el punto de vista de los estudiantes de las carreras de ingeniería, no solamente necesitan tener conocimientos teóricos, sino también complementarlos con la enseñanza práctica, permitiéndole tener una aplicación más real de sus conocimientos.

La Escuela de Ingeniería Mecánica, Mecánica-eléctrica y Mecatrónica, de la Universidad Católica de Santa María, busca siempre implementar equipos, máquinas e instrumentos de laboratorio para la asignatura de Materiales de Fabricación I y II; por ende se plantea la construcción de una máquina de Ensayo Jominy de templabilidad, la cual permitirá que se realicen prácticas aplicando los conocimientos teóricos aprendidos, produciendo un efectivo desempeño en el campo laboral.

La implementación de la máquina para ensayo Jominy propuesto anteriormente permitirá realizar ensayos y prácticas de tratamientos térmicos, específicamente el de templabilidad de aceros, temas que se abordan en la asignatura de Materiales de Fabricación I.

El propósito del uso de la máquina propuesta pretende dar un mayor enfoque al campo Ciencia e Ingeniería de los Materiales, desarrollando ensayos y prácticas de forma más didáctica, al observar los cambios de estructura de la probeta en la templabilidad de los aceros y posteriormente caracterizando sus propiedades mecánicas, fundamentalmente su dureza y su resistencia al impacto, ya que las piezas empleadas en el campo de la Ingeniería Mecánica para fabricar mecanismos, aparatos, máquinas o herramientas así lo requieren.

1.1.1 HIPÓTESIS

Mediante el diseño y construcción de la máquina de ensayo de Jominy se lograra reforzar el estudio de la templabilidad de los diferentes materiales para la predicción del perfil de dureza en probetas de aceros de medio y bajo carbono estos resultados serán contrastados con los resultados a obtener del módulo a implementar de Ensayo de Jominy.

1.1.2 Variables Independientes

En el laboratorio de materiales de la Universidad Católica de Santa María actualmente no se realizan prácticas de laboratorio para el refuerzo del estudio de la templabilidad en los diferentes materiales, carece de un sistema que permita caracterizar la dureza en distintas zonas de una probeta.

1.1.3 Variables Dependientes

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, Mecánica – Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María no tienen un conocimiento práctico del estudio de la templabilidad en los diferentes materiales.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

- Definir la curva de dureza de un acero de media y baja aleación mediante el módulo de ensayo de Jominy comparando los resultados con curvas características de cada tipo de acero.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseño del Módulo de Ensayo de Jominy bajo la Norma ASTM A255
- Fabricación de módulo de Ensayo de Jominy.
- Elaborar planos del módulo de ensayo de Jominy
- Evaluar la dureza y microscopia de probetas de acero de baja y medio contenido de carbono.
- Elaborar una Guía de Prácticas para el Laboratorio de Materiales.
- Presentación formal y documentada del proyecto de tesis.

1.3 ALCANCES

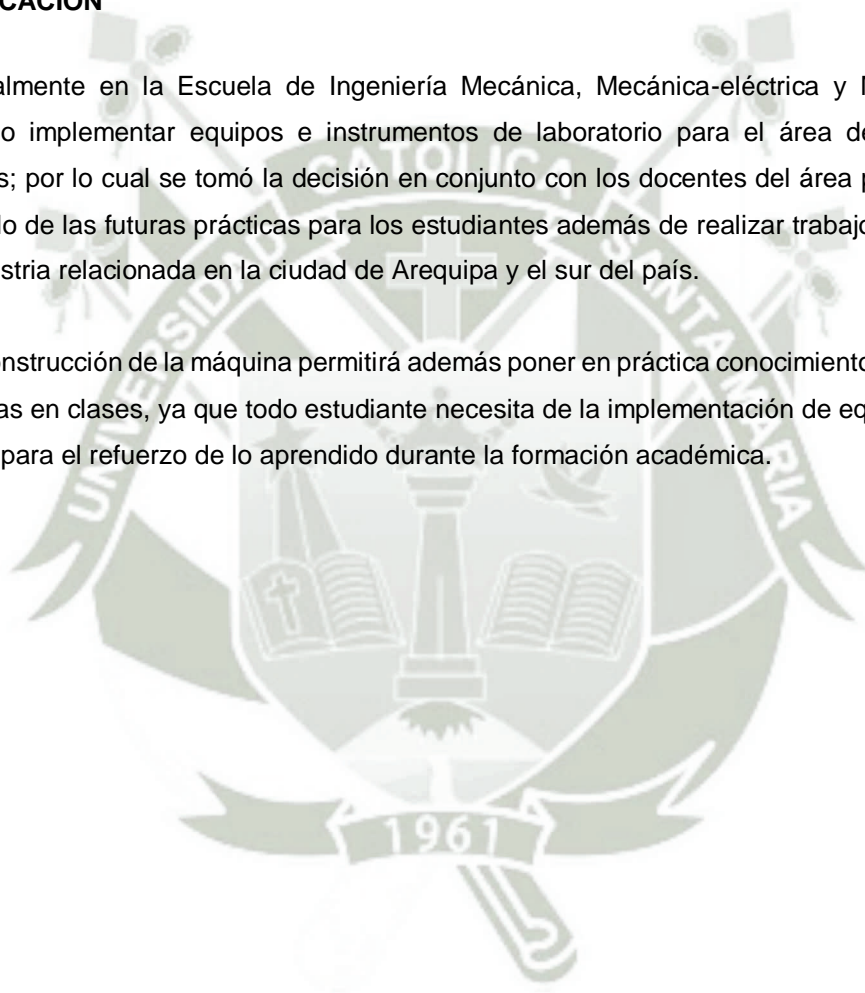
El presente proyecto contempla el diseño e implementación del módulo para Ensayo de Jominy para la predicción del perfil de dureza.

Por lo tanto, el proyecto comprende el diseño, implementación, ejecución de experimentos e interpretación resultados de la dureza y microscopia de aceros de medio y bajo contenido de carbono.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Actualmente en la Escuela de Ingeniería Mecánica, Mecánica-eléctrica y Mecatrónica es necesario implementar equipos e instrumentos de laboratorio para el área de Tratamientos Térmicos; por lo cual se tomó la decisión en conjunto con los docentes del área pensando en el desarrollo de las futuras prácticas para los estudiantes además de realizar trabajos de extensión a la industria relacionada en la ciudad de Arequipa y el sur del país.

La construcción de la máquina permitirá además poner en práctica conocimientos y habilidades adquiridas en clases, ya que todo estudiante necesita de la implementación de equipos y estudio práctico para el refuerzo de lo aprendido durante la formación académica.



2. Capítulo 2 - MARCO TEÓRICO

2.1 Tratamiento Térmico

2.1.1 Definición

Los tratamientos térmicos describen un proceso en el cual existen operaciones de calentamientos y enfriamiento bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo, velocidad, presión de los metales, en los tratamientos térmicos se somete intencionalmente a una secuencia específica de tiempo - temperatura. El objetivo del tratamiento térmico es mejorar las propiedades de los metales y aleaciones requeridas para procesos de transformación posteriores o para su aplicación final.

Según la siguiente figura el tratamiento térmico consiste en:

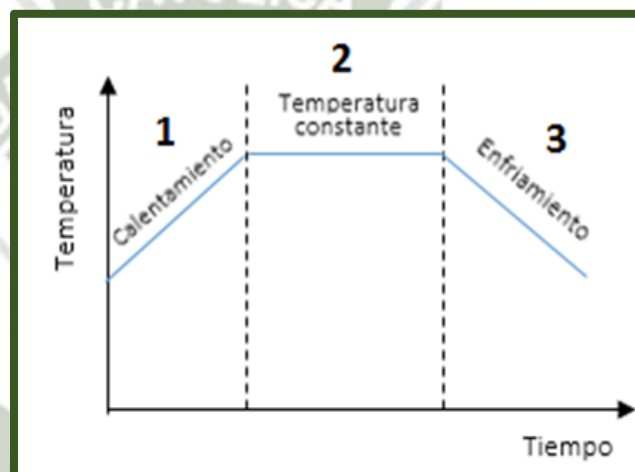


FIGURA 1: PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO

Fuente : Propia

1. El calentamiento del metal o aleación hasta una temperatura determinada.
2. La permanencia del metal o aleación a dicha temperatura.
3. El enfriamiento del metal o aleación hasta una temperatura ambiente.

El tratamiento térmico puede provocar cambios en la estructura de los metales sin modificar su composición química o puede causar cambios en el tamaño, forma o distribución de los componentes estructurales sin cambiar el tipo de constituyente mejorando las propiedades requeridas para la aplicación de los metales.

Para obtener los cambios en la estructura de los metales o aleaciones se requieren las siguientes etapas de los tratamientos térmicos:

- Recocido
- Templado
- Normalizado
- revenido

2.1.2 Procedimiento

2.1.2.1 Procedimiento General de Tratamiento Térmico

Todo proceso de los tratamientos térmicos consta de calentamiento, precalentamiento, calentamiento superficial, calentamiento a fondo, mantenimiento, enfriamiento, y el tiempo de exposición.

- a) Calentamiento: Cambio de temperatura de la pieza (aumento de temperatura)
- b) Precalentamiento: Es el calentamiento en una o múltiples etapas por debajo de la temperatura determinada, tiene como objetivo reducir las tensiones de fisuras ocasionadas por tensiones térmicas en el material.
- c) Calentamiento superficial: calentamiento de la zona superficial del material para obtener una temperatura determinada.
- d) Calentamiento a Fondo: Calentamiento del material con la misma temperatura en toda su estructura.
- e) Mantenimiento: Consiste en mantener una determinada temperatura en el material por un tiempo determinado.
- f) Enfriamiento: Se disminuye la temperatura del material en un determinado ambiente, el enfriamiento depende de la estructura y las propiedades que se quiere lograr.
- g) El tiempo de exposición: Es el período de tiempo transcurrido desde que el material es sometido a altas temperaturas el horno hasta que es enfriado, comprende el tiempo de calentamiento a fondo y el mantenimiento de la pieza.

El proceso de calentamiento térmico se puede apreciar en la figura 1.

2.1.2.2 Procedimiento Particulares del Tratamiento Térmico

Las transformaciones que se generan en los tratamientos térmicos se dividen en las siguientes etapas:

a) **Temple:**

Este tratamiento térmico se utiliza para obtener un tipo de acero de alta dureza llamado martensita, consiste en un calentamiento desde la zona de austenización (por encima de la línea A1), seguido de un enfriamiento rápido o bruscos y continuos en agua, aceite o aire; este tratamiento permite la transformación en martensita, la capacidad del acero para transformarse en martensita depende de la composición química del acero y se denomina templabilidad, el objetivo de este tratamiento es aumentar la dureza y la resistencia de la pieza metálica.

Al realizar el tratamiento térmico de temple el acero resulta volverse frágil y poco dúctil debido a que existen altas tensiones internas.

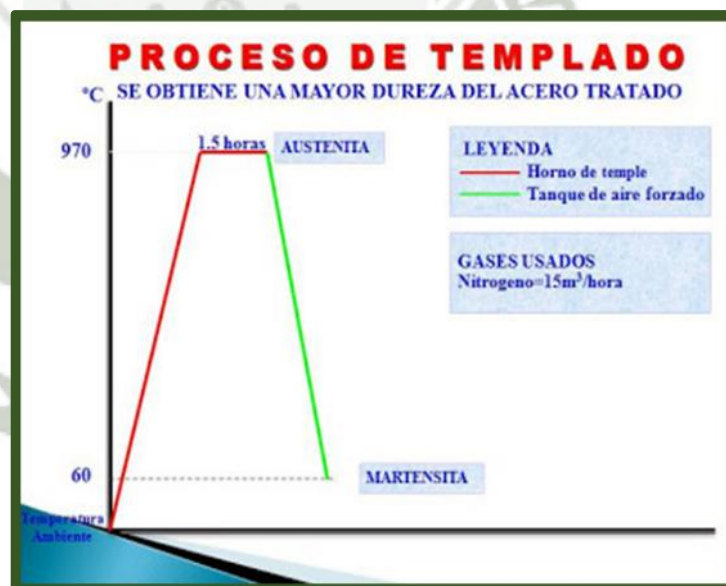


FIGURA 2: PROCESO DE TEMPLADO

Fuente: conocer los materiales

b) **Revenido:**

Conociendo que en el temple el acero se vuelve frágil y poco dúctil debido a que existen altas tensiones internas la siguiente etapa es el revenido el cual tiene como objetivo disminuir la fragilidad y al mismo tiempo prevenir el peligro

de grietas de esta manera se facilita las fabricaciones metálicas, el revenido consiste en calentar la pieza templada hasta una determinada temperatura logrando reducir las tensiones internas del acero martensítico (alta dureza).

Gracias al revenido podemos evitar que el acero sea frágil disminuyendo la dureza.



FIGURA 3: PROCESO DE REVENIDO

Fuente: conocer los materiales

c) Normalizado:

Este tratamiento térmico se practica calentado rápidamente el material hasta una temperatura por encima de A_3 (temperatura crítica) se mantiene en ella durante un determinado tiempo, su estructura interna del acero se vuelve más uniforme corrigiendo defectos de las operaciones anteriores y aumentando la tenacidad.

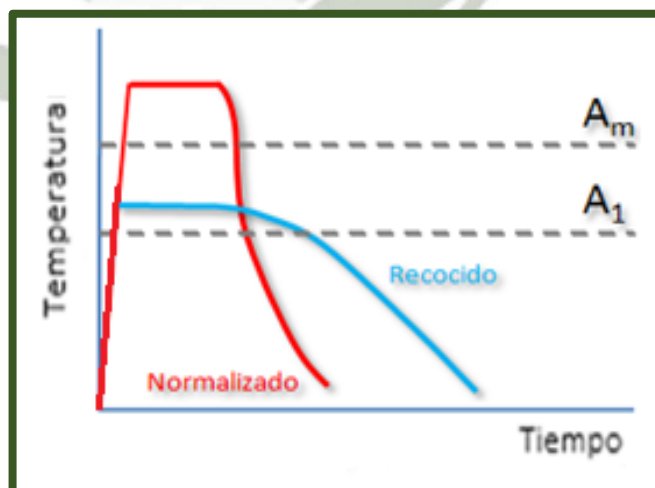


FIGURA 4: PROCESO DE NORMALIZADO

Fuente: <http://gc.initelabs.com/recursos/files/r145r/w1391w/U7liga2.htm>

d) Recocido

Consiste en calentar el acero hasta una temperatura determinada en un periodo de tiempo después de calentar el acero se procede a enfriar lentamente hasta una temperatura ambiente, el recocido se utiliza para eliminar tensiones del temple controlando la velocidad de enfriamiento se puede aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad. La plasticidad que se obtiene en el recocido depende de la velocidad de enfriamiento y la temperatura con la que se calienta el acero.



FIGURA 5: PROCESO DE RECOCIDO

Fuente: conocer los materiales

En la gráfica siguiente se puede apreciar la el comportamiento de los tratamientos térmicos.

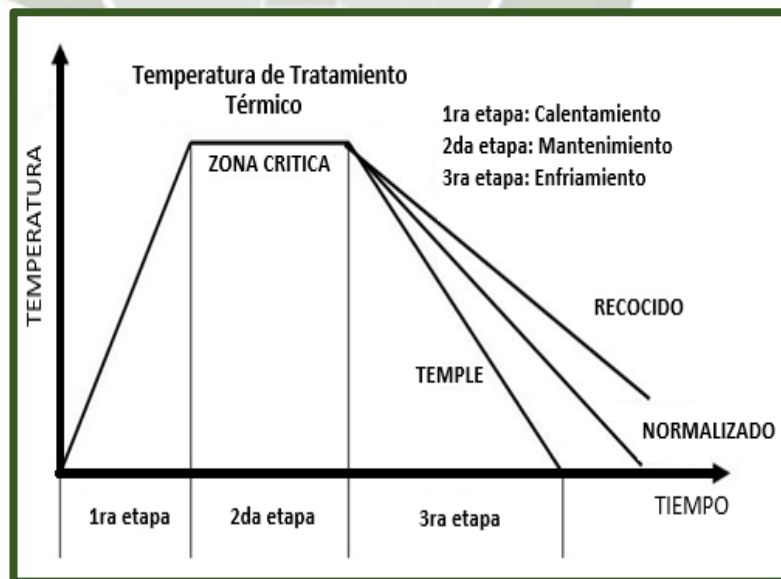


FIGURA 6: PROCEDIMIENTO GENERAL DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Fuente: conocer los materiales

2.2 Diagrama TTT (Tiempo – Temperatura – Transformación)

Es un diagrama fuera del equilibrio termodinámico que corresponde a tiempo, temperatura y transformación (en porcentaje) conocido también como “diagrama de transformaciones isotérmicas”. En la parte horizontal se representan los tiempos, y en la parte vertical las temperaturas, las fases que se forman son meta-estables por este motivo no aparecen en el diagrama de fases. En la figura 7 se muestra el inicio y fin de la transformación mediante la curva en forma de S.

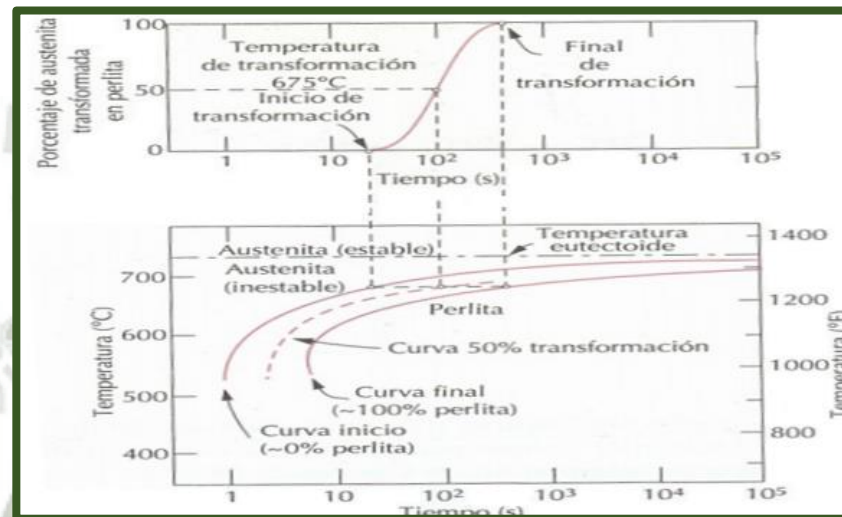


FIGURA 7: DIAGRAMA DE TRANSFORMACIONES ISOTÉRMICAS

Fuente:

<http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/8.2%20Curvas%20TTT.pdf>

2.2.1 Transformación de la martensita

La martensita se obtiene durante el enfriamiento, la transformación depende de la disminución de temperatura o enfriamiento del acero es independiente del tiempo. La forma de la estructura de la martensita son agujas siendo su propiedad fundamental la dureza.

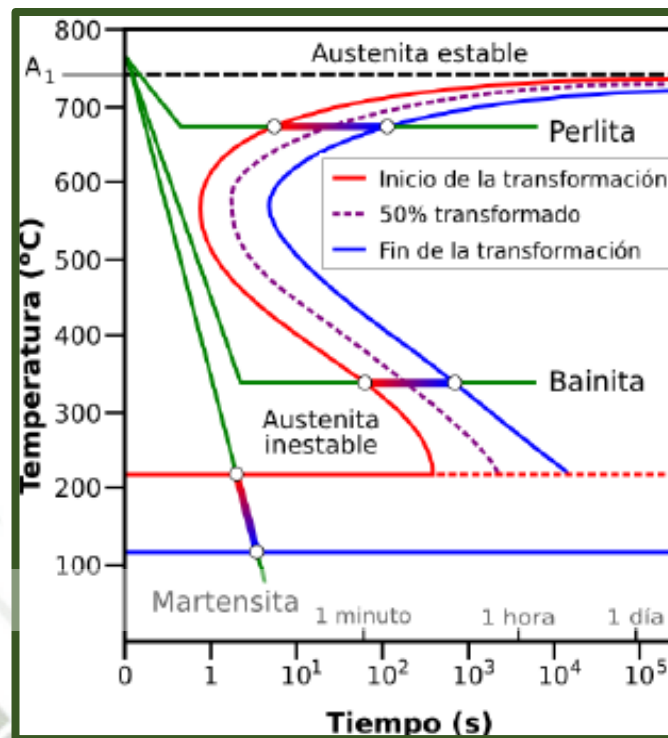


FIGURA 8: TRANSFORMACIÓN DE LA MARTENSITA

Fuente: <http://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/8.2%20Curvas%20TTT.pdf>

2.3 Ensayo Jominy

2.3.1 Definición

El ensayo de Jominy permite determinar la templabilidad de los aceros, consiste en calentar una probeta cilíndrica de las dimensiones determinadas en la figura 10, por medio de un horno la probeta se calienta llegando a una temperatura de 925 °C, por medio de un chorro de agua se enfría la cara inferior la probeta. El ensayo de Jominy desde su aplicación ha adquirido resultados extraordinarios de aceptación por ser un método cómodo y de fácil comprensión para el estudio de las propiedades y el comportamiento de los aceros; además se pueden determinar características como la tensión de rotura, límite elástico y alargamiento.



FIGURA 9: ENSAYO DE JOMINY

Fuente: Propia

2.3.2 Procedimiento

- Verificar que la probeta este en buenas condiciones y tenga las medidas según la norma indicada ASTM A255.

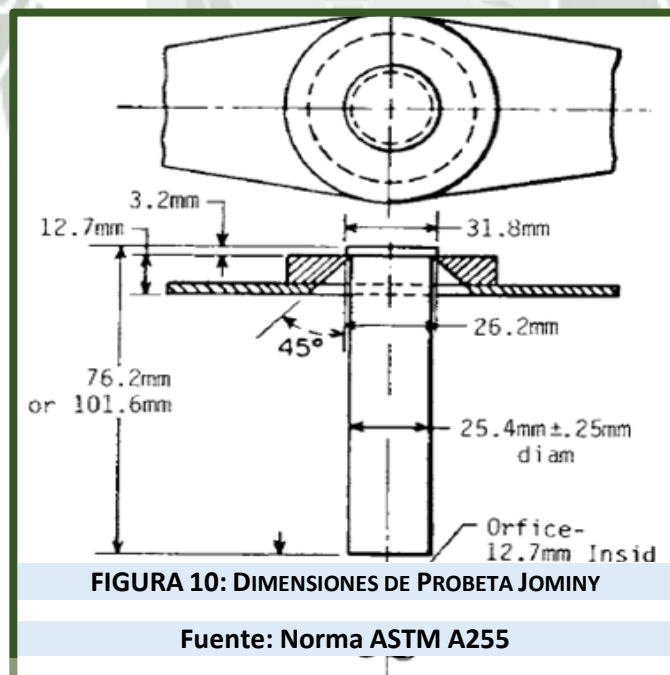
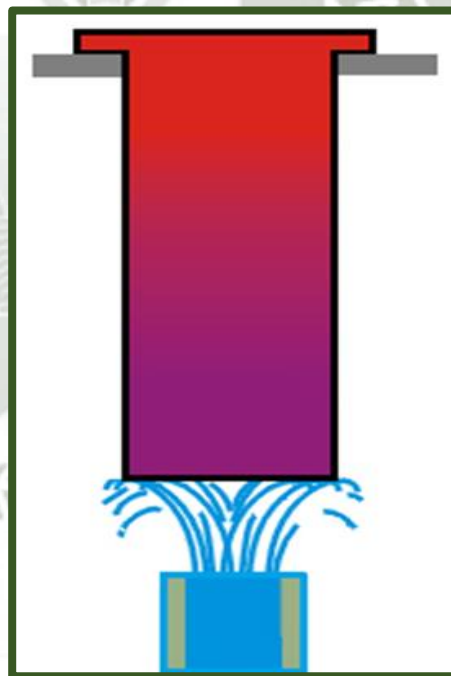


FIGURA 10: DIMENSIONES DE PROBETA JOMINY

Fuente: Norma ASTM A255

- La probeta de acero cuando ya se encuentre mecanizada se debe proteger todo el frente a templar de posibles descarburaciones u oxidaciones en una cubierta o cápsula, la probeta se procede a calentar en el horno de resistencia desde temperatura ambiente hasta los 925 °C, una vez que se alcance la temperatura indicada, el acero permanece a la temperatura de austenización durante 30 minutos dentro del horno.
- Se deberá ajustar la altura del chorro desde la superficie de la tobera a 63.5 mm en el módulo de Jominy. El tiempo entre sacar la probeta del horno y colocar en el módulo no deberá ser mayor a 5 segundos; la probeta caliente a 925 °C se coloca en un soporte de tal forma que una columna de agua a una temperatura ambiente choca contra el extremo inferior de la probeta como se muestra en la figura 11. El agua pasa por un orificio de 12,7 mm de diámetro y alcanza una altura de 63.5 mm aproximadamente.

**FIGURA 11: ENFRIAMIENTO DE PROBETA JOMINY****Fuente: Propia**

- La probeta de acero permanece sobre el soporte del tanque porta probetas bajo la acción del chorro de agua contra la cara inferior de la probeta durante 10 min como se muestra en la figura 11, mientras el tiempo que dure el ensayo es necesario

mantener la condición de aire calmado para no variar el temple de la probeta de acero; transcurrido el tiempo del ensayo de Jominy se puede enfriar completamente en el tanque de enfriamiento sin temor a variar los resultados del ensayo.

- Después de enfriar la probeta en su totalidad, se deberán maquinar 2 superficies planas a 180° con el fin de medir la dureza en las probetas con una profundidad mínima de 0.38mm estos dos planos deben ser paralelos; el esmerilado es necesario realizarlo mediante abundante chorro de agua, para no modificar la estructura, obtenida por el temple del extremo como se muestra en la figura 12.



FIGURA 12: MAQUINADO DE PROBETAS JOMINY

Fuente: Propia

- Ambas superficies serán pulidas gradualmente hasta lograr acabados aptos para los ensayos de dureza, se procederá a medir la dureza Rockwell C previo tratamiento en el durómetro; la probeta de ensayo de Jominy se colocara sobre un bloque en V que tendrá un ángulo de 120° en el equipo de dureza. La curva que genera el ensayo de dureza se muestra en la figura 13.

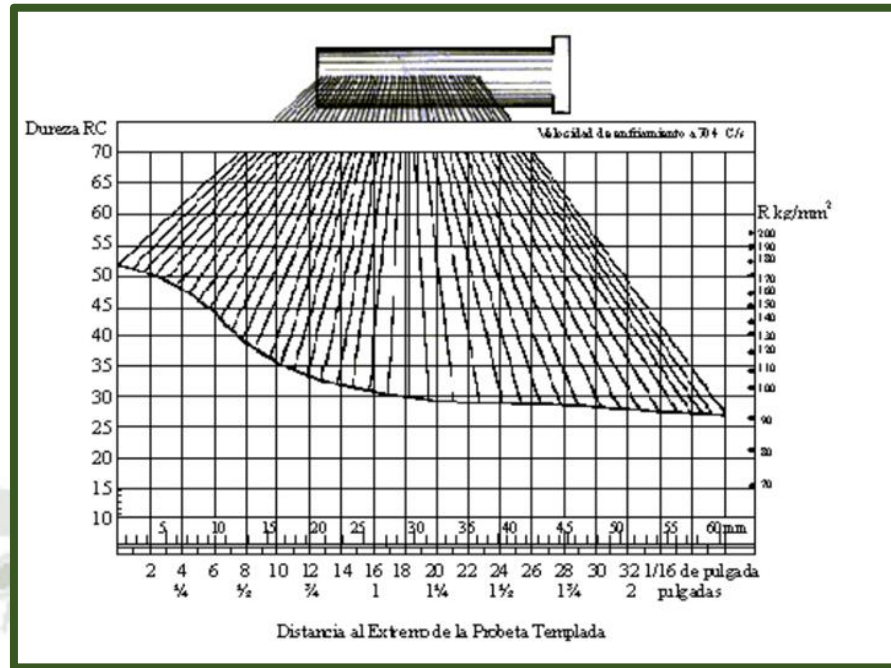


FIGURA 13: CURVA DE DUREZA DE ENSAYO JOMINY

Fuente: <https://dokumen.tips/documents/ensayo-jominy-acero-4140.html>

2.3.3 Descripción De Partes

Para realizar el ensayo de Jominy se requieren los siguientes equipos y materiales:

- Conexiones eléctricas de 220 V para la bomba de succión.
- Probetas con las dimensiones propuestas por la norma ASTM A255, como se muestra en la figura 14.



FIGURA 14: PROBETA PARA ENSAYO JOMINY

Fuente: Propia

- Horno eléctrico para el calentamiento de la probeta, como se muestra en la imagen 15.



FIGURA 15: HORNO ELÉCTRICO

Fuente: Propia

- Máquina pulidora para preparar la superficie de la probeta, como se muestra en la figura 16.



FIGURA 16: MAQUINA PULIDORA DE SUPERFICIES

Fuente: Propia

- Módulo de ensayo de Jominy, como se muestra en la figura 17.

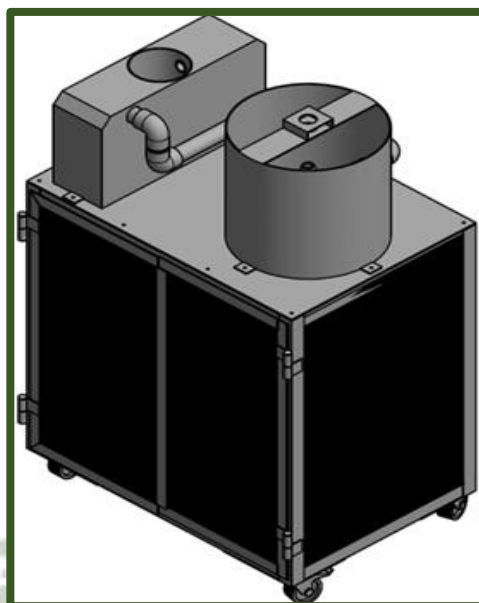


FIGURA 17: MODULO DE ENSAYO DE JOMINY

Fuente: Propia

- Máquina de dureza Rockwell C, como se muestra en la imagen 18.



FIGURA 18: MAQUINA DE DUREZA ROCKWELL C

Fuente: Propia

2.4 Tratamiento Térmico De Los Aceros

Como sabemos los tratamientos térmicos son una combinación de operaciones de calentamiento y enfriado que permite lograr distintas características del acero, por lo tanto los tratamientos térmicos tienen una vital importancia en la fabricación de la industria, son muy numerosos y variados según el fin que se pretende conseguir (endurecer o ablandar).

2.4.1 Parámetros Del Tratamiento Térmico

Para lograr que los tratamientos térmicos sean efectivos se deben controlar los siguientes parámetros:

- a) La velocidad de calentamiento: esta velocidad es importante debido a que si la pieza a tratar no es uniforme se generara desniveles térmicos, esta velocidad de calentamiento debe ser continua y moderada.
- b) Temperatura de calentamiento: para conseguir la temperatura de calentamiento depende del contenido de carbono del acero, esta temperatura debe llegar la austenización en la estructura del material.
- c) Para los aceros hipoeutectoides: La temperatura para estos aceros debe ser superior al punto crítico A3; contenido de carbono menor a 0,77 %.
- d) Para los aceros hipereutectoides: La temperatura para estos aceros debe ser superior al punto crítico Ac1; contenido de carbono entre 0,77 % a 2%.
- e) Duración del calentamiento: la duración del calentamiento es proporcional a la dimensión transversal media.
- f) Velocidad de enfriamiento: La velocidad de enfriamiento depende de la estructura del acero que se quiere lograr de acuerdo a su aplicación, si se realiza un enfriamiento brusco o superior a la velocidad crítica, se transformara la austenita en martensita alcanzando una mayor dureza, si se requiere determinar estos parámetros utilizamos el diagrama Hierro-Carbono (Fe-C) de los aceros como se muestra en la figura 19.

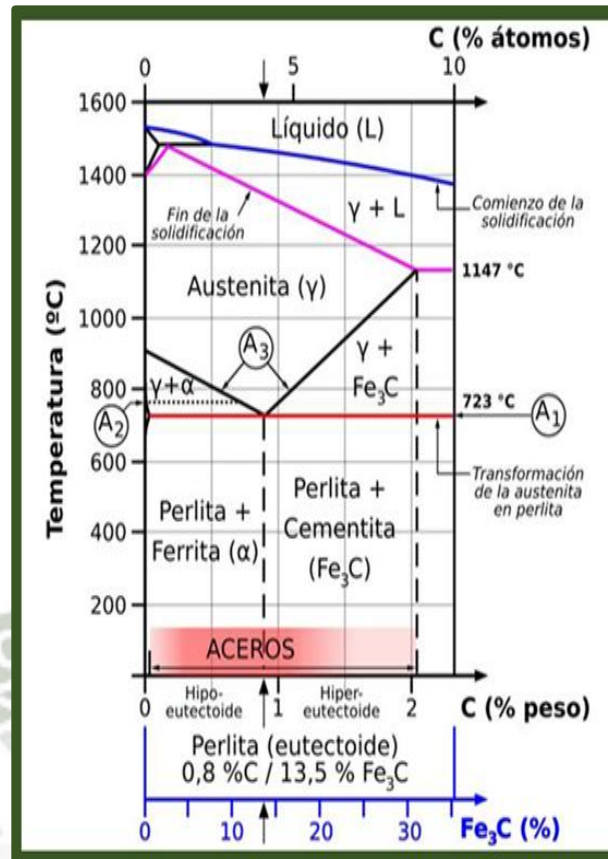


FIGURA 19: DIAGRAMA HIERRO-CARBONO (Fe-C) DE LOS ACEROS

Fuente: (<http://enciclopedia.us.es/index.php/Acero>)

2.4.2 Principales Tratamientos Térmicos

Los principales tratamientos térmicos son los siguientes:

- a) Temple
- b) Revenido
- c) Recocido
- d) Normalizado

2.5 Definición De Temple

Se logra con un enfriamiento rápido (velocidad mínima llamada "crítica").

Existen 2 procedimientos para aumentar la resistencia a estas aleaciones:

- Tratamiento térmico en solución: Se calienta la aleación hasta una temperatura por debajo del punto de fusión por un periodo de tiempo específico, seguido de disminución rápida de dicha temperatura.

- Envejecimiento: Es un tratamiento térmico a relativa baja temperatura que produce endurecimiento adicional al material tratado en solución.



FIGURA 20: MARTENSITA

Fuente: [:\(http://www.textoscientificos.com/quimica/acero](http://www.textoscientificos.com/quimica/acero)

2.5.1 Objetivo Del Temple

Obtener un tipo de aceros de alta dureza llamado martensita. Se calienta el acero hasta una temperatura próxima a 1000 °C. Al lograr la máxima dureza que modifica las distintas propiedades del acero de las siguientes formas:

2.5.1.1 Propiedades Físicas

En el tratamiento los aceros aumentan de volumen y disminuyen su densidad, de la misma manera aumenta su resistencia eléctrica, por lo contrario la intensidad magnética y la sonoridad del acero disminuye.

2.5.1.2 Propiedades Mecánicas

La tensión de rotura por tracción, el límite elástico y la dureza mejoran. Disminuye el alargamiento, la estricción y la resistencia. La probeta de acero al templearla, se hace más resistente y dura, pero más frágil y disminuye la ductilidad.

2.5.1.3 Propiedades Químicas

Mejora la resistencia del ataque químico de ciertos ácidos con respecto al estado recocido.

2.5.1.4 Físico-Químico

El temple constituye un tratamiento preparatorio o previo para la obtención determinadas estructuras y en consecuencia definidas características mecánicas.

2.5.1.5 Tratamiento heterogéneo

El principal objetivo del temple es lograr la máxima dureza en un acero o en un hierro fundido, esta propiedad que puede lograrse en la periferia, superficialmente o a determinada zona e integralmente, a toda la masa metálica.

2.5.2 Factores Del Temple

2.5.2.1 Composición y estado estructural del acero antes del temple

Las modificaciones producidas por el temple dependen de la composición química que tiene cada producto. Todos los materiales presentan diferentes composiciones, estos diferentes componentes del material afectan en la velocidad de enfriamiento.

2.5.2.2 Temperatura del temple

En todos los tratamientos térmicos de aceros se presentara transformación o descomposición de austenita. Por lo tanto se calienta el material a una temperatura de 30°C a 50°C por encima del intervalo crítico para formación de austenita.

Con el diagrama de Hierro – Carbono se establecen las temperatura de calentamiento. Para definir estas temperaturas es necesario definir el tipo de tratamiento térmico a realizar y conocer su contenido de carbono.

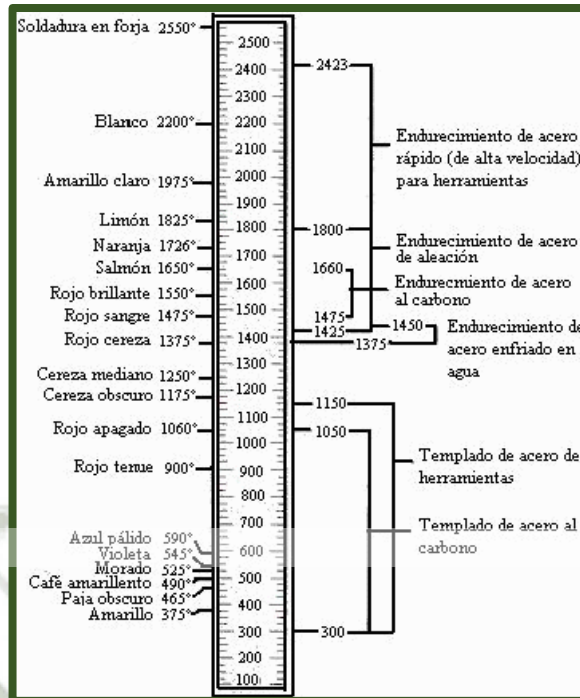


FIGURA 21: TEMPERATURA DE TEMPLE DE ACEROS AL CARBONO

Fuente: ATSA_Tratamientos térmicos

2.5.2.3 Tiempo de calentamiento.

Es necesario mantener la temperatura por una hora por cada pulgada de diámetro que tenga la probeta. Por ejemplo: si el diámetro de la probeta sometida a tratamiento es de una pulgada esta debe permanecer una hora a dicha temperatura.

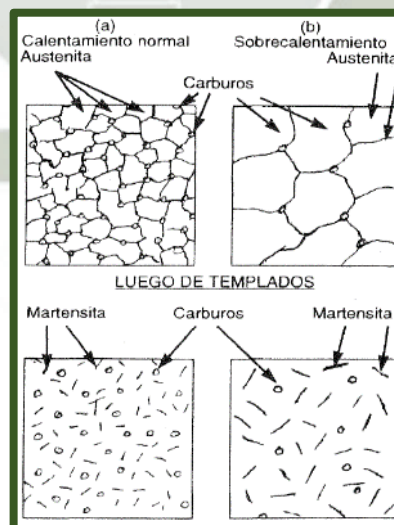


FIGURA 22: CALENTAMIENTO DEL TEMPLADO

Fuente:(Sturla, 2002, pág. 63)

Como es de saberse, las superficies externas alcanzan mayores temperaturas inicialmente, esto implica que se debe esperar un determinado tiempo para que la temperatura de calentamiento sea uniforme en toda pieza. Al lograr el balance de temperatura en la pieza se producirá la transformación de la perlita en Austenita en toda la pieza.

Si es que la pieza permanece mucho tiempo en la temperatura de tratamiento se producirá:

- Engrosamiento del grano.
- Descarburación superficial.

De la misma manera el sobrecalentamiento produce una martensita de agujas más grandes y una reducción de la proporción de carburos libres. Por lo tanto se recomienda no mantener mucho tiempo a temperatura de tratamiento.

2.5.2.4 Velocidad de enfriamiento.

La estructura, dureza y resistencia resultante de una operación de tratamiento térmico se determina por la rapidez de enfriamiento real obtenida del proceso de temple (Ver figura 5).

Solo se obtendrá martensita si la rapidez de enfriamiento real excede a la rapidez crítica de enfriamiento. Si la rapidez de enfriamiento real es menor que la rapidez crítica de enfriamiento, la pieza no endurecerá completamente.

Se recomienda un enfriamiento lento para disminuir las tensiones internas en el rango de temperatura TM_s (temperatura de inicio) hasta TM_f (temperatura final)

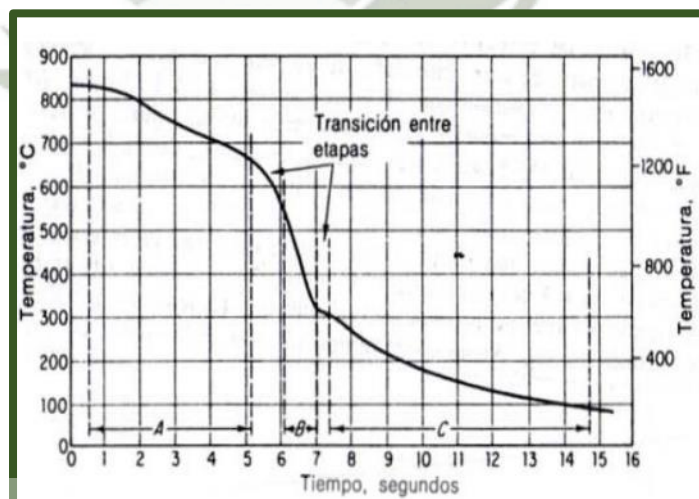


FIGURA 23: CURVA TÍPICA DE ENFRIAMIENTO PARA UN CILINDRO PEQUEÑO DE ACERO TEMPLADO

- Etapa A: Enfriamiento por medio de una capa de vapor

El enfriamiento se efectúa por conducción y radiación a través de la película gaseosa. Se sabe que el vapor no es buen conductor de calor produciendo un enfriamiento lento a través de esta etapa.

En esta etapa, la temperatura del metal es tan alta que el medio de temple se vaporiza en la superficie del metal y una delgada y estable película de vapor rodea al metal caliente.

- Etapa B: Enfriamiento por transporte de vapor

El metal se ha enfriado a una temperatura tal que la película de vapor ya no es estable. El calor se elimina del metal muy rápidamente como calor latente de vaporización. Es en esta etapa que se logra enfriar a mayor velocidad la pieza.

- Etapa C: Enfriamiento por medio líquido

La superficie del metal alcanza el punto de ebullición del medio de temple. En esta etapa la transferencia de calor se produce por conducción y convección a través del líquido.

2.6 Transformación De La Martensita

Para lograr que en un acero eutectoide se produzca martensita, se busca que el enfriamiento sea tan rápido logrando evita la nariz de la curva de transformación (TTT), la transformación de la Austenita se realiza con fuerte desequilibrio bajo 220°C (428 °F)

En este tipo de acero no es posible convertir toda la austenita a martensita ya que la línea de terminación de Martensita M_f se encuentra a -50°F. Este acero solo contiene carbono, la presencia de otros elementos de aleación disminuiría aún más el valor de M_f .

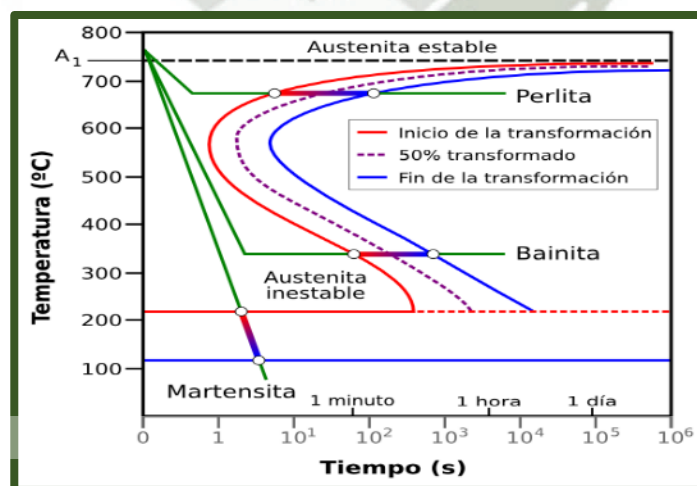


FIGURA 24: DIAGRAMA TIEMPO – TEMPERATURA – TRANSFORMACIÓN (TTT) DE UN ACERO AL CARBONO

Fuente (<http://enciclopedia.us.es/index.php/Acero>)

2.6.1 Características de la Martensita

- La estructura cristalina cambia de FCC, Austenita, a BCT, martensita. La tetragonalidad se debe al carbono intersticial y el grado de tetragonalidad depende del % de carbono del acero. El cambio volumétrico producto de ésta transformación, FCC a BCT, puede producir fallas en la pieza final
- La temperatura característica de cada acero (M_s) es la temperatura en que la martensita comienza a formarse. El % de martensita formado dependerá de cuánto haya descendido la temperatura por debajo de M_s , hasta llegar al 100 % de transformación a la temperatura M_f . Mientras mayor sea el avance entre M_s y M_f , mayor será el grado de transformación de la Austenita en martensita.
- Así, si se desciende levemente bajo la temperatura M_s , la cantidad de martensita formada será pequeña, y la no transformada será Austenita retenida, pudiéndose llegar eventualmente a martensita pura, (100% de martensita), si la temperatura es suficientemente baja, i.e. igual a M_f .
- A temperatura ambiente, muchos aceros mantienen aún Austenita retenida, ya que su M_f está por debajo de la temperatura ambiente.
- Al incrementar el % de C se disminuye la temperatura de formación de la martensita, M_s .

2.7 Fases Del Temple

El proceso de templeado comprende dos fases:

- Calentamiento del producto siderúrgico hasta determinada temperatura.
- Enfriamiento inmediato, generalmente en un medio enérgico.

2.7.1 Calentamiento

Para obtener el estado austenítico, es necesario para practicar el temple. En la etapa de calentamiento la transformación de los distintos constituyentes estructurales, comienza a temperaturas cada vez más elevadas.

La temperatura para lograr que los distintos componentes estructurales (temple superficial selectivo, por inducción eléctrica) aumenta a medida que el calentamiento sea más rápido.

Los aceros de mayor contenido de carbono y aleados, requieren una velocidad de calentamiento menor, esto debido a la baja conductividad térmica. El calentamiento debe ser rápido, para lograr mayor rendimiento del horno, menor consumo de energía, reducir la oxidación y descarbonación y reducir los tiempos del tratamiento.

2.7.2 Enfriamiento

En los trabajos de templado, de los aceros al carbono, la pieza en su totalidad de la masa metálica debe encontrarse formando el estado austenítico homogéneo y uniforme, en el momento de comenzar el enfriamiento rápido. Al final de tratamiento el metal adquiere gran dureza.

Es posible realizar el temple de dos formas:

- Con enfriamiento continuo tomando como parámetros la temperatura de calentamiento y la velocidad de enfriamiento (estado austenítico) hasta la correspondiente a la temperatura ambiente.
- Realizando la descomposición de la Austenita fuera de equilibrio en función del tiempo, a distintas temperaturas por debajo de A_{c1}

2.8 Definición De Templabilidad

La templabilidad es la propiedad del acero a través de la cual muestran su capacidad para endurecerse con tratamientos térmicos de temple.

Se llama a un acero aleado de alta templabilidad a quien tiene la capacidad de endurecer, o forma martensita, no sólo en la superficie sino también en su interior. Por tanto, la templabilidad es una medida de la profundidad a la cual una aleación específica puede endurecerse.

Hasta el momento se han discutido aspectos relativos al comportamiento del acero durante las diversas formas de transformación posibles en los mismos. Tanto los diagramas isotérmicos como los diagramas de enfriamiento continuo dan información valiosa al respecto de este comportamiento.

En estos diagramas indican, por ejemplo, que un acero puede ser enfriado a menor velocidad para obtener martensita siempre y cuando tenga algunos elementos de aleación en su composición. Por lo tanto es necesaria la correcta interpretación de estos diagramas para efecto práctico en un tratamiento térmico. Se sabe que una pieza de acero enfriada en un medio cualquiera tendrá una velocidad de enfriamiento que depende de varios factores y una vez que estos son determinados, se debe buscar alguna manera de comparar y predecir lo que irá a

suceder cuando se realice tal enfriamiento. Para esto es necesario que primeramente se entienda lo que es la templabilidad.

2.8.1 Generalidades De La Templabilidad

Durante el temple uno de los fenómenos comunes es la descomposición de la Austenita y se representa mediante un gráfico de las curvas características del temple. La grafica parte de la temperatura correcta de calentamiento T_c , por enfriamiento a velocidad continua, y también por descomposición isotérmica a distintas temperaturas, es decir es llevada por enfriamiento brusco, desde el estado de solución sólida austenita (temperatura de calentamiento T_c) hasta una temperatura seleccionada T_e , superior a la temperatura ambiente.

Estas curvas en muchos casos, son válidas solamente para el mismo y no pueden hacerse extensivas a otros muy similares; esto depende que no tienen las mismas condiciones de fabricación, sobre todo la elaboración, de la colada y otros.

Los constituyentes estructurales que representan a los aceros antes mencionados estarán en relación con la martensita y carburos según el tipo de acero:

- Para un acero determinado, la cantidad de dureza obtenida depende del contenido de carbono. Para la martensita, cuya dureza a partir de 0.60% de carbono se mantiene constante.
- Los elementos de aleación son determinantes al momento obtener una máxima dureza, una mayor profundidad de temple y mayor templabilidad mediante menor temperatura de austenización, además requiere menor velocidad crítica de enfriamiento.
- Si la templabilidad del acero es alta, se puede formar martensita dura y frágil en el enfriamiento a temperatura ambiente.
- La mejor combinación de las propiedades físicas resistencia – conductibilidad se obtiene si se transforma el metal completamente a martensita durante el tratamiento térmico del temple.

2.8.2 Determinación De La Templabilidad

Un procedimiento normalizado utilizado ampliamente para determinar la templabilidad es el ensayo Jominy (ASTM 255). En este ensayo se mantienen constantes todos los factores que influyen en la profundidad del endurecimiento de la pieza, excepto la composición, como por ejemplo tamaño y forma de la pieza y tratamiento de temple. Una probeta cilíndrica de 25 mm o de diámetro y 100 mm de longitud

Primeramente la probeta es ingresada a temperatura ambiente a un horno y se calienta hasta temperatura superior a la A3c del acero en cuestión, se mantiene durante una media hora a la temperatura establecida, para asegurar que incluso el núcleo de la probeta resulte austenizado.

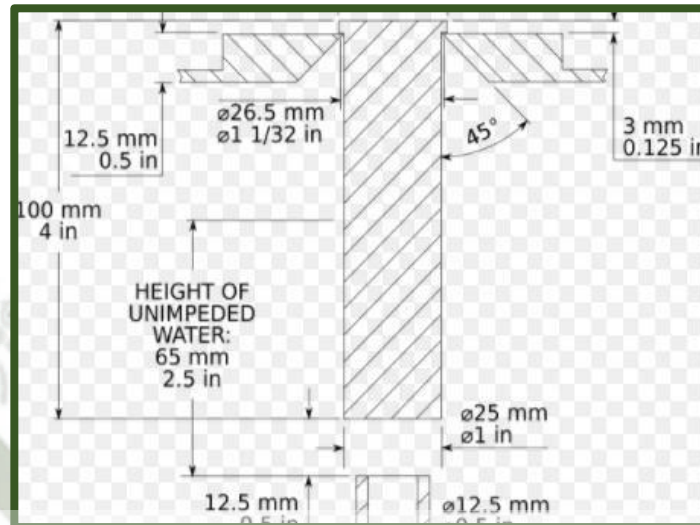


FIGURA 25: PROBETA PARA DETERMINACIÓN DE LA TEMPLABILIDAD

2.8.2.1 Examen De Las Fracturas

La penetración de temple sobre probetas de sección circular, de diámetro variable, de por lo menos cinco veces su longitud para evitar la acción de los extremos, por examen de fractura puede presentar las siguientes características:

- a La fractura fibrosa: vendrían a ser los estados no templados y se reflejan con la presencia de: ferrita, perlita, sorbita, troostita.
 - b Fractura fina: porcelánica para los estados templados (martensita).
 - c Fractura grosera o brillante para los estados sobrecalentados:
- En la figura 26, se ha esquematizado, mediante la fractura de tres probetas, la granulometría de las zonas no endurecidas de grano grueso en las áreas centrales y de las templadas de grano fino o porcelánico en la periferia.

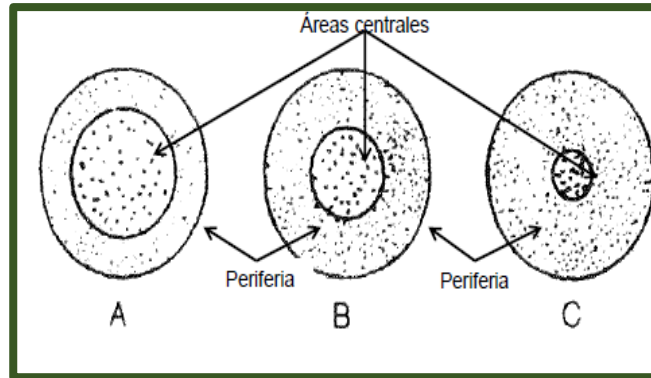


FIGURA 26: DETERMINACIÓN DE LA TEMPLABILIDAD POR EXAMEN DE LA FRACTURA DE PROBETAS TEMPLADAS. LAS ÁREAS CENTRALES DE GRANO GRUESA INDICAN QUE NO HAN SIDO TEMPLADAS. EL ACERO "A" ES DE BAJA TEMPLABILIDAD, EL "B" DE MEDIA, EL "C" ES DE ALTA TEMPLABILIDAD.

2.8.2.2 Por Ataque Químico Sobre Superficies Pulidas, Arenadas O Sobre Fracturas

- a El ataque sobre probetas pulidas se realiza con nital o picral, solución alcohólica o acuosa de 2 a 5% de ácido nítrico o pícrico.
- b Ataque macroscópico con reactivo cúprico de Sread-Le Chatelier: este químico reacciona con superficies que no fueron templadas y se reflejan mediante el cambio de color.

El ataque químico se refleja sobre la sección pulida, en zonas de distinta coloración; las dos barras (ver figura 27), las probetas de menor diámetro han quedado de un solo color ya que se a templado toda la sección. En caso no este templada toda la sección se podrán observar 2 colores, por lo general se presenta dos zonas bien definidas: una banda periférica clara (parte templada) y el centro una coloración más oscura.

- c Ataque por oxidación: se obtiene por baños de sales fundidas alrededor de 300°C (55% nitrato de potasio, 45% nitrato de sodio); la caracteriza por la serie de colores de revenido (amarillo, marrón, tornasolado, violeta, índigo, azul, gris).

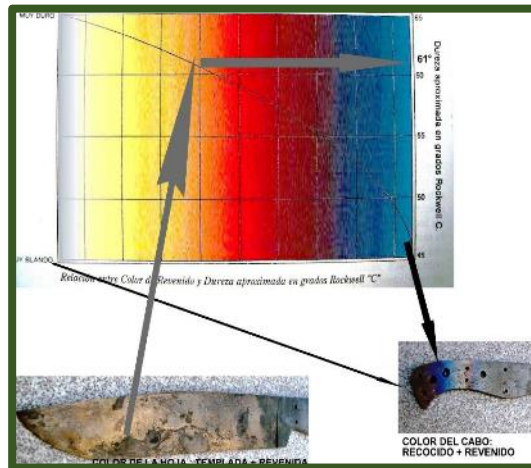


FIGURA 27: PROBETAS TEMPLADAS, SECCIONADAS ATACADAS CON REACTIVO ÁCIDO

Fuente: (<http://armasblancas.mforos.com>)

2.8.2.3 Curvas De Dureza Utilizando Discos De Acero

- a** Mediante el uso de cilindros de acero:

Estos son lo suficientemente largos con respecto al diámetro ($R \geq 5$ diámetros), esto con la finalidad de evitar la influencia de refrigerante de las extremidades, se puede medir la penetración del temple.

- b** Se procede a calentar el conjunto a temperatura adecuada para el temple y se enfría en agua o aceite según la velocidad de enfriamiento adoptada para el acero. En la figura 28, se han trazado las curvas de variación diametral de la distribución de la dureza, para dos medios de enfriamientos distintos.

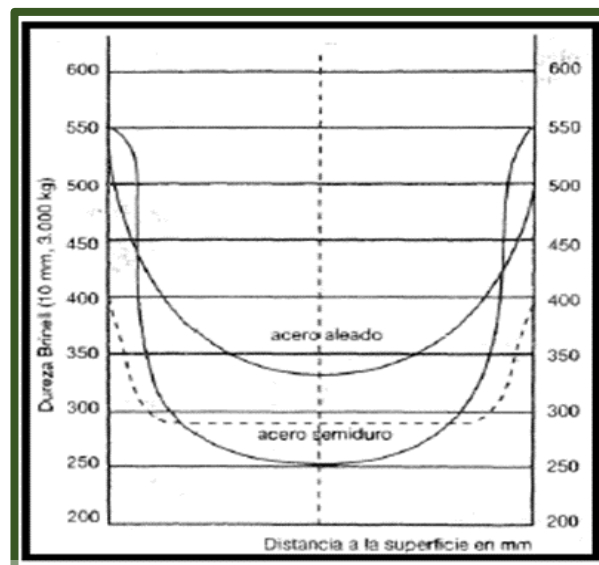


FIGURA 28: VARIACIÓN DE LA DUREZA SEGÚN UN DIÁMETRO DE UN ACERO DE FORMA CIRCULAR DE 70MM TEMPLADO-TEMPLADO EN AGUA-TEMPLADO EN ACEITE (ACERO-SEMIDURO)

Fuente: Sturla, 2002, pag. 100

2.8.2.4 Penetración De Temple Sobre Aceros De Forma Circular De Diferentes Diámetros Curva U

- a En este caso se trata de un acero al carbono con 0.45. El método consiste en tomar varias barras cilíndricas, de distintos diámetros, de acero laminado y de igual composición. Estas deben ser torneadas hasta tener medidas determinadas y luego de austenizado a la misma temperatura se templen en agua.
- b Se tiene que cortar en forma transversal en la parte central de la barra, después se aplanan y se pulen; finalmente se ataca con nital.
- c Si después del ataque se puede apreciar, que las probetas tienen la misma coloración en toda su sección, significa que han endurecido totalmente
- d Si en la probeta a medida que el diámetro aumenta se aprecia una región clara en forma de anillo y su espesor va creciendo, significa que no han endurecido en su totalidad.

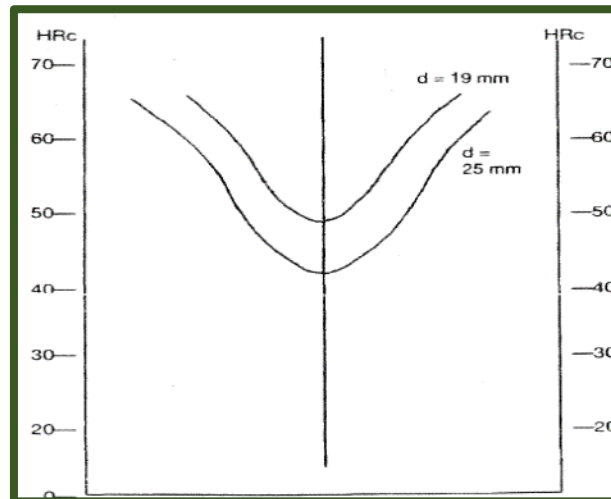


FIGURA 29: CURVAS “U” DE DOS BARRAS DE DIÁMETRO 19 Y 25 MM, DE ACERO 0.45%C TEMPLADO EN AGUA

Fuente:(Sturla, 2002, p. 101)

- e Posteriormente se determina la dureza en la sección transversal de cada probeta y se construyen las curvas “U”.
- f Este ensayo también puede emplearse enfriando en aceite; los valores de penetración de temple serían menos pronunciados. Esto se debe a que es menos eficaz el medio de enfriamiento.

2.8.2.5 Bandas De Templabilidad

La “Society of Automotive Engineers” (S.A.E), y la “American Iron and Steel institute” (A.I.S.I.) han establecido para la gran mayoría de los aceros de construcción, curvas de máxima y mínima templabilidad. En base a esto se definen los límites dentro de los cuales pueden estar estas las curvas de Jominy.

Esta caracterización en conocimiento que los aceros cumplen con una determinada banda de templabilidad (H, Hardenability), los identifica, adicionando a la nomenclatura A.I.S.I. o S.A.E. la letra H con lo cual se especifica que el acero ha sido producido para satisfacer una cierta templabilidad. (Barreiro, 1984, págs. 217-218)

Como se observa en la figura 30, las curvas de máxima y mínima templabilidad difieren considerablemente, esto se debe a que, a que presentan diferente composición química, una mayor o menor heterogeneidad química; presencia de elementos normalmente inestimables u oligoelementos que son metales o metaloides que están en la probeta en dosis infinitesimales pero que son

imprescindibles como catalizadores de las reacciones químicas que dan lugar a variaciones sensibles en la posición de las líneas curvas.

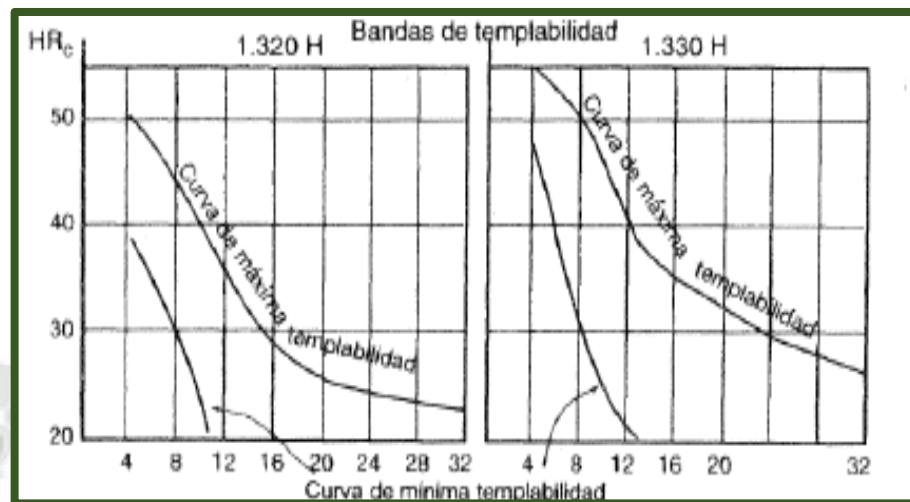


FIGURA 30: BANDAS DE TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS.

1)=0.17-0.24, $n=1.5-2$, $S_i=0.20-0.35$

2)=0.27-0.34, $n=1.5-2$, $S_i=0.20-0.35$

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 217)

2.8.3 Factores Que Influyen Sobre La Templabilidad De Los Aceros

Los principales factores que afectan la templabilidad de los aceros son:

2.8.3.1 Composición Química (% de elementos disueltos en la austenita)

Cualquier elemento químico adicional en el acero. El grado de influencia depende del elemento en cuestión. El cobalto es el único que baja la templabilidad ya que aumenta la velocidad crítica de temple.

La curva Jominy se ve modificada inicialmente, por el contenido de carbono, es decir que la penetración de temple así como la dureza del extremo templado aumenta. Debido a que la martensita es una solución sólida en inserción, cuya distorsión de la red aumenta con la cantidad de carbono inserto en la misma.

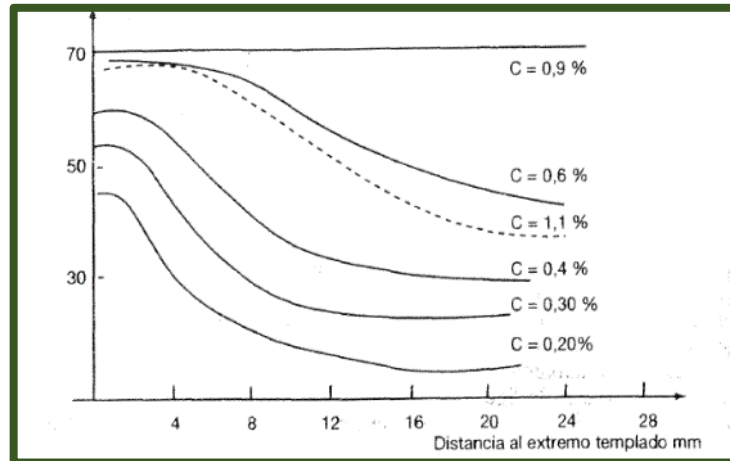


FIGURA 31: EFECTO DEL CONTENIDO DE CARBONO SOBRE LAS CURVAS DE JOMINY. ACERO: $C=%$; $Mn=0.7\%$; $Ni=1.8\%$; $Mo=0.5\%$.

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 216)

Cuando los elementos de aleación están disueltos en la austenita la velocidad crítica de temple disminuye. En caso de que estos estén como partículas de carburos en exceso, la estabilidad de la austenita no sólo no aumenta, sino que se ve reducida porque los citados carburos actúan como núcleos facilitando la descomposición de la austenita.

Hay que tener en cuenta el tiempo de calentamiento. Por ejemplo el níquel es un elemento que entra en solución con rapidez, mientras que el cromo, vanadio, molibdeno y boro necesitan mayor tiempo de calentamiento.

2.8.3.2 Tamaño De Grano Austenítico

Se retarda la transformación estructural cuando aumenta de tamaño del grano, debido a que el proceso de nucleación se produce en el borde de los granos. Considerando que la transformación de la perlita se inicia en el límite de los granos, se comprenderá fácilmente, que cuando mayor es el tamaño de grano, mayor será el tiempo que consumirá la total transformación del grano austenítico en perlita.

Los aceros de grano grueso tienen una velocidad crítica de nucleación menor. Cuando mayor es la dimensión del grano de acero, menor es la energía libre; al iniciarse las reacciones en los puntos de mayor concentración de energía. Por lo tanto los núcleos de perlita se forman en menor cantidad.

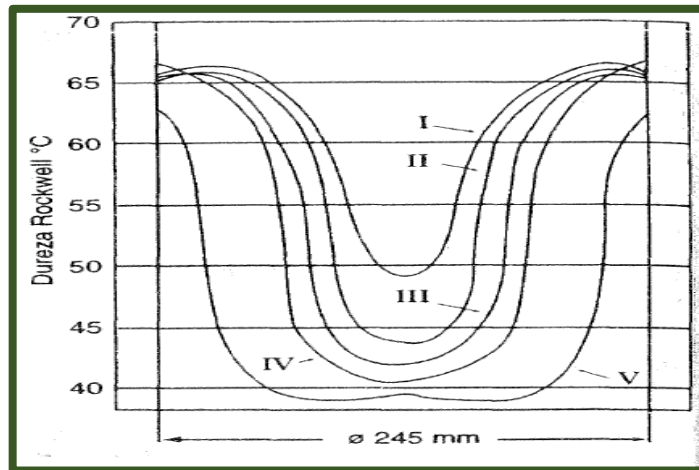


FIGURA 32: AMPLITUD A TEMPLE DE UN ACERO E INFLUENCIA EJERCIDA SOBRE ELLA POR LA DIMENSIÓN DEL GRANO AUSTENÍTICO (BAIN Y DAVENPORT).

Fuente: (Sturla, 2002, p. 114)

Entonces los aceros de grano grueso tienden a producir en el enfriamiento, estructura martensítica más fácilmente que los de grano fino. De la misma manera se puede afirmar que cuando mayor sea el tamaño de grano menos elevada es la velocidad crítica del temple.

El aumento del tamaño de grano aumenta la profundidad del temple. En caso el tamaño del grano disminuya la penetración de temple será menor por lo tanto la templabilidad del acero es menor.

El tamaño del grano influye en la temperatura y tiempo de calentamiento. Es considerado como un factor muy importante para la templabilidad.

2.8.3.3 Efecto De Masa o Dimensiones

La masa o dimensiones del acero influyen en la penetración del temple. Un acero obtendrá mayor banda de dureza superficial cuando menor sea su diámetro o espesor.

Como se sabe la velocidad de enfriamiento disminuye en forma gradual desde la superficie hasta el centro de la pieza, es por esto que la penetración del temple está limitada para determinados aceros a ciertas dimensiones.

Por lo tanto se puede afirmar que mientras mayores sean las dimensiones de las probetas la velocidad de enfriamiento en el lado exterior será más lenta, esto debido a que existe una transferencia de calor del medio hacia los extremos.

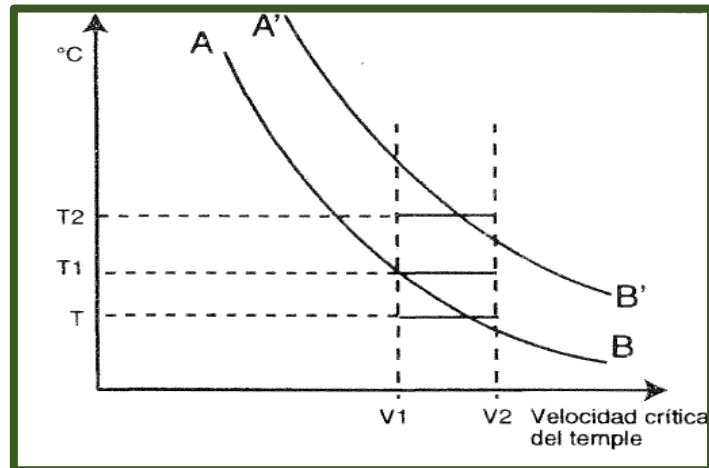


FIGURA 33: INFLUENCIA DE LA MASA EN LA TEMPLABILIDAD
V1: VELOCIDAD DEL NÚCLEO, V2: VELOCIDAD PERIFÉRICA.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 115)

2.8.3.4 Heterogeneidad De La Austenita

Cuando se calienta el acero para templar, la falta de heterogeneidad de la austenita, puede estar originada por la presencia de cristales de carburos no disueltos en el caso de aceros hipereutectoides o a carburos (aceros aleados) o también de los cristales de ferrita libre que no han entrado en solución, en los aceros hipereutectoides.

Las reacciones isotérmicas son favorecidas por las fases constituidas por ferrita, carburos o cementita no disueltos en la austenita es decir cambio a temperatura constante en todo el sistema, que constituyen núcleos para las transformaciones, de modo que disminuyen la templabilidad.

Los elementos de aleación que tienen la propiedad de formar carburos, no sólo constituyen centros adicionales de nucleación que facilitan la descomposición de la austenita, sino que también, al producir, un grano fino, aumenta la velocidad crítica de temple y reducen la templabilidad).

2.8.3.5 Temperatura De Austenización

La temperatura de calentamiento para practicar el temple, constituye un factor muy importante e influyente sobre la templabilidad y por ende, sobre sus efectos en las curvas de Jominy. Ante esto se realizan las siguientes consideraciones:

- Cuando mayor es la diferencia entre la temperatura de austenización y el medio de temple, la velocidad de enfriamiento aumenta. Al elevar la

temperatura de calentamiento se traduce en un incremento de la velocidad crítica de temple por lo que cambia las propiedades del grano como en este caso el grosor.

2.8.3.6 Partículas Insolubles

La presencia de inclusiones, carburos, óxidos, compuestos inter metálicos, etc., en general, si se encuentran ubicados en el borde del grano, constituyen elementos que requieren un enfriamiento del metal más rápido, para lograr un mismo endurecimiento, ya que su presencia, constituyendo centros de cristalización, aceleran las transformaciones o reacciones más rápido que comúnmente, es decir que aumenta la velocidad de nucleación en la transformación austenita-perlita.

Los elementos titanio, niobio, vanadio, zirconio, etc., a raíz de su propiedad de formar carburos, que son relativamente estables y por ende difíciles de disolver o entrar en solución sólida en la austenita, con la cual reducen la templabilidad e impiden el incremento del grano. Elevaciones considerables de temperatura pueden hacerlos disolver en la austenita.

2.8.3.7 Estado De La Superficie De La Pieza

La forma de la pieza, el grado de acabado, así como el estado superficial indica que el producto siriérgico a tratar se encuentra en su periferia, cubierto de escamas de óxidos, descarburado o carburado, liso, rugoso, etc., afectan el comportamiento de la templabilidad del metal. (Villacis, 2007, p. 38)

3. Capítulo 3 – DISEÑO DE LA MAQUINA

3.1 Parámetros de diseño de modulo

La Norma ASTM A255 (Anexo 1) se tendrá como referencia en el presente diseño, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dimensiones de componentes.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.

De la misma manera el modulo deberá contar con los siguientes componentes:

ITEM	NOMBRE
1	Bomba Hidráulica
2	Boquilla de 1/2"
3	Línea de Alimentación 1"
4	Línea de Descarga 1"
5	Línea de Descarga 1/2"
6	Línea de Descarga 3/4"
7	Línea de Drenaje 1/2"
8	Sistema de Encendido
9	Tanque de Alimentación
10	Tanque de Enfriamiento
11	Tanque Porta Probeta
12	Estructura Principal Móvil
13	Estructura de Enfriamiento

TABLA 1: COMPONENTES DEL MÓDULO JOMINY

Fuente: Propia

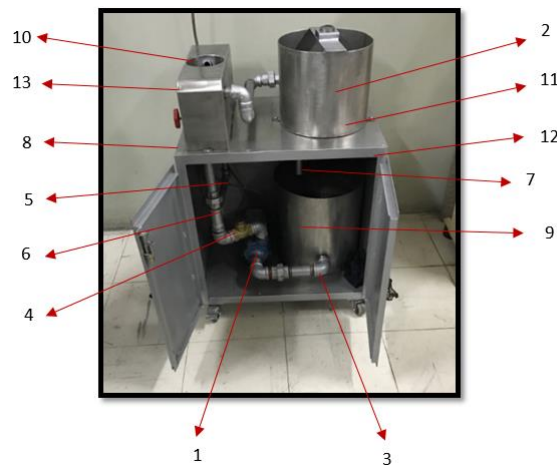


FIGURA 34: PARTES DE MODULO JOMINY

Fuente: Propia

3.2 Diseño de tanque porta probetas

3.2.1 Parámetros de diseño

El diseño del mismo debe respetar las medidas establecidas en la Norma ASTM A255. La probeta deberá estar a 12.7mm a partir de la boquilla. De la misma manera se busca que la película de agua que se forma al contacto de la probeta con el agua no tenga contacto con el anillo. El agua de prueba no deberá llegar a más de 2cm por lo tanto esta deberá ser drenada inmediatamente por la Línea de Drenaje de $\frac{3}{4}$.

Para cumplir con los requerimientos de funcionamientos se considera:

$$\text{Diametro } (D_{PP}) = 24\text{cm}$$

$$\text{Altura } (H_{PP}) = 21\text{cm}$$

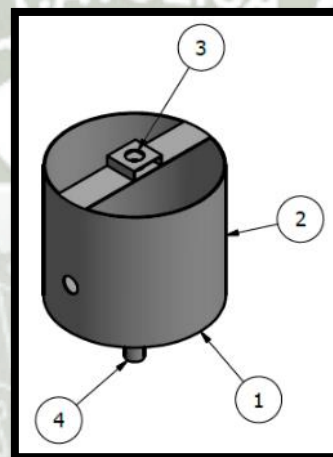


FIGURA 35: TANQUE PORTA PROBETAS

Fuente: Propia

PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Base de Tanque
2	1	Anillo de Tanque
3	1	Porta Probetas
4	1	Línea de Drenaje

TABLA 2: COMPONENTES TANQUE PORTA PROBETAS

Fuente: Propia

3.2.2 Cálculo de volumen de agua

Se calcula el volumen mediante la ecuación:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen de Tanque

r = Radio de Tanque

h = Altura de Tanque

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 12cm^2 * 2cm$$

$$V = 904.78cm^3$$

$$V = 0.9048 \text{ Litros}$$

3.2.3 Cálculo de espesor de anillo

Se entiende que debido a las dimensiones del tanque el espesor de los anillos también será pequeño; por lo tanto las tensiones del fondo del tanque se distribuyen uniformemente en el anillo del tanque. Según la hipótesis de recipientes cilíndricos de pared delgada, el esfuerzo permisible se calcula mediante la ecuación:

$$\sigma_p = \frac{P * r}{e} \quad (2)$$

Donde:

σ_p = Esfuerzo Permisible

P = Presión en la Base del Recipiente

r = Radio de Tanque

e = Espesor de Anillo

La presión en la base del recipiente es determinada en base al peso y altura del fluido, y se calcula mediante la ecuación:

$$P = \gamma * H \quad (3)$$

Donde:

γ = Peso Especifico de Fluido $1,000 \frac{kg}{m^3}$

H = Altura de Tanque

Reemplazando en la ecuación (3):

$$P = 1,000 \frac{kg}{m^3} * 0.21m$$

$$P = 210 \frac{kg}{m^2} = 0.021 \frac{kg}{cm^2}$$

Teniendo en cuenta la corrosión, soldabilidad, y seguridad se utilizara acero inoxidable 304. Para el acero inoxidable 304 (Anexo 2) el esfuerzo permisible, es de ($\sigma_p = 35 \text{ KSI} = 2,460.69 \frac{kg}{cm^2}$) (Robert L. Moot, 2006).

Reemplazando en la ecuación (2) determinamos el espesor.

$$2,460.69 \frac{kg}{cm^2} = \frac{0.021 \frac{kg}{cm^2} * 12cm}{e}$$

$$e = 1.02 \times 10^{-4} cm$$

Se utilizara plancha inoxidable 304 de 2mm.

3.2.4 Calculo de soldadura

Para recipientes cilíndricos se recomienda utilizar soldadura a tope o ranura, debido a la carga de tensión F, producida por el fluido.

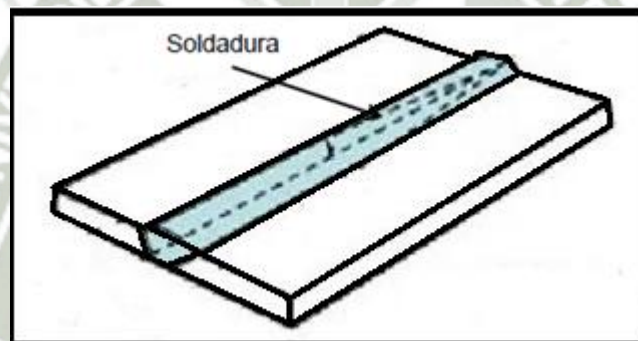


FIGURA 36: SOLDADURA

Fuente: Propia

Se calcula el esfuerzo normal mediante la ecuación.

$$\sigma = \frac{F_a}{h * l} \quad (4)$$

Donde:

σ = Esfuerzo Normal

F_a = Tensión o Fuerza Ejercida en el Anillo

h = Medida de la Garganta o Espesor del Material.

l = Longitud de la Soldadura.

Determinamos la tensión o fuerza ejercida en el anillo con la ecuación:

$$F_a = P * A \quad (5)$$

Donde:

P = Tensión o Fuerza Ejercida en el Anillo

$A = \text{Área de Anillo de Tanque}$

Entonces:

$$F_a = 210 \frac{kg}{m^2} * 2 * \pi * 0.12m * 0.21m$$

$$F_a = 33.25 kg$$

Reemplazamos en la ecuación 4:

$$\sigma = \frac{33.25 kg}{0.2cm * 21cm}$$

$$\sigma = 7.92 \frac{kg}{cm^2}$$

Según el reglamento de soldadura el factor de seguridad es $n = 1.67$ para tensión

$$\sigma_{real} = 7.92 \frac{kg}{cm^2} * 1.67$$

$$\sigma_{real} = 13.24 \frac{kg}{cm^2}$$

El catálogo SOLDEXA, determina que el acero a utilizar en la construcción del tanque porta probetas, tiene mayor compatibilidad de soldadura, con electrodo INOX 29/9 (E312-16) (Anexo 3) el mismo que tiene una resistencia a la tensión de

$$S_U = 7,545.9 \frac{kg}{cm^2}$$

Resistencia de fluencia se calcula mediante la ecuación:

$$S_Y = 0,5 * S_U \quad (6)$$

Reemplazamos:

$$S_Y = 0,5 * 7,545.9$$

$$S_Y = 3,772.95 \frac{kg}{cm^2}$$

El esfuerzo permisible se calcula mediante la ecuación:

$$\sigma_{per} = 0,6 * S_y \quad (7)$$

Reemplazamos:

$$\sigma_{per} = 0,6 * 3,772.95$$

$$\sigma_{per} = 2,263.77 \frac{kg}{cm^2}$$

Verificamos los esfuerzos:

$$\sigma_{per} > \sigma_{real}$$

$$2,263.77 \frac{kg}{cm^2} > 13.24 \frac{kg}{cm^2} \quad \text{CUMPLE}$$

El esfuerzo normal medio en carga se calcula mediante la ecuación:

$$\tau = \frac{F_f}{h * l} \quad (8)$$

Donde:

F_f = Fuerza Ejercida por el Fluido sobre el Fondo del Cilindro

h = Medida de la Garganta o Espesor del Material

l = Longitud de la Soldadura (perímetro)

Reemplazamos en la ecuación 5 para determinar la fuerza en el fondo del cilindro.

$$F_f = 210 \frac{kg}{m^2} * \pi * 0.12m^2$$

$$F_f = 9.5 kg$$

La longitud de la soldadura será el perímetro de la circunferencia.

Reemplazamos en la ecuación 8

$$\tau = \frac{9.5 kg}{0.2cm * (24 * \pi)}$$

$$\tau = 0.63 \frac{kg}{cm^2}$$

Según el reglamento de soldadura el factor de seguridad es $n = 1.44$ para cortante.

$$\tau_{real} = 0.63 \frac{kg}{cm^2} * 1.44$$

$$\tau_{real} = 0.91 \frac{kg}{cm^2}$$

La tensión permisible se calcula mediante la fórmula 9

$$\tau_{per} = 0.4 * S_y \quad (9)$$

Reemplazamos:

$$\tau_{per} = 0.4 * 3,772.95$$

$$\tau_{per} = 1,509.18 \frac{kg}{cm^2}$$

Verificamos las tensiones:

$$\tau_{per} > \tau_{real}$$

$$1,509.18 \frac{kg}{cm^2} > 0.91 \frac{kg}{cm^2} \quad CUMPLE$$

3.3 Diseño de tanque de alimentación

3.3.1 Parámetros de diseño

El tanque de alimentación deberá tener la capacidad de mantener el caudal constante durante el ensayo y garantizar el temple requerido.

$$Caudal\ Requerido = 0.14 \frac{lbs}{seg}$$

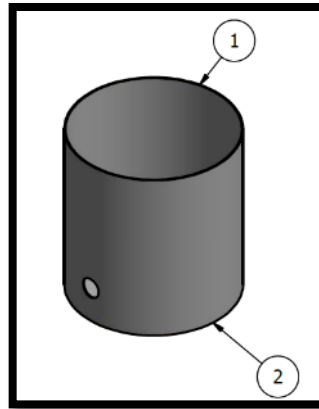


FIGURA 37: TANQUE DE ALIMENTACIÓN

Fuente: Propia

PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Base de Tanque
2	1	Anillo de Tanque

TABLA 3: COMPONENTES TANQUE DE ALIMENTACIÓN

Fuente: Propia

Para cumplir con los requerimientos de funcionamiento el tanque de alimentación tendrá dimensiones similares al tanque porta probetas. Se considera:

$$\text{Diametro } (D_A) = 28\text{cm}$$

$$\text{Altura } (H_A) = 30\text{cm}$$

3.3.2 Cálculo de volumen de agua

El volumen del agua en el recipiente será constante debido a la recirculación del fluido durante el ensayo.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 14\text{cm}^2 * 30\text{cm}$$

$$V = 18,472.608\text{cm}^3$$

$$V = 18.5 \text{ Litros}$$

3.3.3 Cálculo de espesor de anillo

Se entiende que debido a las dimensiones del tanque el espesor de los anillos también será pequeño; por lo tanto las tensiones del fondo del tanque se distribuyen uniformemente en el anillo del tanque.

Reemplazando en la ecuación (3):

$$P = 1,000 \frac{kg}{m^3} * 0.3m$$

$$P = 300 \frac{kg}{m^2} = 0.03 \frac{kg}{cm^2}$$

Teniendo en cuenta la corrosión, soldabilidad, y seguridad se utilizara acero inoxidable 304. Para el acero inoxidable 304 el esfuerzo permisible, es de ($\sigma_p = 35 \text{ KSI} = 2,460.69 \frac{kg}{cm^2}$) (Robert L. Moot, 2006).

Reemplazando en la ecuación (2) determinamos el espesor.

$$2,460.69 \frac{kg}{cm^2} = \frac{0.03 \frac{kg}{cm^2} * 14cm}{e}$$

$$e = 1.706x10^{-4}cm$$

Se utilizara plancha inoxidable 304 de 2mm.

3.3.4 Calculo de soldadura

Este tanque se diseña bajo las mismas condiciones y parámetros del tanque porta probetas.

Determinamos la tensión o fuerza ejercida en el anillo reemplazando en la ecuación 5:

$$F_a = 300 \frac{kg}{m^2} * 2 * \pi * 0.14m * 0.3m$$

$$F_a = 79.17 kg$$

Reemplazamos en la ecuación 4:

$$\sigma = \frac{79.17 kg}{0.2cm * 30cm}$$

$$\sigma = 13.2 \frac{kg}{cm^2}$$

Según el reglamento de soldadura el factor de seguridad es $n = 1.67$ para tensión

$$\sigma_{real} = 13.2 \frac{kg}{cm^2} * 1.67$$

$$\sigma_{real} = 22.04 \frac{kg}{cm^2}$$

Se considera el mismo material de aporte que en el tanque porta probetas

$$S_U = 7,545.9 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazamos en la ecuación 6:

$$S_y = 0,5 * 7,545.9$$

$$S_y = 3,772.95 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$\sigma_{per} = 0,6 * 3,772.95$$

$$\sigma_{per} = 2,263.77 \frac{kg}{cm^2}$$

Verificamos los esfuerzos:

$$\sigma_{per} > \sigma_{real}$$

$$2,263.77 \frac{kg}{cm^2} > 21.3 \frac{kg}{cm^2} \quad CUMPLE$$

Reemplazamos en la ecuación 5 para determinar la fuerza en el fondo del cilindro.

$$F_f = 300 \frac{kg}{m^2} * \pi * 0.14m^2$$

$$F_f = 18.47 kg$$

La longitud de la soldadura será el perímetro de la circunferencia.

Reemplazamos en la ecuación 8

$$\tau = \frac{18.47 kg}{0.2cm * (28 * \pi)}$$

$$\tau = 1.05 \frac{kg}{cm^2}$$

Según el reglamento de soldadura el factor de seguridad es $n = 1.44$ para cortante.

$$\tau_{real} = 1.05 \frac{kg}{cm^2} * 1.44$$

$$\tau_{real} = 1.512 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazando en ecuación 9:

$$\tau_{per} = 0.4 * 3,772.95$$

$$\tau_{per} = 1,509.18 \frac{kg}{cm^2}$$

Verificamos las tensiones:

$$\tau_{per} > \tau_{real}$$

$$1,509.18 \frac{kg}{cm^2} > 1.512 \frac{kg}{cm^2} \quad CUMPLE$$

3.4 Diseño de tanque de enfriamiento y estructura

3.4.1 Parámetros de diseño

El tanque de alimentación deberá tener la capacidad de mantener el caudal contante durante el ensayo y garantizar el temple requerido.

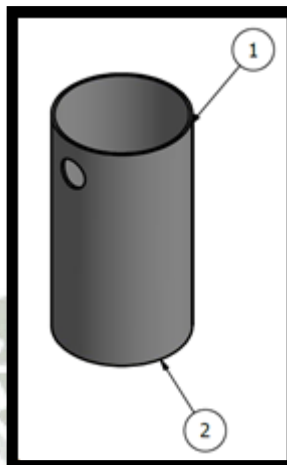


FIGURA 38: TANQUE DE ENFRIAMIENTO

Fuente: Propia

PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Base de Tanque
2	1	Anillo de Tanque

TABLA 4: COMPONENTES TANQUE DE ENFRIAMIENTO

Fuente: Propia

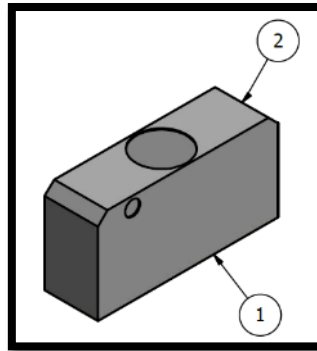


FIGURA 39: ESTRUCTURA DE TANQUE DE ENFRIAMIENTO

Fuente: Propia

PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	2	Tapa Lateral
2	1	Tapa Superior

TABLA 5: COMPONENTES ESTRUCTURA DE ENFRIAMIENTO

Fuente: Propia

Para cumplir con los requerimientos de funcionamiento el tanque de enfriamiento deberá tener las dimensiones necesarias para que entre una probeta y se pueda enfriar. Se considera:

$$\text{Diametro } (D_E) = 9\text{cm}$$

$$\text{Altura } (H_E) = 17\text{cm}$$

La estructura se dimensiona de tal manera que pueda ingresar el tanque de enfriamiento y las líneas de descarga de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$

3.4.2 Cálculo de volumen de agua

Deberá ser necesario para sumergir la probeta.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 4.5\text{cm}^2 * 17\text{cm}$$

$$V = 1,081.5\text{cm}^3$$

$$V = 1.08 \text{ Litros}$$

3.4.3 Cálculo de espesor de anillo

Se entiende que debido a las dimensiones del tanque el espesor de los anillos también será pequeño; al igual que en los otros tanques las tensiones del fondo del tanque se distribuyen uniformemente en el anillo del tanque

Reemplazando en la ecuación (3):

$$P = 1,000 \frac{kg}{m^3} * 0.17m$$

$$P = 170 \frac{kg}{m^2} = 0.017 \frac{kg}{cm^2}$$

Teniendo en cuenta la corrosión, soldabilidad, y seguridad se utilizara acero inoxidable 304. Para el acero inoxidable 304 el esfuerzo permisible, es de ($\sigma_p = 35 \text{ KSI} = 2,460.69 \frac{kg}{cm^2}$ (Robert L. Moot, 2006).

Reemplazando en la ecuación (2) determinamos el espesor.

$$2,460.69 \frac{kg}{cm^2} = \frac{0.017 \frac{kg}{cm^2} * 4.5cm}{e}$$

$$e = 3.108 \times 10^{-4} cm$$

Se utilizara plancha inoxidable 304 de 2mm.

3.4.4 Calculo de soldadura

Este tanque se diseña bajo las mismas condiciones y parámetros de los demás tanques.

Reemplazamos en la ecuación 5 para determinar la fuerza en el fondo del cilindro.

$$F_f = 170 \frac{kg}{m^2} * \pi * 0.045m^2$$

$$F_f = 1.08 kg$$

La longitud de la soldadura será el perímetro de la circunferencia.

Reemplazamos en la ecuación 8

$$\tau = \frac{1.08 kg}{0.2cm * (9 * \pi)}$$

$$\tau = 0.191 \frac{kg}{cm^2}$$

Según el reglamento de soldadura el factor de seguridad es $n = 1.44$ para cortante.

$$\tau_{real} = 0.191 \frac{kg}{cm^2} * 1.44$$

$$\tau_{real} = 0.28 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazando en ecuación 9:

$$\tau_{per} = 0.4 * 3,772.95$$

$$\tau_{per} = 1,509.18 \frac{kg}{cm^2}$$

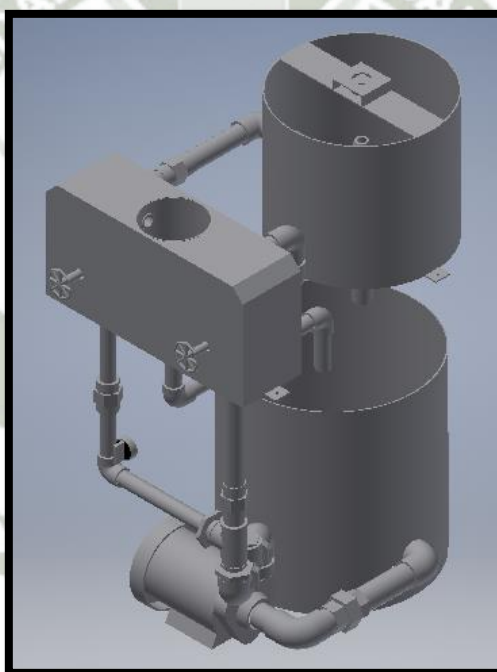
Verificamos las tensiones:

$$\tau_{per} > \tau_{real}$$

$$1,509.18 \frac{kg}{cm^2} > 0.28 \frac{kg}{cm^2} \quad CUMPLE$$

3.5 Cálculo y selección del sistema hidráulico

El sistema hidráulico deberá estar calculado de acuerdo a la norma que estamos realizando el diseño, ya que debe de ser lo más exacto posible.



**FIGURA 40: SISTEMA HIDRÁULICO
MODULO DE JOMINY**

Fuente: Propia

3.5.1 Cálculo de velocidad de salida en el sistema

Las condiciones del sistema hidráulico son las siguientes:

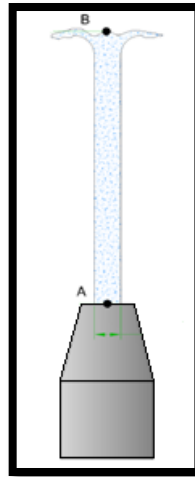


FIGURA 41: ALTURA DE CHORRO

Fuente Propia

- Altura de chorro de agua: 63.5mm
- Diámetro de salida de tobera: 12.7mm
- Temperatura del agua 19°C (Temperatura ambiente)

Según la ecuación de Bernoulli se determina la velocidad de salida del fluido (Mott R. L., 2006, p. 179)

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

P_A : Presión en el punto A.

γ : Peso específico del fluido agua.

Z_A : Altura del punto A desde un punto referencial.

g : Gravedad

V_A : Velocidad del fluido en el punto A.

P_B : Presión en el punto B.

Z_B : Altura del punto B desde un punto referencial.

V_B : Velocidad del fluido en el punto B.

Se determina en el sistema que las presiones en el punto A y B son cero debido a que se encuentran expuestas al medio ambiente.

Se determina que la velocidad en el punto B es cero ya que el fluido desciende al llegar a este punto.

Aplicando la ecuación de Bernoulli se determina lo siguiente:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

$$Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B$$

Al despejar la velocidad en el punto A se obtiene:

$$V_A = \sqrt{(Z_B - Z_A) * 2g}$$

$$V_A = \sqrt{(0.0635 \text{ m} - 0 \text{ m}) * 2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$V_A = 1.116 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

3.5.2 Cálculo de caudal en el sistema hidráulico

Luego de determinar la velocidad de salida del fluido se determina el caudal en el sistema hidráulico para esto se debe conocer el área de salida del fluido o diámetro de la tobera que es igual a 12.7 mm de diámetro interno.

$$Area = \frac{\pi d^2}{4} \quad (10)$$

Donde:

d: Diámetro de salida del fluido

$$Area = \frac{\pi * 0.0127^2}{4}$$

$$Area = 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Se determina el caudal del sistema hidráulico, según Mott (2006, pag 628) mediante la ecuación:

$$Q = V * A \quad (11)$$

Donde:

Q: Caudal.

V: Velocidad

A: Área

$$Q = 1.116 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 1.22 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 1.36 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ gal}}{0.0037 \text{ m}^3} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 2.205 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

3.5.3 Selección de tubería del sistema

3.5.3.1 Sustentación

Según Mott R. L. (2006, Pag. 163) (Anexo 4) (Anexo 5) para la selección de tuberías se requiere definir:

Caudal del sistema

Función de tubería (descarga o alimentación)

Para nuestro sistema hidráulico el caudal es $2.205 \frac{gal}{min}$ y según la gráfica el valor más próximo es $10 \frac{gal}{min}$; por lo tanto se selecciona las siguientes tuberías:

Línea de Alimentación Tramo A-A': 1"

Línea de Descarga Tramo B-B': 1"

Línea de Descarga Tramo C-C': 3/4"

Línea de Descarga Tramo D-D': 1/2"

Línea de Drenaje Tramo E-E': 1/2"

3.5.4 Calculo de tobera de reducción

Debido a que el diámetro interno de una tubería de 3/4" es mayor al requerido se debe diseñar una tobera de reducción, la finalidad de la tobera de reducción es permitir una salida uniforme del fluido durante el ensayo, la cual deberá ser diseñada considerando la altura del chorro de agua, la conicidad, fricción, etc.

Para una tubería de 3/4" las dimensiones son las siguientes:

Diámetro interior: 20.96 mm

Diámetro exterior: 26.7 mm

Los datos iniciales de cálculo son:

Diámetro interior de la tobera (D_{tobera}): 20.96 mm

Diámetro de salida de tobera (d_{tobera}): 12.7 mm según norma ASTM A255.

3.5.4.1 Grado de conicidad de tobera

Para el diseño de la tobera de reducción se analiza como un conducto de contracción suave, para lo cual el grado de conicidad se determina por la ecuación:

$$k = \frac{L}{(D_{tobera} - d_{tobera})} = \frac{1}{2 * tg(\theta)} \quad (12)$$

Donde:

K : Grado de conicidad de la boquilla

θ : Abertura del cono.

L : Longitud de la boquilla (25.4mm)

Entonces:

Despejando $Tg\theta$ de la ecuación (12), la abertura del cono se determina por:

$$Tg\theta = \frac{D_{tobera} - d_{tobera}}{2 * L}$$

$$\theta = \frac{20.96mm - 12,7mm}{2 * 25.4mm}$$

$$\theta = 9,22^\circ$$

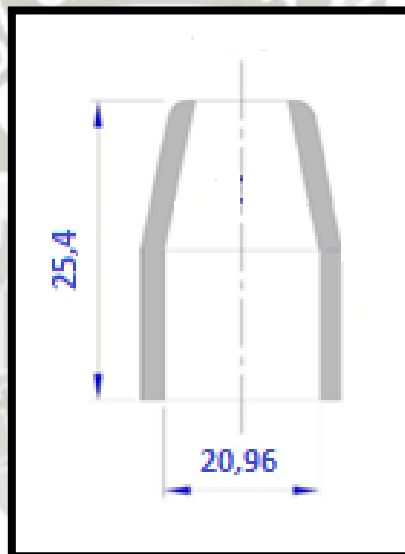


FIGURA 42: TOBERA DE CHORRO

Fuente: Propia

3.5.5 Elementos del sistema hidráulico

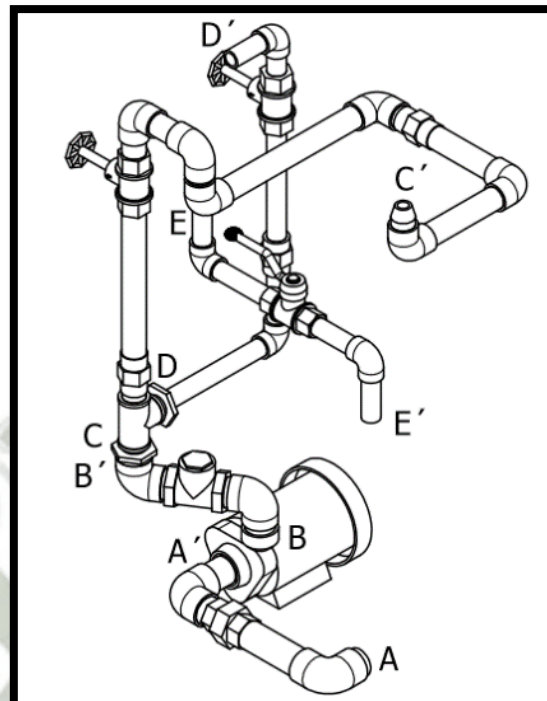


FIGURA 43: SISTEMA HIDRÁULICO

Fuente: Propia

3.5.5.1 Línea de alimentación 1"

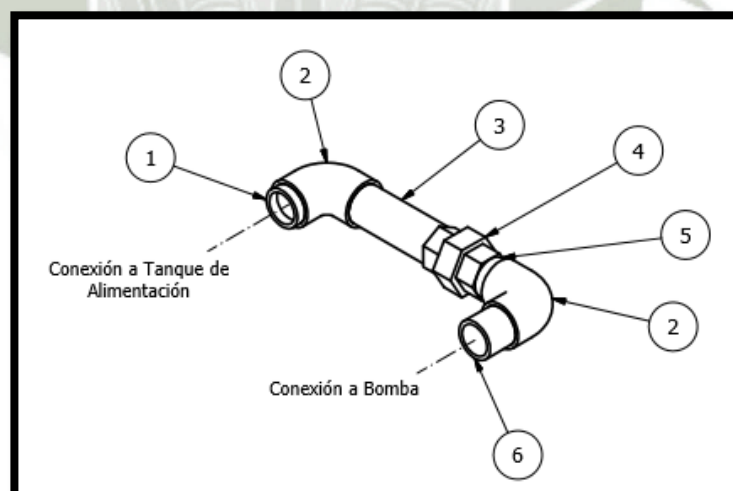


FIGURA 44: LÍNEA DE ALIMENTACIÓN 1"

Fuente: Propia

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Niple 1	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=18mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1"	90°, galvanizado, roscado
3	1	Niple 2	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=100mm, ANSI B16.11
4	1	Union Universal 1"	Galvanizada, roscada
5	1	Niple 3	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=30mm, ANSI B16.11
6	1	Niple 4	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=47mm, ANSI B16.11

TABLA 6: COMPONENTES DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN 1"

Fuente: Propia

3.5.5.2 Línea de descarga de 1"

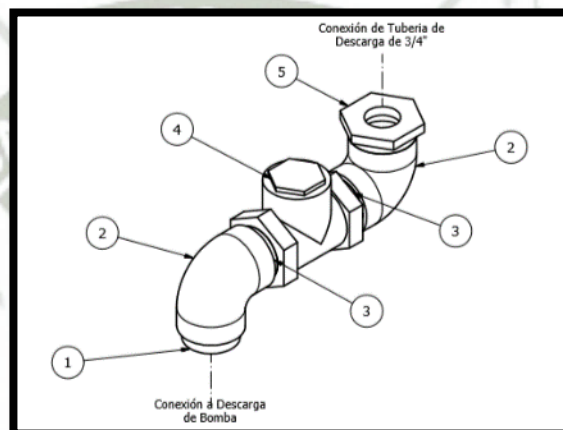


FIGURA 45: LÍNEA DE DESCARGA 1"

Fuente: Propia

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=28mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1"	90°, galvanizado, roscado
3	2	Niple 2	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
4	1	Valvula Check 1"	Roscada, ANSI B16.11
5	1	Reducción Bushing	Roscada, ANSI B16.11

TABLA 7: COMPONENTES LÍNEA DE DESCARGA 1"

Fuente: Propia

3.5.5.3 Línea de descarga de 3/4"

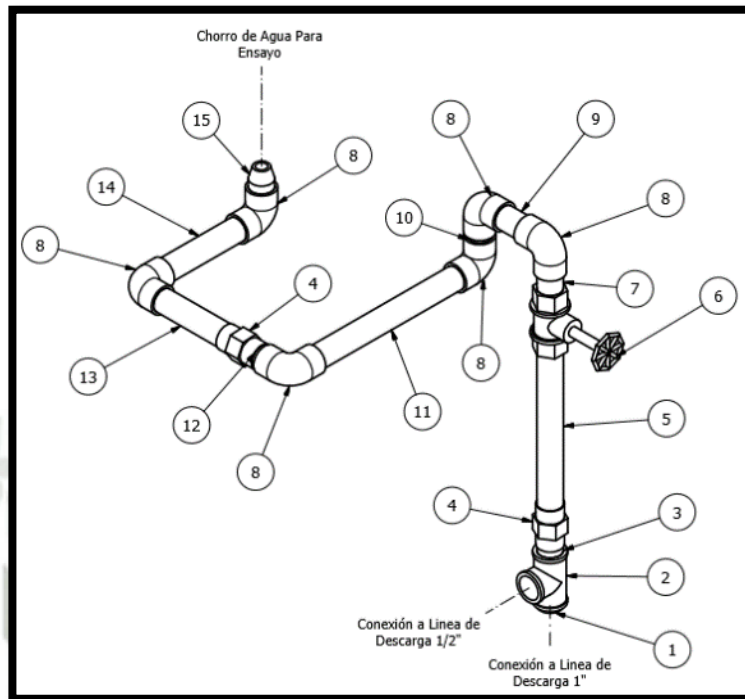


FIGURA 46: LÍNEA DE DESCARGA 3/4 "

Fuente: Propia

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
2	1	Tee de 3/4"	
3	1	Niple 2	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=28mm, ANSI B16.11
4	2	Union Universal 3/4"	Galvanizada, roscada
5	1	Niple 3	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=210mm, ANSI B16.11
6	1	Valvula Compuerta 3/4"	Roscada
7	1	Niple 4	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=40mm, ANSI B16.11
8	6	Codo 3/4"	90°, galvanizado, roscado
9	1	Niple 5	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=50mm, ANSI B16.11
10	1	Niple 6	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
11	1	Niple 7	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=220mm, ANSI B16.11
12	1	Niple 8	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
13	1	Niple 9	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=110mm, ANSI B16.11
14	1	Niple 10	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=125mm, ANSI B16.11
15	1	Tobera 3/4" - 1/2"	Diametro Interno de Salida 12mm

TABLA 8: COMPONENTES LÍNEA DE DESCARGA 3/4 "

Fuente: Propia

3.5.5.4 Línea de descarga de 1/2"

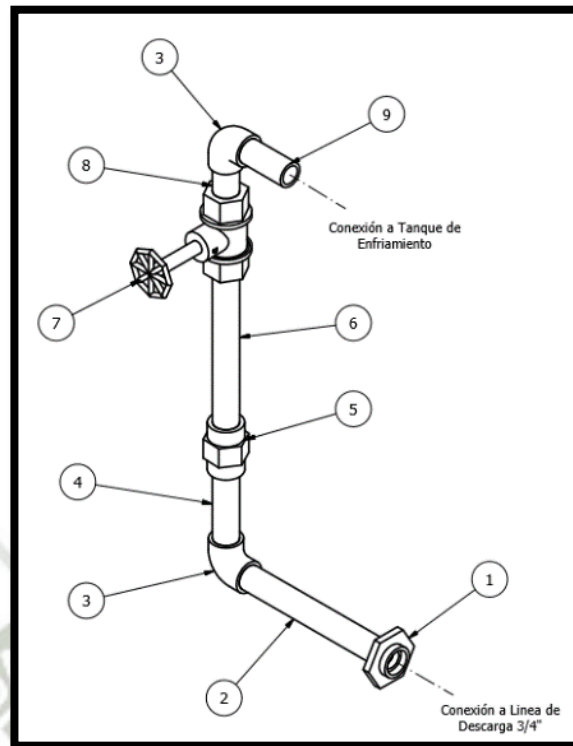


FIGURA 47: LÍNEA DE DESCARGA 1/2 "

Fuente: Propia

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Reducción Bushing 3/4" - 1/2"	Roscada
2	1	Niple 01	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=170mm, ANSI B16.11
3	2	Codo de 1/2"	90°, galvanizado, roscado
4	1	Niple 02	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=85mm, ANSI B16.11
5	1	Unión Universal 1/2"	Galvanizada, roscada
6	1	Niple 03	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=165mm, ANSI B16.11
7	1	Válvula Compuerta 1/2"	Roscada
8	1	Niple 04	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=45mm, ANSI B16.11
9	1	Niple 05	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=65mm, ANSI B16.11

TABLA 9: COMPONENTES LÍNEA DE DESCARGA 1/2"

Fuente: Propia

3.5.5.5 Línea de drenaje de 1/2"

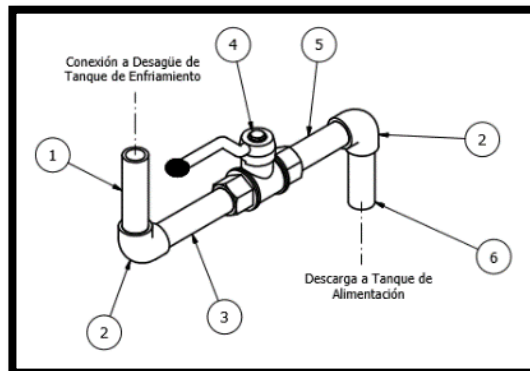


FIGURA 48: LÍNEA DE DRENAJE 1/2 "

Fuente: Propia

LISTA DE PARTE			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=90mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1/2"	
3	1	Niple 2	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=96mm, ANSI B16.11
4	1	Valvula de Bola 1/2"	Roscado
5	1	Niple 3	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=76mm, ANSI B16.11
6	1	Niple 4	Galvanizado ASTM A53, SCH 40, extremos roscados, L=75mm, ANSI B16.11

TABLA 10: COMPONENTES LÍNEA DE DESCARGA 1/2"

Fuente: Propia

3.5.6 Calculo de pérdidas de energía en el sistema hidráulico

3.5.6.1 Perdidas menores

Las pérdidas menores de energía en el sistema hidráulico se determinan con el análisis de los componentes del sistema como válvulas, reducciones, codos, etc.

El cálculo y análisis de estos componentes determinan las perdidas menores del sistema, la ecuación de Darcy para la pérdida de energía (Shames, 1995, p. 329).

$$hl = \frac{K * V^2}{2 * g} \quad (13)$$

Donde:

K : Coeficiente de resistencia

V : Velocidad del fluido (m/s)

g : Gravedad (m/s²)

El factor de fricción se obtiene según tablas para tubería de ½", ¾", 1" (Mott R. L., 2006, p. 297)

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f
½	0.027	3½, 4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1¼	0.022	8-10	0.014
1½	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2½, 3	0.018		

TABLA 11: FACTOR DE FRICCIÓN EN LA ZONA DE TURBULENCIA COMPLETA PARA TUBERÍA DE ACERO COMERCIAL, NUEVA Y LIMPIA.

Fuente: (Mott R. L., 2006, p. 297)

Para nuestro sistema hidráulico los elementos que ofrecen resistencia al fluido y generan pérdidas menores en la línea de succión y descarga son los siguientes:

- **Válvula Check.**- esta válvula permite el flujo en una dirección y se emplean en la entrada de líneas de succión que conducen el fluido de un tanque de abastecimiento a una bomba (Mott R. L., 2006, p. 301). Según (Mott R. L., 2006, p. 294), el coeficiente de resistencia de una válvula check se determina por la siguiente ecuación:

$$K = ft \left(\frac{Le}{D} \right) = 100 * ft \quad (14)$$

Donde:

ft : Factor de fricción

$\frac{Le}{D}$: Longitud equivalente en diámetros de tubería

$$K = 100 \times 0,023$$

$$K = 2,3$$

- **Entrada de la tubería.**- En la entrada de la tubería se presenta la resistencia del fluido por un caso de contracción esto sucede cuando un fluido se mueve del tanque de alimentación hacia la tubería. Según Mott R. L. (2006, pag 293) este coeficiente debe ser 0.5 por el diseño empleado:

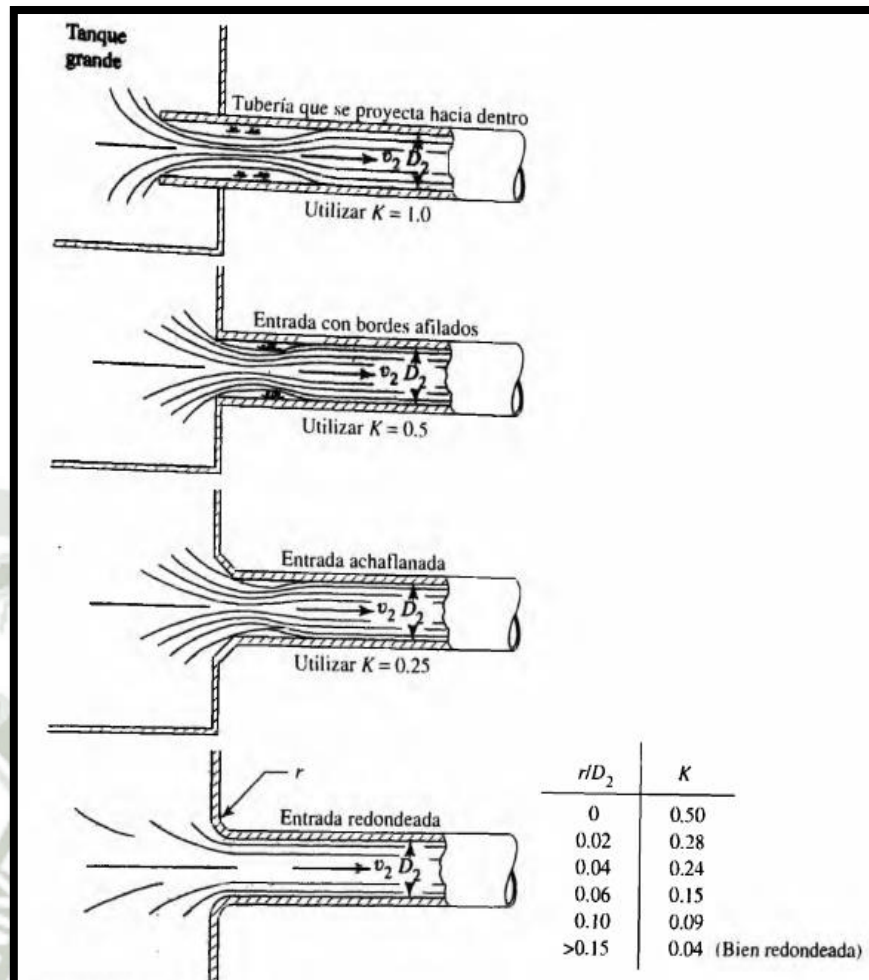


FIGURA 49: COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VÁLVULAS Y ACOPLAMIENTOS

Fuente: Mott R. L. (2006, pag 293)

- **Codo estándar 90°.-** Estos componentes cambian la trayectoria del fluido, las pérdidas que generan estos componentes tomando en cuenta su longitud equivalente para este caso es de 50. ($\frac{L_e}{D} = 50$). (Mott R. L., 2006, p. 296)

FIGURA - Codos de tubería

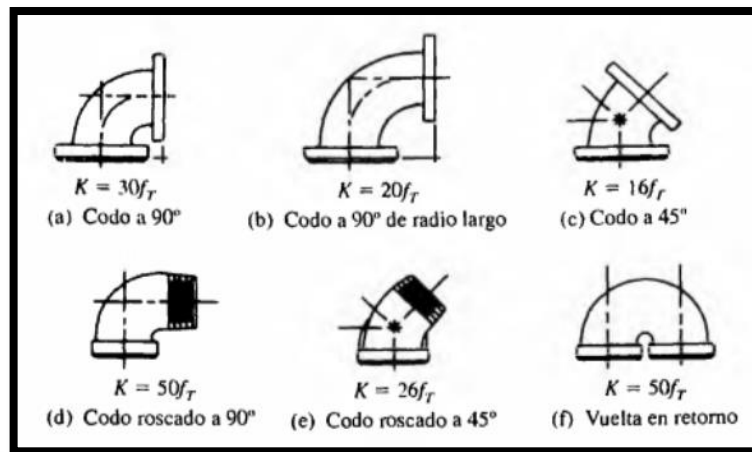


FIGURA 50: CODOS DE TUBERÍA

Fuente: (Mott R. L., 2006, p. 296)

Entonces:

$$K_{codo\ 1/2"} = 50 \times 0,027$$

$$K_{codo\ 1/2"} = 1,35$$

$$K_{codo\ 3/4"} = 50 \times 0,025$$

$$K_{codo\ 3/4"} = 1,25$$

$$K_{codo\ 1"} = 50 \times 0,023$$

$$K_{codo\ 1"} = 1,15$$

- **Válvula de compuerta.**- Esta válvula es uno de los mejores para la limitación de pérdida de energía. El factor de resistencia es de 8 con la válvula completamente abierta, 160 si la válvula está abierta a un 50% y un valor de 900 si la válvula está abierta a un 25% según (Mott R. L., 2006, p. 297)

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25

TABLA 12: LONGITUD EQUIVALENTE EN DIÁMETROS DE TUBERÍA

Fuente: (Mott R. L., 2006, p. 297)

El factor de fricción se obtiene según tablas para tubería de $1/2''$ y $3/4''$ (Mott R. L., 2006, p. 297)

$$V_{compuerta\ 1/2''} = 0,0027$$

$$V_{compuerta\ 3/4''} = 0,0025$$

Para la válvula compuerta de $1/2''$:

$$K_{val\ 100\% - 1/2''} = 8 \times 0,027$$

$$K_{val\ 100\% - 1/2''} = 0,216$$

$$K_{val\ 50\% - 1/2''} = 160 \times 0,027$$

$$K_{val\ 50\% - 1/2''} = 4,32$$

$$K_{val\ 25\% - 1/2''} = 900 \times 0,027$$

$$K_{val\ 25\% - 1/2''} = 24,3$$

Para la válvula compuerta de $3/4''$:

$$K_{val\ 100\% - 3/4''} = 8 \times 0,025$$

$$K_{val\ 100\% - 3/4''} = 0,2$$

$$K_{val\ 50\% - 3/4''} = 160 \times 0,025$$

$$K_{val\ 50\% - 3/4''} = 4$$

$$K_{val\ 25\% - 3/4''} = 900 \times 0,025$$

$$K_{val\ 25\% - 3/4''} = 22,5$$

- **Tobera de reducción.-** en la tobera de reducción para este caso con un ángulo menor a 45°, según Shames (1995, pag 337) el factor de resistencia K se calcula al aplicar la siguiente ecuación:

$$\theta \leq 45^\circ K = \frac{0.8 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\right]}{\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4} \quad (15)$$

$$\theta \leq 45^\circ K = \frac{0.8 \sin\left(\frac{18,24}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{12.7}{20.96}\right)^2\right]}{\left(\frac{12.7}{20.96}\right)^4}$$

$$\theta \leq 45^\circ K = 0.595$$

- **Unión Universal.-** accesorio conector. Es una pieza que se utiliza generalmente para instalaciones y reparación de sistema de distribución de agua.

$$K_{Unión\ universal} = 6 \times f_t$$

Para tubería de 1":

$$K_{Unión\ Universal\ 1"} = 6 \times f_t$$

$$K_{Unión\ Universal\ 1"} = 6 \times 0.023$$

$$K_{Unión\ Universal\ 1"} = 0.138$$

Para tubería de ¾":

$$K_{Unión\ Universal\ 3/4"} = 6 \times f_t$$

$$K_{Unión\ Universal\ 3/4"} = 6 \times 0.025$$

$$K_{Unión\ Universal\ 3/4"} = 0.15$$

Para tubería de ½":

$$K_{Unión\ Universal\ 1/2"} = 6 \times f_t$$

$$K_{Unión\ Universal\ 1/2"} = 6 \times 0.027$$

$$K_{Unión\ Universal\ 1/2"} = 0.162$$

- **Reducción bushing.-** Para una reducción según (Mott R. L., 2006, p. 288). Determinamos el factor de resistencia a partir de:

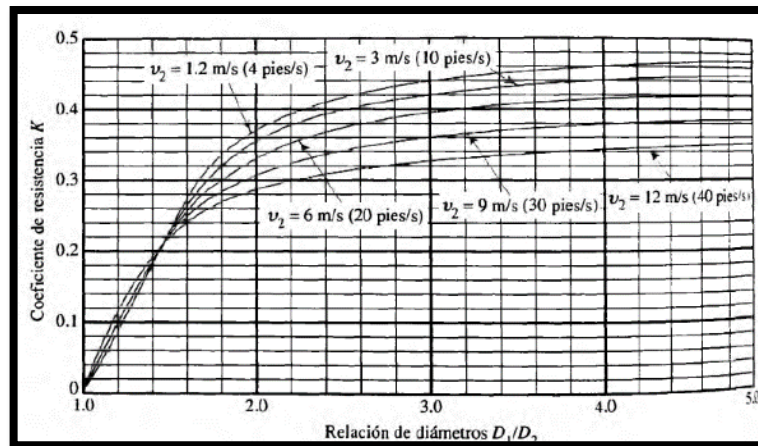


FIGURA 51: FACTOR DE RESISTENCIA BUSHING.

Fuente: (Mott R. L., 2006, p. 288)

Entonces:

Reducción de 1" a 3/4":

$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{1''}}{D_{3/4''}} &= \frac{26.64}{20.96} = 1.272 \\ V &= 0.394 \frac{m}{seg} \end{aligned} \right\} k = 0.11$$

Reducción de 3/4" a 1/2":

$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{3/4''}}{D_{1/2''}} &= \frac{20.96}{15.76} = 1.33 \\ V &= 0.697 \frac{m}{seg} \end{aligned} \right\} k = 0.11$$

- **Tee.-** Para el componente Tee que direcciona el flujo se tiene que determinar el factor de resistencia $K = 60f_t$ según (Mott R. L., 2006, p. 297)

$$K_{1''} = 60f_t$$

$$K_{1''} = 60(0.025)$$

$$K_{1''} = 1.5$$

- **Velocidad de fluido en el sistema.-** Se determina la velocidad del fluido (V) aplicando la ecuación (11):

Despejamos la velocidad de la ecuación (11):

$$V = \frac{Q}{A}$$

Para calcular la velocidad del fluido, se necesita calcular el área donde:

$$A = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

El área para tubería de 1/2":

$$A_{1/2''} = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_{1/2"} = \frac{\pi(15.76mm)^2}{4} \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$A_{1/2"} = 1.95 \times 10^{-4} m^2$$

El área para tubería de 3/4":

$$A_{3/4"} = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_{3/4"} = \frac{\pi(20.96mm)^2}{4} \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$A_{3/4"} = 3.45 \times 10^{-4} m^2$$

El área para tubería de 1":

$$A_{1"} = \frac{\pi(d)^2}{4}$$

$$A_{1"} = \frac{\pi(26.64mm)^2}{4} \times \frac{1m}{1000mm}$$

$$A_{1"} = 5.55 \times 10^{-4} m^2$$

Reemplazando en ecuación (11) calculamos la velocidad del fluido:

$$V = \frac{Q}{A}$$

La velocidad para tubería de 1/2":

$$V_{1/2"} = \frac{1.36 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{1.95 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_{1/2"} = 0.697 \frac{m}{seg}$$

La velocidad para tubería de 3/4":

$$V_{3/4"} = \frac{1.36 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{3.45 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_{3/4"} = 0.394 \frac{m}{seg}$$

La velocidad para tubería de 1":

$$V_{1"} = \frac{1.36 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}}{5.55 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V_{1"} = 0.244 \frac{m}{seg}$$

Perdidas menores en la succión.- Para determinar las pérdidas menores en la succión sumamos los factores obtenidos de los componentes que conforman esta línea de 1":

$$K_T = K_{codo\ 90^\circ} + K_{unión\ universal} + K_{entrada}$$

$$K_T = (1,15 \times 2) + 0.138 + 0.5$$

$$K_T = 2.938$$

Reemplazamos en la ecuación 13:

$$hl_{succión} = \frac{K * V^2}{2 * g} \quad (13)$$

$$hl_{succión} = \frac{2.938 * \left(0.244 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

$$hl_{succión} = 0.01\ m$$

Pérdidas menores en la descarga.- Para determinar las pérdidas menores en la descarga sumamos los factores obtenidos de los componentes que conforman esta línea de descarga de 1", ¾ y 1". Se determina las pérdidas menores en la descarga con el mayor factor de resistencia K

- Para la línea de descarga de 1":

$$K_{1"} = K_{codo\ 90^\circ} + K_{reducción} + K_{valv.\ chek}$$

$$K_{1"} = (1.15 \times 2) + 0.11 + 2.3$$

$$K_{1"} = 4.71$$

- Para la línea de descarga de ¾"

$$K_{3/4"} = K_{codo\ 90^\circ} + K_{tee} + K_{Unión\ universal} + K_{valv.\ compuerta} + K_{tobera}$$

$$K_{3/4"} = (1.25 \times 6) + 1.5 + (0.15 \times 2) + 22.5 + 0.595$$

$$K_{3/4"} = 32.395$$

- Para la línea de descarga de ½"

$$K_{1/2"} = K_{codo\ 90^\circ \times 2} + K_{Unión\ universal} + K_{valv.\ compuerta} + K_{reducción}$$

$$K_{1/2"} = (1.35 \times 2) + 0.162 + 24.3 + 0.11$$

$$K_{1/2"} = 27.272$$

Se determina el total de las pérdidas menores en la línea de descarga:

$$K_T = K_{1"} + K_{3/4"} + K_{1/2"}$$

$$K_T = 4.71 + 32.395 + 27.272$$

$$K_T = 64.377$$

Entonces de la ecuación 13:

$$hl_{Descarga} = \frac{K * V^2}{2 * g} \quad (13)$$

- Para la línea de descarga de 1":

$$hl_{1"} = \frac{4.71 * \left(0.244 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

$$hl_{1"} = 0.014$$

- Para la línea de descarga de 3/4":

$$hl_{3/4"} = \frac{32.395 * \left(0.394 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

$$hl_{3/4"} = 0.26$$

- Para la línea de descarga de 1/2":

$$hl_{1/2"} = \frac{27.272 * \left(0.394 \frac{m}{seg}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

$$hl_{1/2"} = 0.68$$

Las pérdidas menores totales:

$$hl_{Descarga} = hl_{1"} + hl_{3/4"} + hl_{1/2"}$$

$$hl_{Descarga} = 0.014 + 0.26 + 0.68$$

$$hl_{Descarga} = 0.954$$

3.5.6.2 Perdidas mayores

Las pérdidas mayores hl_m están determinadas por las tuberías seleccionadas, según el libro Mott R. L.(2006, pag.33) la ecuación que determina las pérdidas de energía es :

$$hl_m = fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2 * g} \quad (16)$$

Donde:

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

K : Coeficiente de Resistencia

V: Velocidad Del fluido (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

Para analizar el comportamiento del fluido laminar o turbulento se necesita calcular el número de Reynolds (NR), el comportamiento del fluido interviene en las pérdidas de energía del sistema Mott R. L (2006, pag. 231), el número de Reynolds se determina con la ecuación:

$$N_R = \frac{\vartheta x D x \rho}{\eta} \quad (17)$$

Donde:

ϑ : Velocidad promedio del flujo.

D: Diámetro interior de tubería.

ρ : Densidad del fluido.

η : Viscosidad del fluido (1.15×10^{-6}) m/seg²

v: Velocidad del fluido

- Para la línea de descarga de 1":

$$N_{R-1"} = \frac{0.244 \frac{m}{seg} \times 0.02664 m \times 1000 \frac{Kg}{m^3}}{1 \times 10^{-3} \frac{Kg}{m \times seg}}$$

$$N_{R-1"} = 6500.16$$

- Para la línea de descarga de ¾":

$$N_{R-3/4"} = \frac{0.394 \frac{m}{seg} \times 0.02096 m \times 1000 \frac{kg}{m^3}}{1 \times 10^{-3} \frac{Kg}{m \times seg}}$$

$$N_{R-1"} = 8258$$

- Para la línea de descarga de ½":

$$N_{R-1/2"} = \frac{0.697 \frac{m}{seg} \times 0.01576 m \times 1000 \frac{kg}{m^3}}{1 \times 10^{-3} \frac{Kg}{m \times seg}}$$

$$N_{R-1"} = 10984.72$$

El número de Reynolds determina si el fluido tiene un comportamiento laminar o turbulento según los siguientes parámetros:

- Si el número de Reynolds es menor que 2000 es un fluido laminar
- Si el número de Reynolds es mayor a 2000 este será turbulento
- Si el número de Reynolds esta entre los rangos de 20000 - 40000 es imposible predecir que flujo existe y se denomina región crítica.

El número de Reynolds en nuestro sistema es mayor a 2000 por lo tanto es un fluido turbulento.

Conociendo el número de Reynolds se calcula el factor de fricción con la siguiente ecuación.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 (D/\epsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (18)$$

Donde:

f : Factor de fricción flujo turbulento

D : Diámetro interno de tubería.

ϵ : Rugosidad relativa tubería hierro galvanizado

Según (Mott R. L., 2006, p. 235) se obtiene los valores de rugosidad:

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

TABLA 13: VALORES DE RUGOSIDAD

Fuente: (Mott R. L., 2006, p. 235)

Entonces:

Para la línea de descarga de 1":

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.02664}{1.5 \times 10^{-4}} \right)} + \frac{5.74}{6500.16^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0420$$

Para la línea de descarga de ¾":

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.02096}{1.5 \times 10^{-4}} \right)} + \frac{5.74}{8258^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0420$$

Para la línea de descarga de ½":

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.01576}{1.5 \times 10^{-4}} \right)} + \frac{5.74}{10984.72^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0430$$

Pérdidas mayores en la alimentación o succión.- Las pérdidas mayores en la línea de alimentación se calculan con la longitud de la tubería en la alimentación del sistema.

Datos:

$$L_{succión} = 0.34 \text{ m}$$

Al aplicar la ecuación 16 se obtiene:

- Para la línea de Alimentación de 1":

$$hl_{1"} = fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2 * g}$$

$$hl_{1"} = 0.042 x \frac{0.34 \text{ m}}{0.02664 \text{ m}} x \frac{\left(0.244 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$hl_{1"} = 1.63 x 10^{-2} \text{ m}$$

Pérdidas mayores en la descarga: estas pérdidas se las calculan con la longitud de la tubería en la zona de descarga del sistema.

Datos:

$$L_{succión 1"} = 0.223 \text{ m}$$

$$L_{succión 3/4"} = 1.296 \text{ m}$$

$$L_{succión 1/2"} = 0.223 \text{ m}$$

Al aplicar la ecuación 16 se obtiene:

- Para la línea de Alimentación de 1":

$$hl_{1"} = fx \frac{L}{D} x \frac{V^2}{2 * g}$$

$$hl_{1''} = 0.042 \times \frac{0.223 \text{ m}}{0.02664 \text{ m}} \times \frac{\left(0.244 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$hl_{1''} = 1.07 \times 10^{-2} \text{ m}$$

- Para la línea de Alimentación de ¾":

$$hl_{3/4''} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 * g}$$

$$hl_{3/4''} = 0.042 \times \frac{1.296 \text{ m}}{0.02096 \text{ m}} \times \frac{\left(0.394 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$hl_{3/4''} = 0.021 \text{ m}$$

- Para la línea de Alimentación de ½":

$$hl_{1/2''} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 * g}$$

$$hl_{1/2''} = 0.043 \times \frac{0.662 \text{ m}}{0.01576 \text{ m}} \times \frac{\left(0.697 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}$$

$$hl_{1/2''} = 0.088 \text{ m}$$

La sumatoria de pérdidas mayores de la línea de descarga:

$$hl_{descarga} = hl_{1''} + hl_{3/4''} + hl_{1/2''}$$

$$hl_{descarga} = 0.0107 \text{ m} + 0.021 \text{ m} + 0.088 \text{ m}$$

$$hl_{descarga} = 0.1197 \text{ m}$$

La sumatoria de las perdidas mayores seria:

$$hl_{perdidas mayores} = hl_{descarga} + hl_{alimentación}$$

$$hl_{perdidas mayores} = 0.1197 \text{ m} + 0.0163 \text{ m}$$

$$hl_{perdidas mayores} = 0.136 \text{ m}$$

3.5.6.3 Pérdidas totales de energía

Se denominan pérdidas totales a la suma de las pérdidas de la línea de alimentación y descarga con la válvula de compuerta 25% abierta.

Entonces:

$$hl_{total} = hl_{perdidas menores} + hl_{perdidas mayores}$$

$$hl_{totales} = 0.964 \text{ m} + 0.136 \text{ m}$$

$$hl_{totales} = 1.1 \text{ m}$$

3.5.7 Cálculo de la carga total sobre la bomba

La carga total sobre la bomba es la energía que una bomba agrega al sistema y se emplea como uno de los parámetros principales para seleccionar una bomba. (Mott R. L., 2006, p. 321)

Se la determina mediante la ecuación de la energía:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A + hl = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} \quad (19)$$

Donde:

P_A : Presión en el punto A.

γ : Peso específico (agua).

Z_A : Altura del punto A.

g : Gravedad

V_A : Velocidad del fluido en el punto A.

P_B : Presión en el punto B.

Z_B : Altura del punto B desde un punto referencial.

V_B : Velocidad del fluido en el punto B.

h_A : Carga total sobre la bomba.

hl : Pérdidas totales de energía.

Al analizar el sistema hidráulico se determina que en el punto A y el punto B el fluido está expuesto al medio ambiente por lo tanto las presiones en estos puntos es cero, la velocidad del fluido en el punto B es cero debido que el fluido al llegar a este punto retorna al tanque de alimentación (Máxima altura).

Analizando el sistema se determina las superficies de cada depósito durante el ensayo de Jominy considerando la altura que se genera entre el chorro de la tobera y la capacidad de llenado del tanque como se muestra en la figura 52:

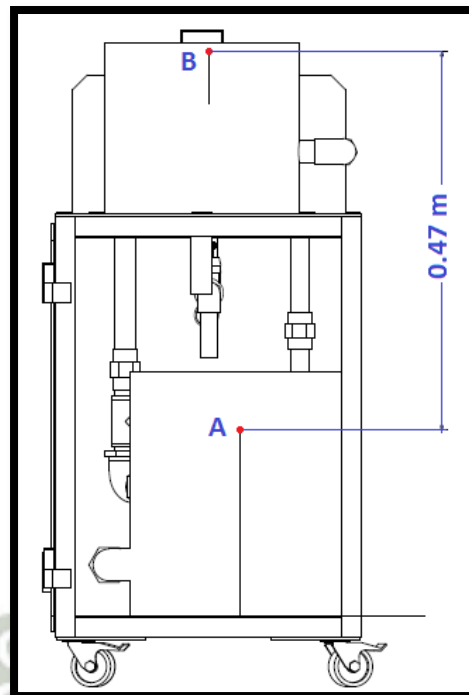


FIGURA 52: NIVEL DE AGUA PUNTO A - B.

Fuente: Propia

De la ecuación 19 determinamos lo siguiente:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + hl$$

$$h_A = 0.47 \text{ m} + 1.1 \text{ m}$$

$$h_A = 1.57 \text{ m}$$

3.5.8 Potencia suministrada a la bomba

La potencia que requiere la bomba para el sistema se la determina mediante la siguiente ecuación (Mott R. L., 2006, p. 211):

$$P = h_A \times \gamma \times Q \quad (20)$$

Donde:

h_A : Carga del fluido a la bomba

γ : Peso específico del fluido del Agua= $9800 \frac{N}{m^3}$)

Q : Caudal $\frac{m^3}{seg}$

Entonces:

$$P = 1.57 \text{ m} \times 9800 \frac{N}{m^3} \times 1.36 \times 10^{-4} \frac{m^3}{seg}$$

$$P = 2.1 \frac{Nm}{seg}$$

Transformamos la potencia a HP, donde:

$$1N = \frac{Kg \cdot m}{seg^2}; 1Watts = \frac{Kg \cdot m^2}{seg^3}; 1Watts = \frac{Kg \cdot m^2}{seg^3}; 1HP = 745.7watts$$

$$P = 2.1 \frac{\frac{Kg \cdot m}{seg^2} \times m}{seg}$$

$$P = 2.1 \frac{Kg \times m^2}{seg^3}$$

$$P = 2.1 W \times \frac{1 HP}{745.7 watts}$$

$$P = 2.8 \times 10^{-3} HP$$

3.5.9 Presión crítica en la salida de la bomba

La presión más crítica en el sistema se determina con la ecuación de energía con los puntos B y C que se muestran en el siguiente esquema:

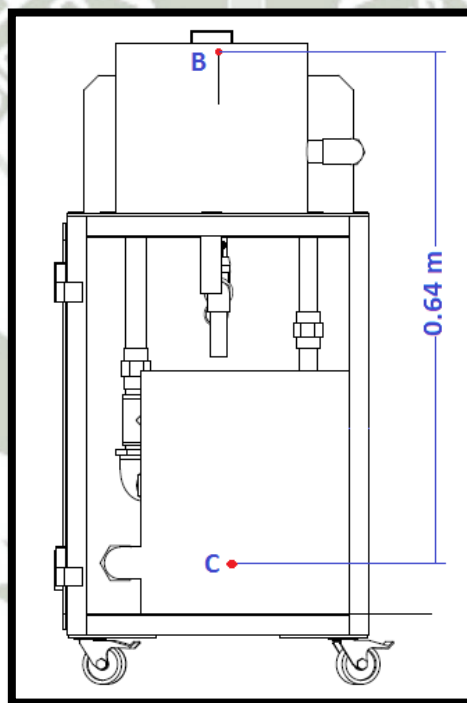


FIGURA 53: NIVEL DE AGUA PUNTO B – C

Fuente: Propia

La presión más crítica se encuentra en la salida de la bomba, según la ecuación 19 determinamos la presión:

$$\frac{P_C}{\gamma} + Z_C + \frac{V_C^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + hl$$

$$P_C = \left(Z_B - Z_C + hl - \frac{V_C^2}{2g} \right) \gamma$$

$$P_C = \left(0 - (-0.64 \text{ m}) + 1.1 \text{ m} - \frac{\left(0.244 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \right)^2}{2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} \right) 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$P_C = 17022.3 \text{ Pa}$$

Transformamos de pascales a PSI:

$$P_C = 17022.3 \text{ Pa} \times \frac{1 \text{ PSI}}{6894.76 \text{ Pa}}$$

$$P_C = 2.47 \text{ PSI}$$

3.5.10 Cálculo de NPSH

Para evitar la cavitación es necesario determinar la carga de succión neta requerida (NPSH), los fabricantes brindan estos datos en diferentes condiciones de operación de la bomba. En el actual diseño se garantiza la carga de succión.

Como factor de seguridad para el diseño consideramos 10%, es decir:

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R \quad (21)$$

Determinamos el $NPSH_A$ mediante la siguiente ecuación según Mott R. L. 2006 p. 414:

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (22)$$

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} \quad (23)$$

h_s : Diferencia de elevación de fluido desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba

P_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

$$P_{absoluta} = P_{atmosferica} + P_{manométrica} \quad (24)$$

La bomba está en nivel más bajo que el nivel de fluido por lo tanto este valor es positivo.

h_f : Pérdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y pérdidas menores

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} \quad (25)$$

Entonces:

Reemplazando en la ecuación 23 se obtiene:

$$h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{75516 \frac{N}{m^2}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_{sp} = 7.7 \text{ m}$$

De la ecuación 25 se obtiene:

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma}$$

P_{vp} : Presión de vapor agua a 20 °C = $2.338 \times 10^3 \text{ Pa}$

FIGURA – presión de vapor y carga de presión de vapor de agua (Mott R. L., 2006, p. 413)

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso específico (kN/m ³)	Carga de presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345
40	7.376	9.731	0.7580
50	12.33	9.690	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.250
80	47.34	9.530	4.967
90	70.10	9.467	7.405
100	101.3	9.399	10.78

TABLA 14: PRESIÓN DE VAPOR Y CARGA DE PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA

Fuente: Mott R. L., 2006, p. 413

$$h_{vp} = \frac{2.338 \times 10^3 \text{ Pa}}{9800 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_{vp} = 0.238 \text{ m}$$

El valor h_s es de 0.17m de la diferencia de alturas del nivel de referencia A y B.

$$h_s = 0.64 \text{ m} - 0.47 \text{ m}$$

$$h_s = 0.17 \text{ m}$$

Reemplazamos en la ecuación 22 se obtiene:

$$NPSH_A = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 7.706 \text{ m} + 0.17 \text{ m} - 0.01 \text{ m} - 0.238 \text{ m}$$

$$NPSH_A = 8.124 \text{ m}$$

Reemplazamos en la ecuación 21 calculamos la $NPSH_R$ máxima permisible para la bomba:

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R$$

$$NPSH_R < \frac{NPSH_A}{1.10}$$

$$NPSH_R < \frac{8.124}{1.10}$$

$$NPSH_R < 7.4$$

3.5.11 Curva del sistema

Para determinar la curva del sistema es necesario conocer el caudal y la carga total que requiere el sistema hidráulico.

Datos:

$$Q = 2.205 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$h_a = 0.64 \text{ m}$$

Para poder hallar el punto de operación es necesario determinar la curva del sistema representada por la ecuación:

$$H_s = \Delta Z + \sum \left[\left(\frac{8 \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^4} \right) \times (K_{tuberias} + K_{accesorios}) \right]$$

Donde:

H_s : Altura de Sistema

ΔZ : Diferencia de Altura

Q : Caudal

g : Gravedad

D : Diametro

$K_{tuberias}$: Coeficiente de Resistencia

$K_{accesorios}$: Coeficiente de Resistencia

Reemplazamos en:

$$H_s = 0.64 + \sum \left[\left(\frac{8 \times Q^2}{\pi^2 \times 9.81 \times 0.02096^4} \right) \times (64.377) \right]$$

Tabulamos datos para determinar la curva de sistema:

CURVA DE SISTEMA	
Q (Gln/Hr)	H (m)
0.00	0.64
9.63	0.64
19.25	0.65
28.88	0.66
38.50	0.68
48.13	0.71
57.75	0.74
67.38	0.77
77.01	0.81
86.63	0.86
96.26	0.91
105.88	0.97
115.51	1.03
125.13	1.10
134.76	1.17
144.39	1.25
154.01	1.33
163.64	1.42
173.26	1.52
182.89	1.62
192.51	1.73
202.14	1.84
211.76	1.95
221.39	2.08
231.02	2.20
240.64	2.34
250.27	2.47
259.89	2.62

TABLA 15: CURVA DEL SISTEMA

Fuente: Propia

Graficamos valores tabulados:

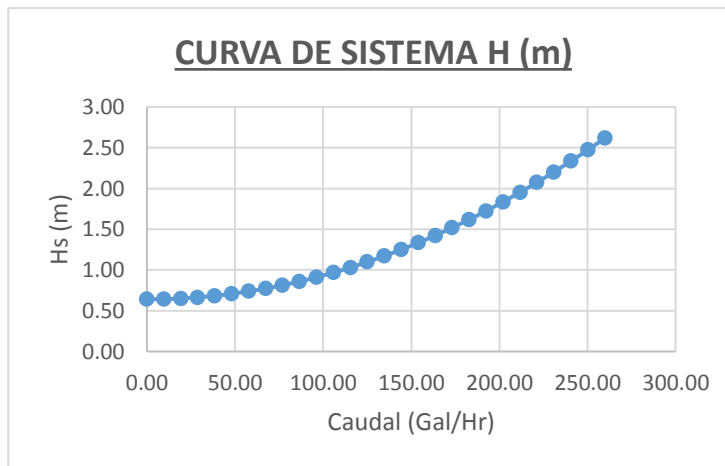


FIGURA 54: CURVA DEL SISTEMA

Fuente: Propia

3.5.12 Curva de Bomba

Para nuestro sistema se requiere una bomba centrífuga de 1/40 HP (Anexo 6) debido a que nuestro caudal es de $2.205 \frac{gal}{min}$

Esta curva es facilitada por el fabricante de la bomba. Cabe resaltar que se considera una apertura de 25% de la válvula.

CURVA DE BOMBA	
Q (Gln/Hr)	H (m)
0	3.6
20	3.45
40	3.3
60	3.15
80	3
100	2.7
120	2.4
140	2.25
160	2
180	1.8
200	1.6
220	1.3
240	1.1
260	0.8
280	0.6
300	0.3

TABLA 16: CURVA DE LA BOMBA

Fuente: Little GIANT

Graficamos valores tabulados

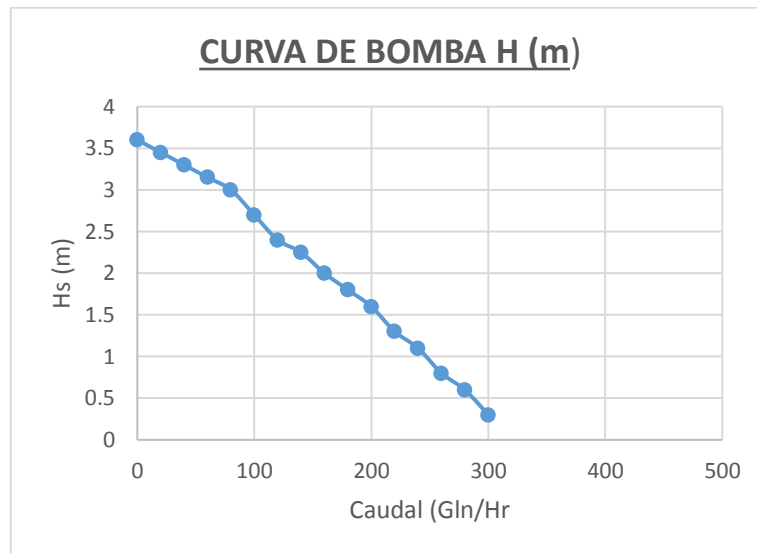


FIGURA 55: CURVA DE BOMBA

Fuente: Propia

3.5.13 Punto de Operación

El punto de operación es determinado por la intersección de la curva de sistema y curva de bomba.

La bomba seleccionada de 1/40HP es idónea para el sistema hidráulico del módulo de Jominy.

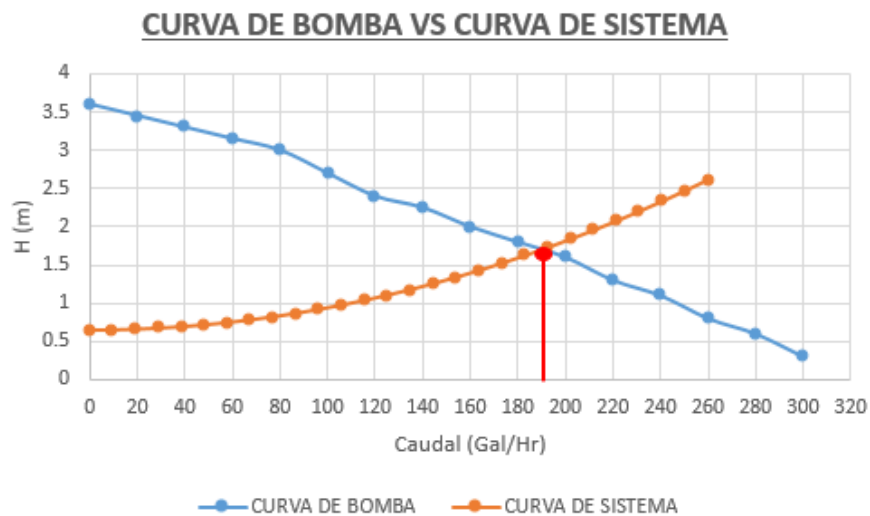


FIGURA 56: CURVA DE BOMBA VS CURVA DE SISTEMA

Fuente: Propia

El valor del punto de operación es de 190 $\frac{gal}{hr}$ cumpliendo con lo requerido.

4. Capítulo 4 – Construcción y validación experimental de la maquina

4.1 Ensamblaje y pruebas de funcionamiento

La máquina de ensayo de Jominy está compuesta de los siguientes materiales:

La estructura de la maquina es de acero ASTM A-36. (Anexo 7)

El tanque de alimentación, tanque porta probetas, tanque de enfriamiento y las planchas bases son de acero INOX A 304.

El sistema hidráulico está compuesto por tuberías galvanizadas de 1", ¾" y ½".



FIGURA 57: MODULO DE JOMINY

Fuente: Propia

4.2 Ensamblaje del sistema hidráulico

El ensamble del sistema hidráulico consta de la línea de succión de 1" y la línea de descarga de 1", ¾" y ½".

4.2.1 Línea de succión de 1"

La línea de succión del sistema hidráulico es de 1" y consta de los siguientes accesorios:

N°	Cant.	Nombre	Material	Dimensión
1	4	Niple	Galvanizado	1"
2	2	Codo de 90°	Galvanizado	1"
3	1	Unión universal	Galvanizado	1"

TABLA 17: LISTA DE PARTES LÍNEA SUCCIÓN 1"

Fuente: Propia

4.2.2 Línea de descarga de 1"

La línea de descarga del sistema hidráulico de 1" consta de los siguientes accesorios:

N°	Cant.	Nombre	Material	Dimensión
1	2	Niple	Galvanizado	1"
2	1	Codo de 90°	Galvanizado	1"
3	1	Valvula Check	Hierro Fundido	1"
4	1	Reducción Bushing	Galvanizado	1" - 3/4"

TABLA 18: LISTA DE PARTES LÍNEA DE DESCARGA 1"

Fuente: Propia

4.2.3 Línea de descarga de 3/4"

La línea de descarga del sistema hidráulico de 3/4" consta de los siguientes accesorios:

N°	Cant.	Nombre	Material	Dimensión
1	10	Niple	Galvanizado	3/4"
2	1	Tee	Galvanizado	3/4"
3	1	Unión universal	Galvanizado	3/4"
4	1	Valvula compuerta	Hierro fundido	3/4"
5	6	Codo de 90°	Galvanizado	3/4"
6	1	Tobera	Galvanizado	3/4" - 1/2"

TABLA 19: LISTA DE PARTES LÍNEA DESCARGA 3/4"

Fuente: Propia

4.2.4 Línea de descarga de 1/2"

La línea de descarga del sistema hidráulico de 1/2" consta de los siguientes accesorios:

N°	Cant.	Nombre	Material	Dimension
1	5	Niple	Galvanizado	1/2"
2	1	Reducción Bushing	Galvanizado	3/4" - 1/2"
3	1	Unión universal	Galvanizado	1/2"
4	1	Valvula compuerta	Hierro fundido	1/2"
5	2	Codo de 90°	Galvanizado	1/2"

TABLA 20: LISTA DE PARTES LÍNEA DESCARGA 1/2"

Fuente: Propia

4.2.5 Línea de drenaje de 1/2"

La línea de drenaje del sistema hidráulico de 1/2" consta de los siguientes accesorios:

N°	Cant.	Nombre	Material	Dimension
1	4	Niple	Galvanizado	1/2"
2	2	Codo de 90°	Galvanizado	1/2"
3	1	Valvula de Bola	Bronce	1/2"

TABLA 21: LISTA DE PARTES LÍNEA DRENAJE 1/2"

Fuente: Propia

4.2.6 Ensamble general del sistema hidráulico

El sistema hidráulico de la máquina de ensayo de Jominy se realizó con los siguientes materiales:

- Cinta teflón
- Formador de empaque
- Tarraja manual

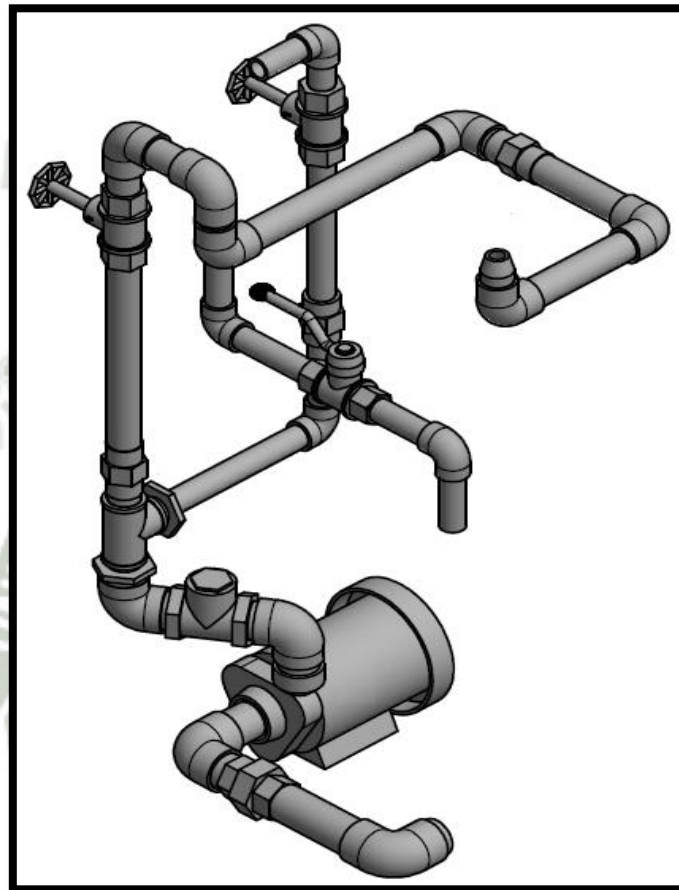


FIGURA 58: ENSAMBLE GENERAL DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Fuente: Propia

4.3 Pruebas de funcionamiento

Para el funcionamiento de la maquina Jominy se procede:

- Llenar con agua el tanque de alimentación a la bomba centrífuga, la medida recomendada 13 litros.
- Encender la maquina Jominy posicionando el selector en posición On.
- Con las válvulas compuerta regulamos el caudal de la línea de descarga obteniendo la altura del chorro de agua (63.5 mm) según los requerimientos de la norma ASTM A255.

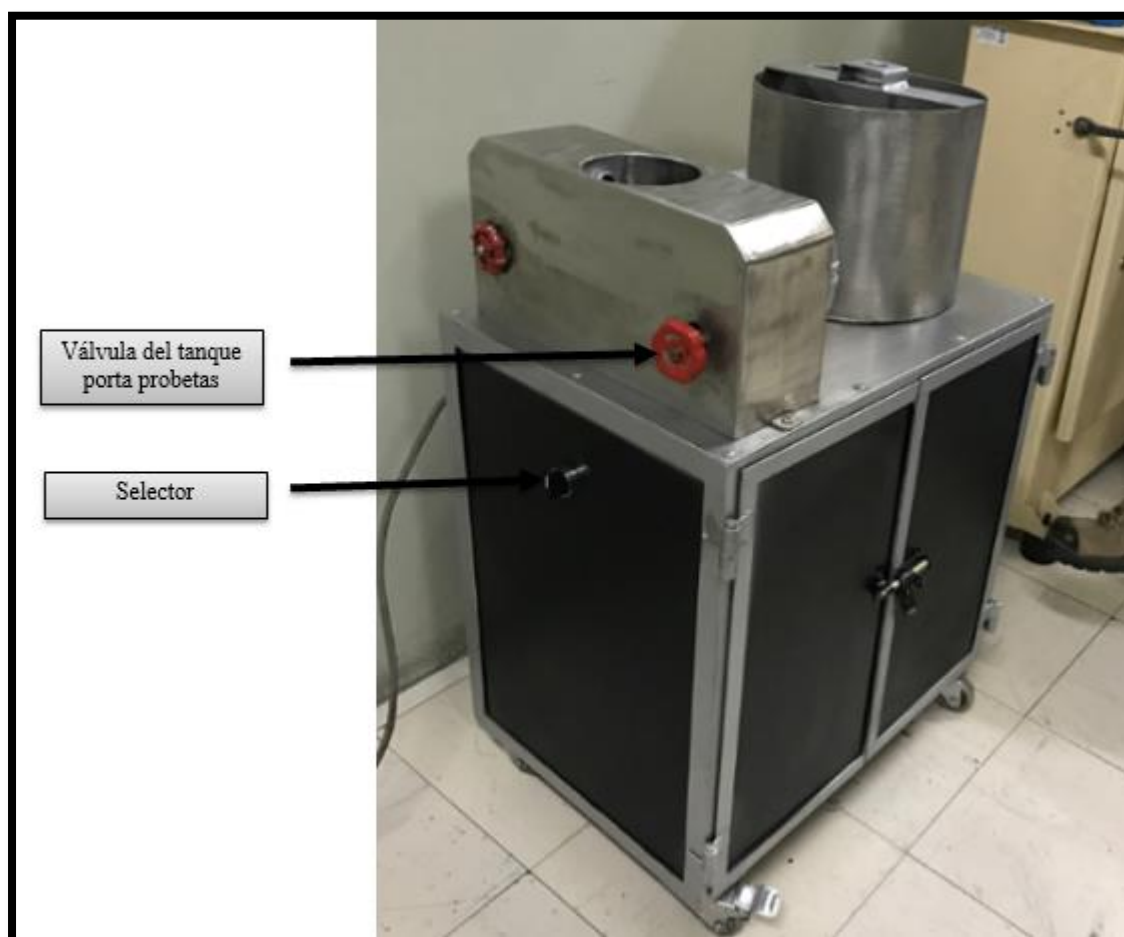


FIGURA 59: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Fuente: Propia

4.4 Procedimiento experimental

4.4.1 Maquinado de acero SAE 1020 y 1045

Para realizar el ensayo de jominy se requiere probetas con las siguientes medidas:

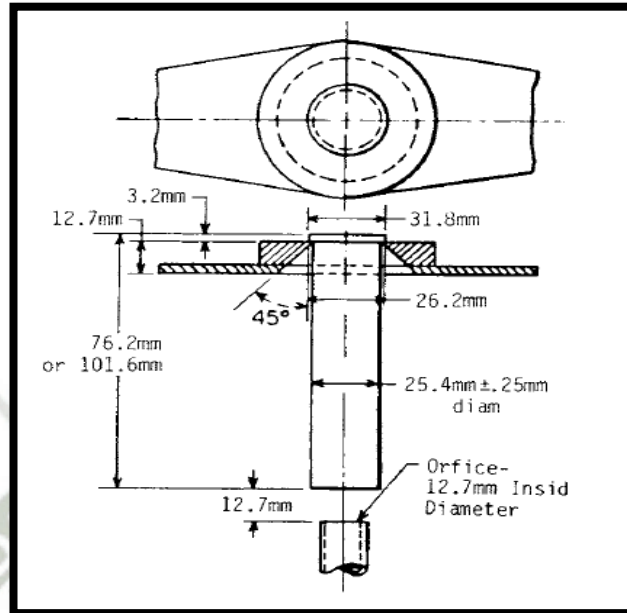


FIGURA 60: DIMENSIONES PROBETA JOMINY

Fuente: ASTM A255

Al obtener el acero SAE 1020 y 1045 (Anexo 8) de 1 ½" de diámetro se procede a maquinarlo para llegar a las medidas requeridas según la norma ASTM A255.



FIGURA 61: MAQUINADO DE PROBETAS JOMINY

Fuente: Propia



FIGURA 62: TORNEADO DE PROBETAS JOMINY

Fuente: Propia



FIGURA 63: PROBETAS DE ACERO TORNEADA

Fuente: Propia

4.4.2 Ensayo de Jominy SAE 1020 y 1045

Una vez maquinadas las probetas de acero SAE 1020 y 1045 se procede a realizar el ensayo de Jominy donde debemos tener las siguientes consideraciones:

- Verificar que la probeta este en buenas condiciones y tenga las medidas según la norma ASTM A255.



**FIGURA 64: PROBETA DE ACERO TORNEADA –
ACABADO**

Fuente: Propia

- Verificar los EPPs necesarios (Mandil de cuero, guantes de cuero caña larga, lentes de seguridad y zapatos de seguridad).



FIGURA 65: EPPS PARA ENSAYO DE JOMINY

Fuente: Propia

- Colocar y calentar la probeta en el horno de resistencia desde temperatura ambiente hasta los 925 °C, una vez que se alcance la temperatura indicada la probeta deberá permanecer 30 min más dentro del horno.



FIGURA 66: HORNO ELÉCTRICO EN FUNCIONAMIENTO

Fuente: Propia

- Antes de retirar la probeta del horno, se deberá ajustar la altura del chorro desde la superficie de la tobera a 63.5 mm según norma ASTM A255. El tiempo entre sacar la probeta del horno y colocar en el módulo no deberá ser mayor a 5 segundos.



FIGURA 67: RETIRO DE PROBETA JOMINY – HORNO ELÉCTRICO

Fuente: Propia

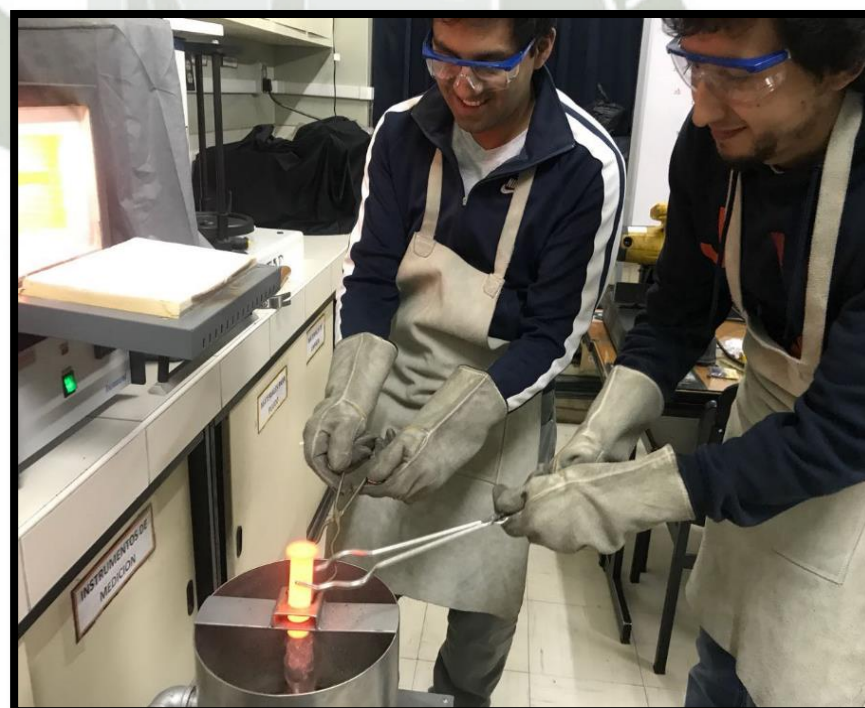


FIGURA 68: INGRESO DE PROBETA JOMINY A MODULO

Fuente: Propia



FIGURA 69: INICIO DE ENSAYO JOMINY

Fuente: Propia

- Mantener el chorro de agua contra la cara inferior de la probeta durante 10 min.



FIGURA 70: ENFRIAMIENTO DE PROBETA JOMINY

Fuente: Propia



FIGURA 71: ENFRIAMIENTO DE PROBETA JOMINY ETAPA - MEDIA

Fuente: Propia



FIGURA 72: ENFRIAMIENTO DE PROBETA JOMINY ETAPA – FINAL

Fuente: Propia

- Pasado el tiempo requerido retirar la probeta y colocar en el tanque de enfriamiento, la cual estará llena de agua de tal manera la probeta es sumergida en su totalidad.



FIGURA 73: RETIRO DE PROBETA JOMINY

Fuente: Propia

- Después de enfriar la probeta en su totalidad, se deberán maquinar 2 superficies planas a 180° con una profundidad mínima de 0.38mm



FIGURA 74: MAQUINADO DE PROBETAS JOMINY – FRESADO

Fuente: Propia



FIGURA 75: PROBETAS MAQUINADAS – FRESADO

Fuente: Propia

- Una vez maquinadas las probetas según especificaciones de la norma ASTM A255, se procede a pulir ambas superficies de la probeta con lijar al agua de 150, 180, 220, 320, 400, 600, 800 y 1000.



FIGURA 76: PULIDO DE PROBETAS JOMINY

Fuente: Propia



FIGURA 77: PULIDO DE PROBETAS JOMINY EN MAQUINA DE PULIDO

Fuente: Propia



FIGURA 78: PROBETAS DE JOMINY PULIDAS

Fuente: Propia

- Para realizar el ensayo de dureza Rockwell C se procede a realizar el pulido final con Lijar 2000 utilizando luminia como limpiador de superficies.



FIGURA 79: PULIDO FINAL CON LUMINIA

Fuente: Propia

- Luego de pulir las probetas se procede a realizar el ensayo de dureza Rockwell C en el durómetro para los aceros SAE 1020 y 1045 a las siguientes distancias:
Para acero SAE 1045

PRUEBA 01			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	56	56	0
3.2	55	55	0
4.8	47	47	0
6.4	39	38.5	0.5
8	33	33.5	0.5
9.6	29	32	3
11.2	29	29	0
12.8	28	31	3
14.4	27.5	27.5	0
16	27.5	27.5	0
17.6	25	26	1
19.2	24.5	24	0.5
20.8	24	24	0
22.4	23	23	0
24	22	22	0
25.6	21.5	21.5	0
28.57	21	21	0
31.75	20.5	20.5	0
34.92	19.5	19.5	0
38.1	15	15	0
44.45	12.5	13	0.5
50.8	11.5	11.5	0

TABLA 22: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 01 – SAE 1045

Fuente: Propia

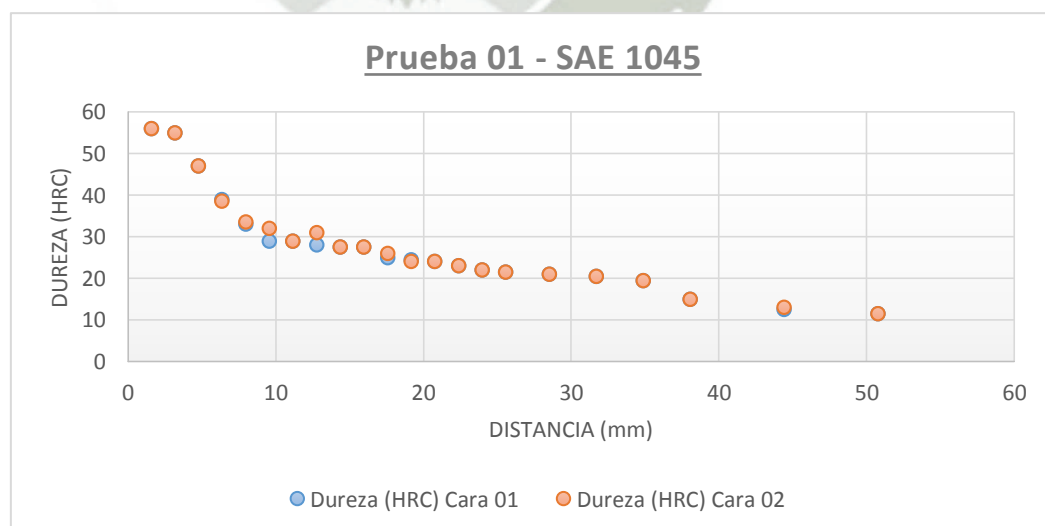


FIGURA 80: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 01 – SAE 1045

Fuente: Propia

PRUEBA 02			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	56	55.5	0.5
3.2	55	55	0
4.8	48	48	0
6.4	39	39	0
8	35	34.5	0.5
9.6	33	32	1
11.2	30	29	1
12.8	28	31	3
14.4	27.5	27.5	0
16	26	26	0
17.6	25	25	0
19.2	24.5	24	0.5
20.8	23.5	23.5	0
22.4	23	23	0
24	22	22	0
25.6	21	21	0
28.57	19	20	1
31.75	19	19	0
34.92	18.5	17	1.5
38.1	16	16.5	0.5
44.45	13	14	1
50.8	11	11.5	0.5

TABLA 23: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 02 – SAE 1045

Fuente: Propia

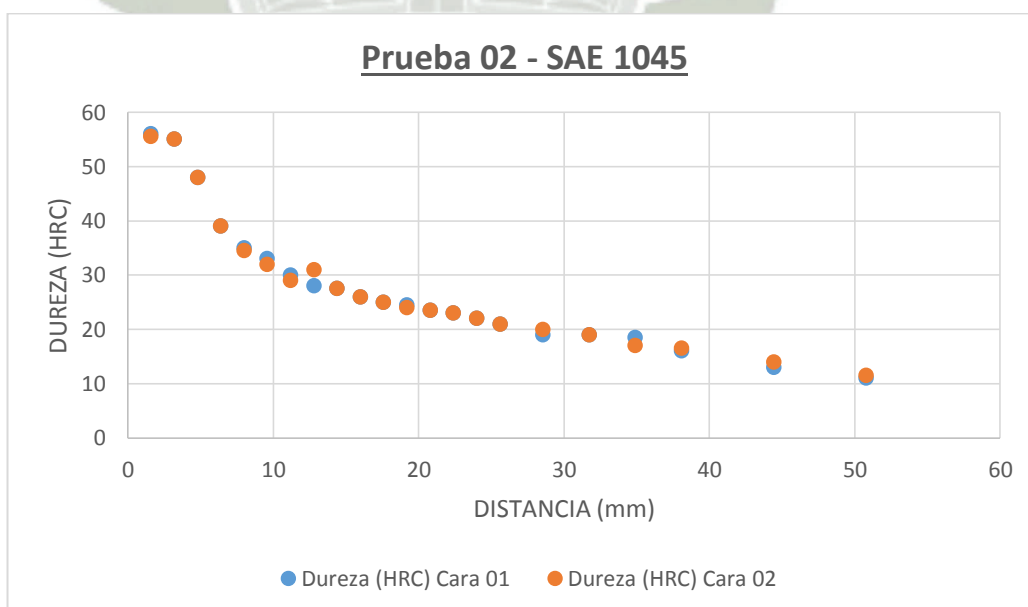


FIGURA 81: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 02 – SAE 1045

Fuente: Propia

PRUEBA 03			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	54	53.5	0.5
3.2	53	53	0
4.8	50	49	1
6.4	39	39	0
8	34	34	0
9.6	30	30	0
11.2	29	29	0
12.8	28	28	0
14.4	27.5	27.5	0
16	26	26	0
17.6	25	25	0
19.2	23	25	2
20.8	23	23	0
22.4	22	22	0
24	21.5	21.5	0
25.6	21	21	0
28.57	20	20	0
31.75	19.5	19.5	0
34.92	19.5	19.5	0
38.1	17	17	0
44.45	13.5	13.5	0
50.8	12	12.5	0.5

TABLA 24: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 03 – SAE 1045

Fuente: Propia

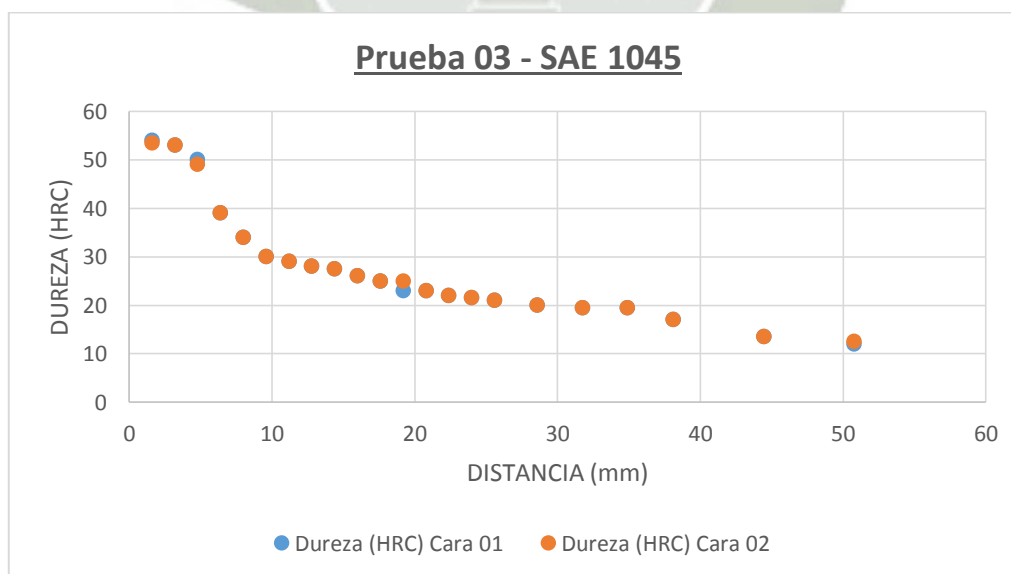


FIGURA 82: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 03 – SAE 1045

Fuente: Propia

PRUEBA 04			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	57	57	0
3.2	55	56.5	1.5
4.8	46	47.5	1.5
6.4	41	41	0
8	37	36	1
9.6	32	32	0
11.2	30.5	31	0.5
12.8	29	29	0
14.4	28	28	0
16	26.5	26.5	0
17.6	25	25	0
19.2	24	24	0
20.8	23.5	24	0.5
22.4	23	23	0
24	22	22	0
25.6	21.5	21.5	0
28.57	21	21	0
31.75	20.5	20.5	0
34.92	18	18	0
38.1	16.5	17	0.5
44.45	14	15	1
50.8	13	12.5	0.5

TABLA 25: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 04 – SAE 1045

Fuente: Propia

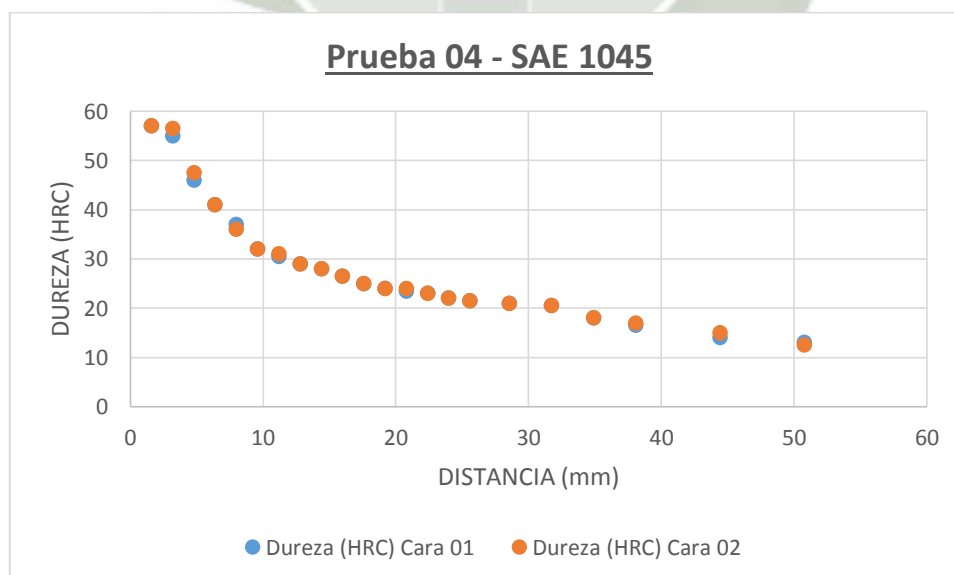


FIGURA 83: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 04 – SAE 1045

Fuente: Propia

PRUEBA 05			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	56	56	0
3.2	55	55	0
4.8	47	47	0
6.4	39	38.5	0.5
8	33	33.5	0.5
9.6	29	32	3
11.2	29	29	0
12.8	28	31	3
14.4	27.5	27.5	0
16	27.5	27.5	0
17.6	25	26	1
19.2	24.5	24	0.5
20.8	24	24	0
22.4	23	23	0
24	22	22	0
25.6	21.5	21.5	0
28.57	21	21	0
31.75	20.5	20.5	0
34.92	19.5	19.5	0
38.1	15	15	0
44.45	12.5	13	0.5
50.8	11.5	11.5	0

TABLA 26: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 05 – SAE 1045

Fuente: Propia

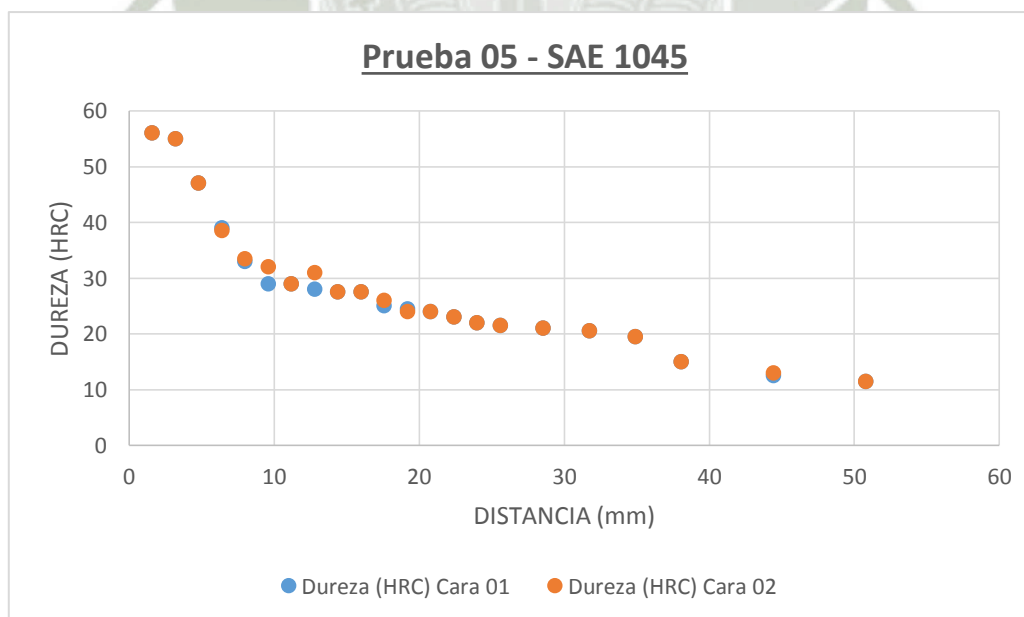


FIGURA 84: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 05 – SAE 1045

Fuente: Propia

PRUEBA 01			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	50	50	0
3.2	40	39	1
4.8	35.5	35.5	0
6.4	32.5	32	0.5
8	31	31	0
9.6	29	28.5	0.5
11.2	27	27.5	0.5
12.8	25	24	1
14.4	24	24	0
16	22	22.5	0.5
17.6	22	22	0
19.2	21.5	21	0.5
20.8	21	21	0
22.4	19.5	20	0.5
24	19	18.5	0.5
25.6	17.5	17.5	0
28.57	18	17.5	0.5
31.75	14	15	1
34.92	12.5	11.5	1
38.1	11.5	10.5	1
44.45	10	9.5	0.5
50.8	8.5	7	1.5

TABLA 27: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 01 – SAE 1020

Fuente: Propia

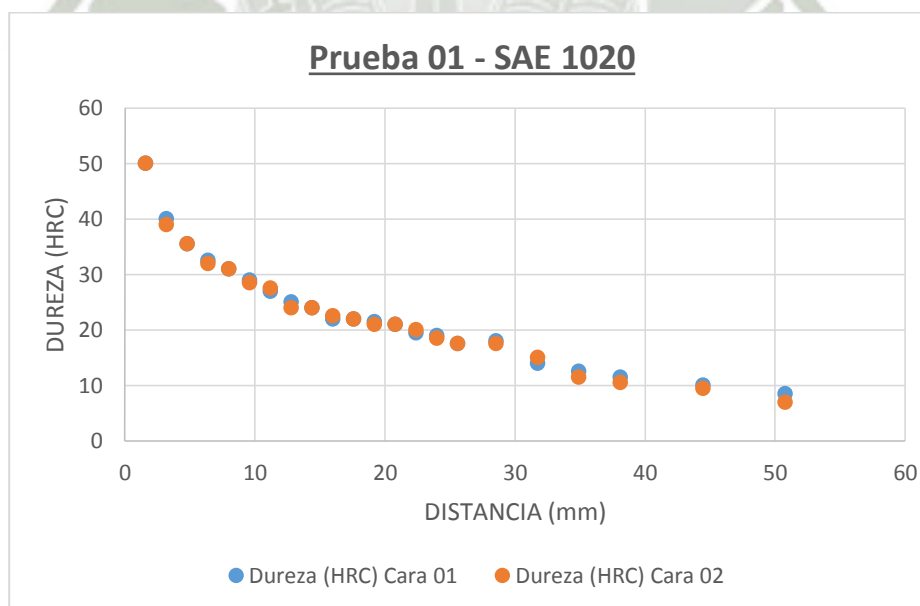


FIGURA 85: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 01 – SAE 1020

Fuente: Propia

PRUEBA 02			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	41	42	1
3.2	40	39.5	0.5
4.8	34	34	0
6.4	33	33	0
8	32.5	32	0.5
9.6	28	28	0
11.2	27	27.5	0.5
12.8	25	25.2	0.2
14.4	24	24	0
16	22.5	22	0.5
17.6	22	22	0
19.2	21	20.5	0.5
20.8	20	20	0
22.4	21	20.5	0.5
24	19	18	1
25.6	18	18	0
28.57	17.5	17	0.5
31.75	17	17	0
34.92	13	12.5	0.5
38.1	10	10	0
44.45	9	8.5	0.5
50.8	7.5	7	0.5

TABLA 28: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 02 – SAE 1020

Fuente: Propia

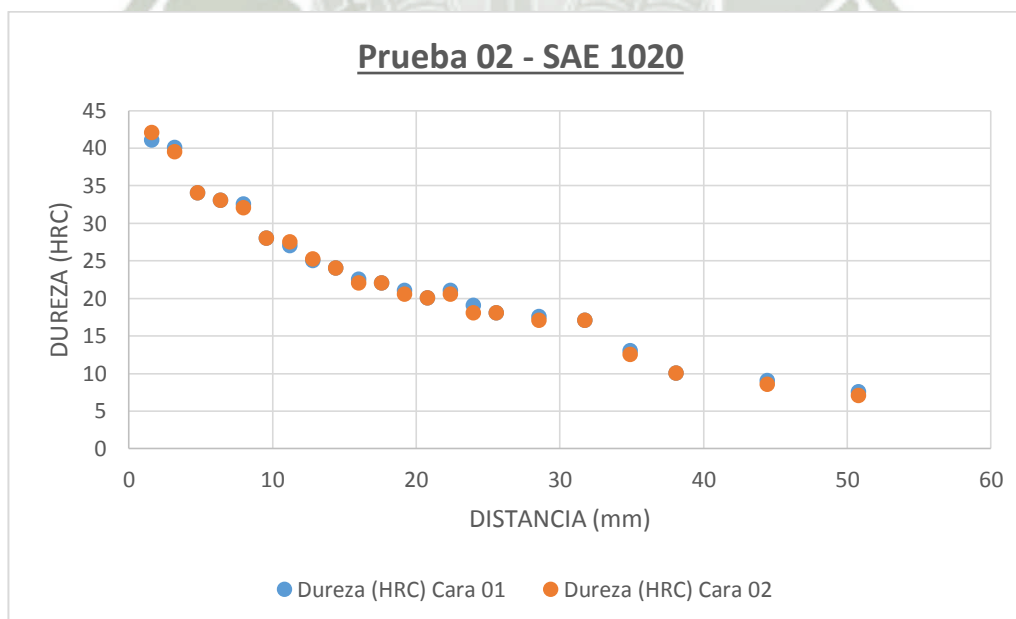


FIGURA 86: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 02 – SAE 1020

Fuente: Propia

PRUEBA 03			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	39	40.5	1.5
3.2	40	39.5	0.5
4.8	37	39	2
6.4	34	35	1
8	33	33	0
9.6	29	28.5	0.5
11.2	27.5	27.5	0
12.8	26	26	0
14.4	24.5	24.5	0
16	22.5	22.5	0
17.6	22	21.5	0.5
19.2	21.5	20.5	1
20.8	20	20	0
22.4	20	19.5	0.5
24	19	18	1
25.6	18.5	18.5	0
28.57	17.5	17	0.5
31.75	16	16	0
34.92	13.5	14	0.5
38.1	13	13	0
44.45	12	12	0
50.8	8	8	0

TABLA 29: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 03 – SAE 1020

Fuente: Propia

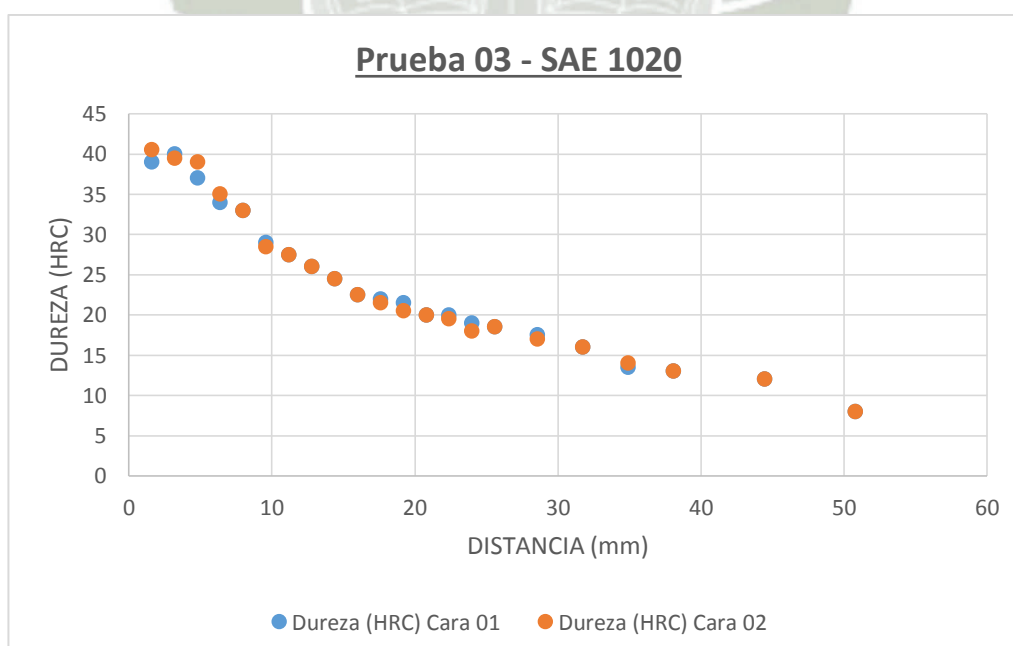


FIGURA 87: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 03 – SAE 1020

Fuente: Propia

PRUEBA 04			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	41	41	0
3.2	40	40	0
4.8	36	35	1
6.4	34.5	34.5	0
8	32.5	32.5	0
9.6	31	29	2
11.2	29	28.5	0.5
12.8	28.5	27.5	1
14.4	27	26	1
16	24	23	1
17.6	22	21	1
19.2	21	20.5	0.5
20.8	19	19	0
22.4	18	18	0
24	17.5	17.5	0
25.6	17	17	0
28.57	16	16	0
31.75	14	15	1
34.92	13	12.5	0.5
38.1	10	10	0
44.45	9	9	0
50.8	8	8	0

TABLA 30: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 04 – SAE 1020

Fuente: Propia

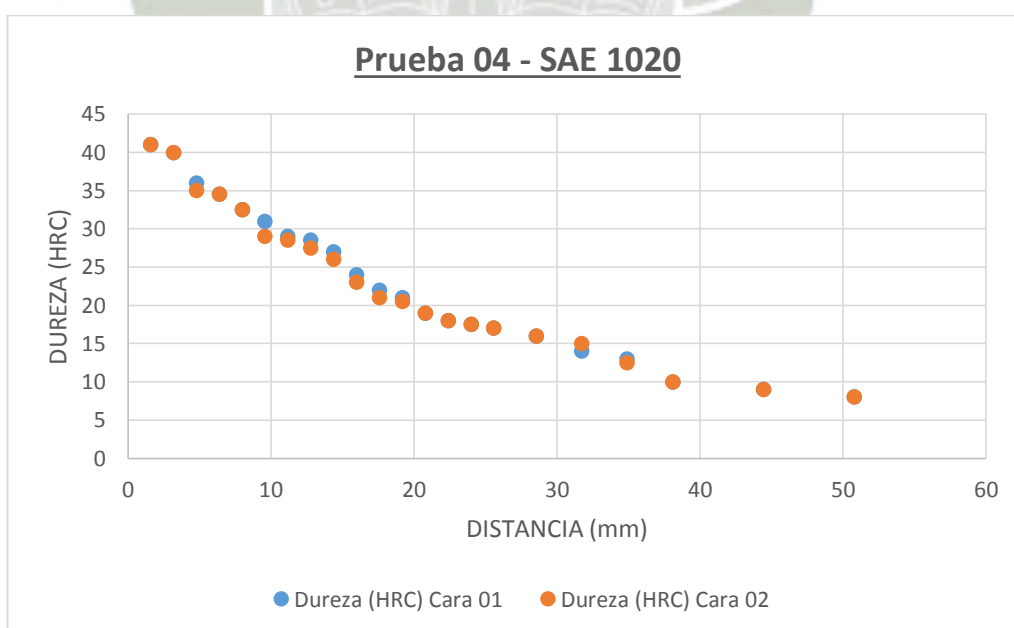


FIGURA 88: CURVA DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 04 – SAE 1020

Fuente: Propia

PRUEBA 05			
Distancia (mm)	Dureza (HRC)		
	Cara 01	Cara 02	Diferencia
1.6	41	41	0
3.2	40	39.5	0.5
4.8	35	35	0
6.4	33	33	0
8	32	32	0
9.6	28	29	1
11.2	27	28	1
12.8	26	25.5	0.5
14.4	24	24	0
16	23	23	0
17.6	21.5	22	0.5
19.2	21	21	0
20.8	20	20	0
22.4	20.5	21	0.5
24	17.5	18	0.5
25.6	18	18	0
28.57	17.5	17	0.5
31.75	16	16	0
34.92	12.5	14	1.5
38.1	10	10	0
44.45	8.5	8.5	0
50.8	7	7	0

TABLA 31: DATOS DE TEMPLABILIDAD PRUEBA 05 – SAE 1020

Fuente: Propia

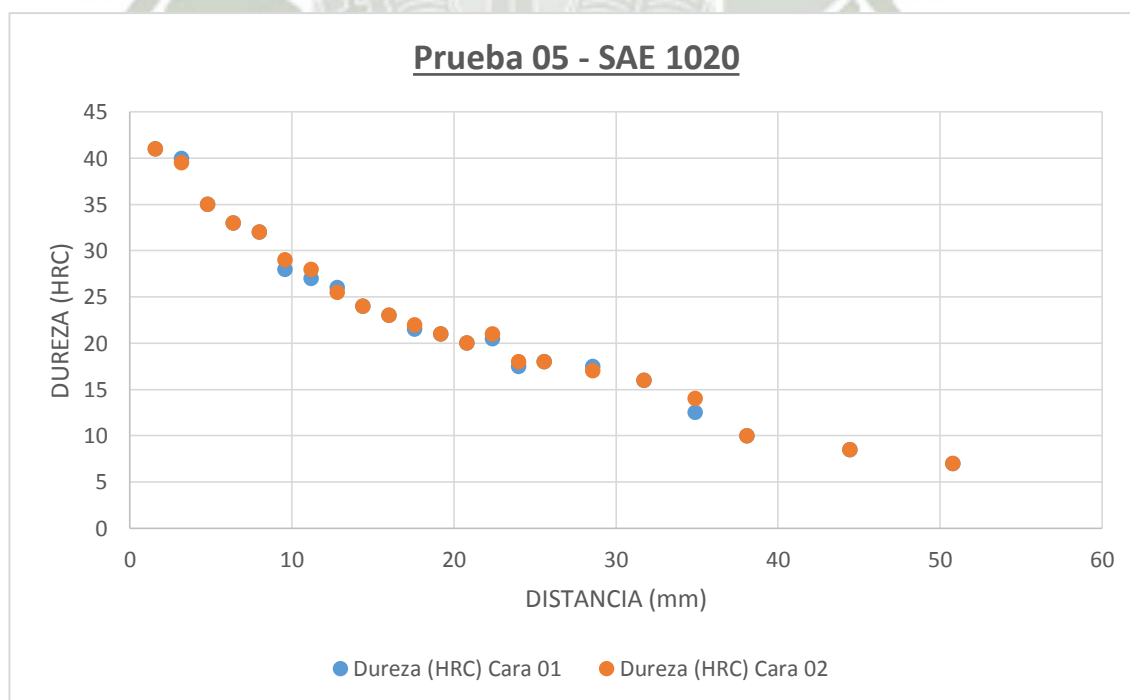


FIGURA 89: CURVA DE ENFRIAMIENTO PRUEBA 05 – SAE 1020

Fuente: Propia

4.5 Análisis de resultados

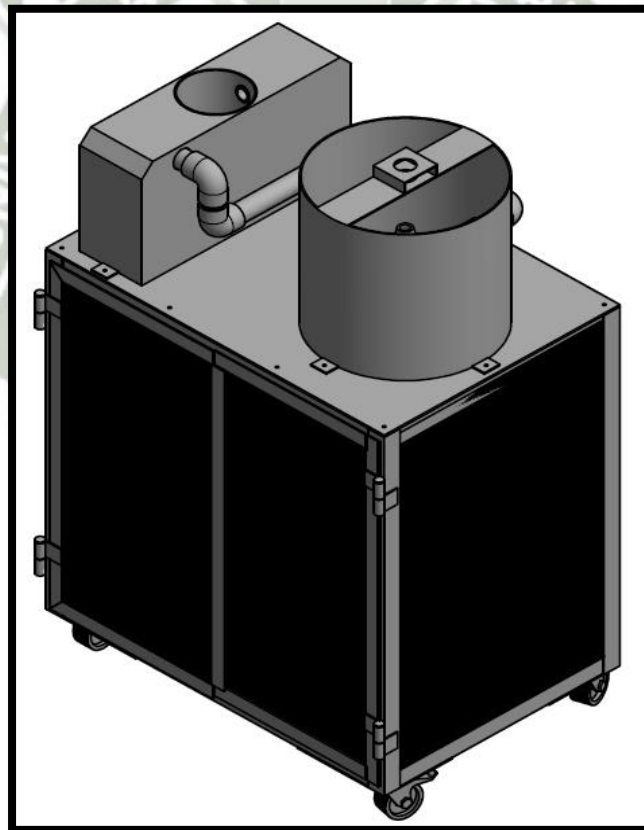
Según las gráficas obtenidas con la máquina de ensayo de Jominy se puede observar que los resultados en ambas caras de la probeta varían como máximo en 3 HRC, según la norma ASTM A255 esta variación no debe ser superior a 4 HRC; por lo tanto las pruebas realizadas demuestran el correcto funcionamiento del equipo.

4.6 Propuesta de prácticas de laboratorio

Ver Anexo

4.7 Manual de usuario y mantenimiento de la máquina

MÓDULO DE JOMINY PARA ENSAYO DE TEMPLABILIDAD

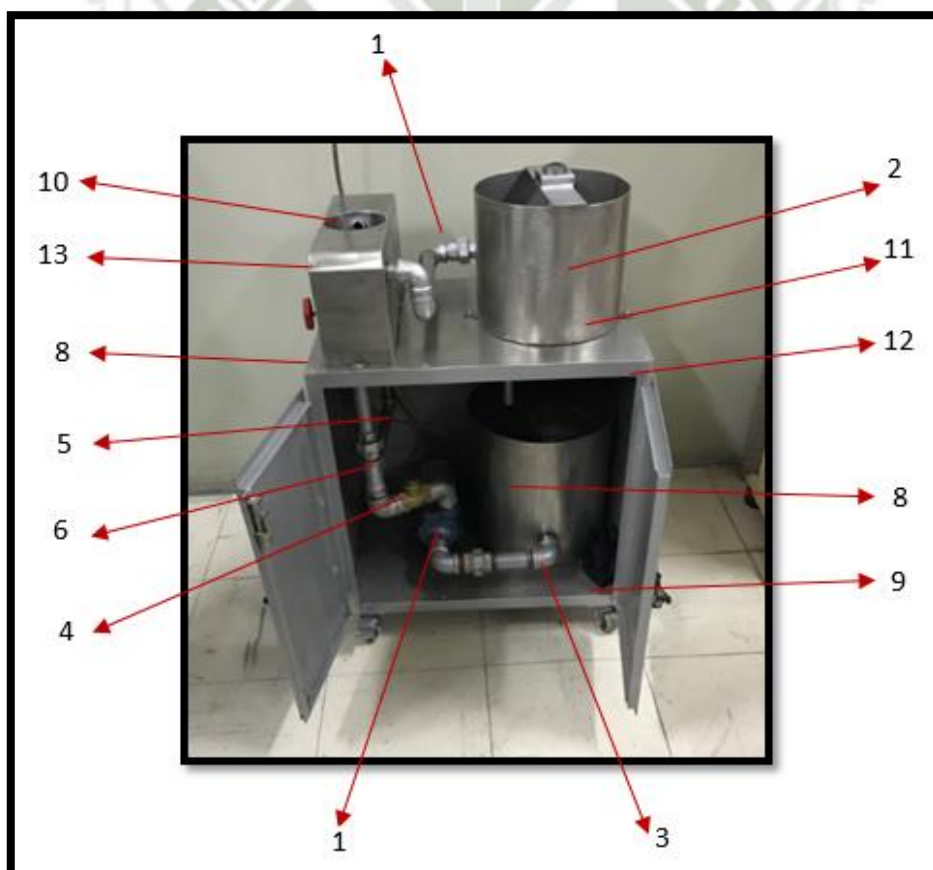


SEGÚN NORMA ASTM A255

4.7.1 Advertencias de seguridad

- Comprobar que la red eléctrica sea de 120 VAC
- El módulo de Jominy debe ubicarse en una base firme y nivelada.
- Una vez ubicado el modulo debe accionarse los frenos de seguridad de las llantas para evitar el movimiento de esta.
- El módulo de ensayo de Jominy fue fabricado para realizar únicamente el tratamiento de templabilidad bajo la norma ASTM A255.
- No manipular el sistema eléctrico de la bomba mientras no tenga el conocimiento adecuado del funcionamiento.
- No manipular el módulo de ensayo de Jominy mientras se encuentre funcionando debido a que la probeta se encuentra a 925°C y podría ocasionar quemaduras graves.
- Después de realizar el ensayo en el módulo de ensayo de Jominy purgar el líquido para evitar oxidación en la bomba centrífuga.

4.7.2 Componentes del módulo de ensayo de Jominy



En la siguiente tabla se describe los componentes del equipo:

ITEM	NOMBRE	Descripción
1	Bomba	Encargada de alimentar el sistema hidráulico
2	Boquilla de ½"	Encargada de regular el flujo según norma ASTM A255
3	Línea de Alimentación 1"	Línea de succión de la bomba
4	Línea de Descarga 1"	Dirigir el flujo de agua hacia la probeta
5	Línea de Descarga ½"	Dirigir el flujo de agua hacia la probeta
6	Línea de Descarga ¾"	Dirigir el flujo de agua hacia la probeta
7	Línea de Drenaje ½"	Dirigir el flujo de agua hacia la probeta
8	Sistema de Encendido	Encendido y apagado del modulo
9	Tanque de Alimentación	Encargado de alimentar el flujo a la bomba
10	Tanque de Enfriamiento	Reposa la probeta después del ensayo
11	Tanque Porta Probeta	Encargado de soportar la probeta durante el ensayo
12	Estructura Principal Móvil	Soporte del modulo
13	Estructura de Enfriamiento	Soporte del tanque de enfriamiento

TABLA 32: COMPONENTES DEL MÓDULO JOMINY

Fuente: Propia

4.7.3 Especificaciones técnicas del equipo

Especificaciones de Modulo	
Parámetro	Típico
Dimensión	380 mm x 545 mm x 522 mm
Potencia	½ HP
Amperaje	Desgaste en válvulas compuerta
Peso	73 kg
Alimentación	220 V

TABLA 33: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MODULO JOMINY

Fuente: Propia

4.7.4 Operación del equipo

Se deben respetar las siguientes indicaciones de operación con la finalidad de evitar accidentes o daños en el equipo:

- Alimentación de la máquina de Jominy: antes de realizar la conexión se debe verificar que la toma sea de 220 V
- Encendido de equipo: el switch del equipo debe estar en OFF en el momento de conexionado a la toma.
- Funcionamiento de bomba: verificar que el tanque de alimentación tenga como mínimo 13 Lts de agua

4.7.5 Fallas frecuentes del equipo

- Las fallas consideradas frecuentes se enumeran en la tabla inferior.

N°	Descripción
1	Oxidación en bomba por reposo de agua.
2	Obstrucción de tuberías de drenaje
3	Falla en contacto de accionamiento de bomba
4	Desgaste de válvulas compuerta

TABLA 34: FALLAS FRECUENTES DEL MÓDULO JOMINY

Fuente: Propia

5. Capítulo 5 - ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las pruebas realizadas en el módulo de Jominy se realizaron en los siguientes aceros:

- **SAE 1045:**

Como se puede ver en la tabla inferior la variación entre datos obtenidos de cada prueba de una cara respecto a la otra la variación máxima es de 3 HRC, según la norma ASTM A-255 nos indica que la variación máxima es de 4HRC; por lo tanto los resultados son válidos.

PRUEBA 1045										
Distancia (mm)	Dureza (HRC)									
	Prueba 01		Prueba 02		Prueba 03		Prueba 04		Prueba 05	
	Cara 01	Cara 02	Cara 01	Cara 02	Cara 01	Cara 02	Cara 01	Cara 02	Cara 01	Cara 02
1.6	56	56	56	55.5	54	53.5	57	57	56	56
3.2	55	55	55	55	53	53	55	56.5	55	55
4.8	47	47	48	48	50	49	46	47.5	47	47
6.4	39	38.5	39	39	39	39	41	41	39	38.5
8	33	33.5	35	34.5	34	34	37	36	33	33.5
9.6	29	32	33	32	30	30	32	32	29	32
11.2	29	29	30	29	29	29	30.5	31	29	29
12.8	28	31	28	31	28	28	29	29	28	31
14.4	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	28	28	27.5	27.5
16	27.5	27.5	26	26	26	26	26.5	26.5	27.5	27.5
17.6	25	26	25	25	25	25	25	25	25	26
19.2	24.5	24	24.5	24	23	25	24	24	24.5	24
20.8	24	24	23.5	23.5	23	23	23.5	24	24	24
22.4	23	23	23	23	22	22	23	23	23	23
24	22	22	22	22	21.5	21.5	22	22	22	22
25.6	21.5	21.5	21	21	21	21	21.5	21.5	21.5	21.5
28.57	21	21	19	20	20	20	21	21	21	21
31.75	20.5	20.5	19	19	19.5	19.5	20.5	20.5	20.5	20.5
34.92	19.5	19.5	18.5	17	19.5	19.5	18	18	19.5	19.5
38.1	15	15	16	16.5	17	17	16.5	17	15	15
44.45	12.5	13	13	14	13.5	13.5	14	15	12.5	13
50.8	11.5	11.5	11	11.5	12	12.5	13	12.5	11.5	11.5

TABLA 35: DATOS GENERALES DE TEMPLABILIDAD – SAE 1045

Fuente: Propia

De la misma manera al superponer las curvas desarrolladas en el capítulo anterior de cada prueba se aprecia que la tendencia es similar en todas las pruebas como se muestra en la siguiente imagen.

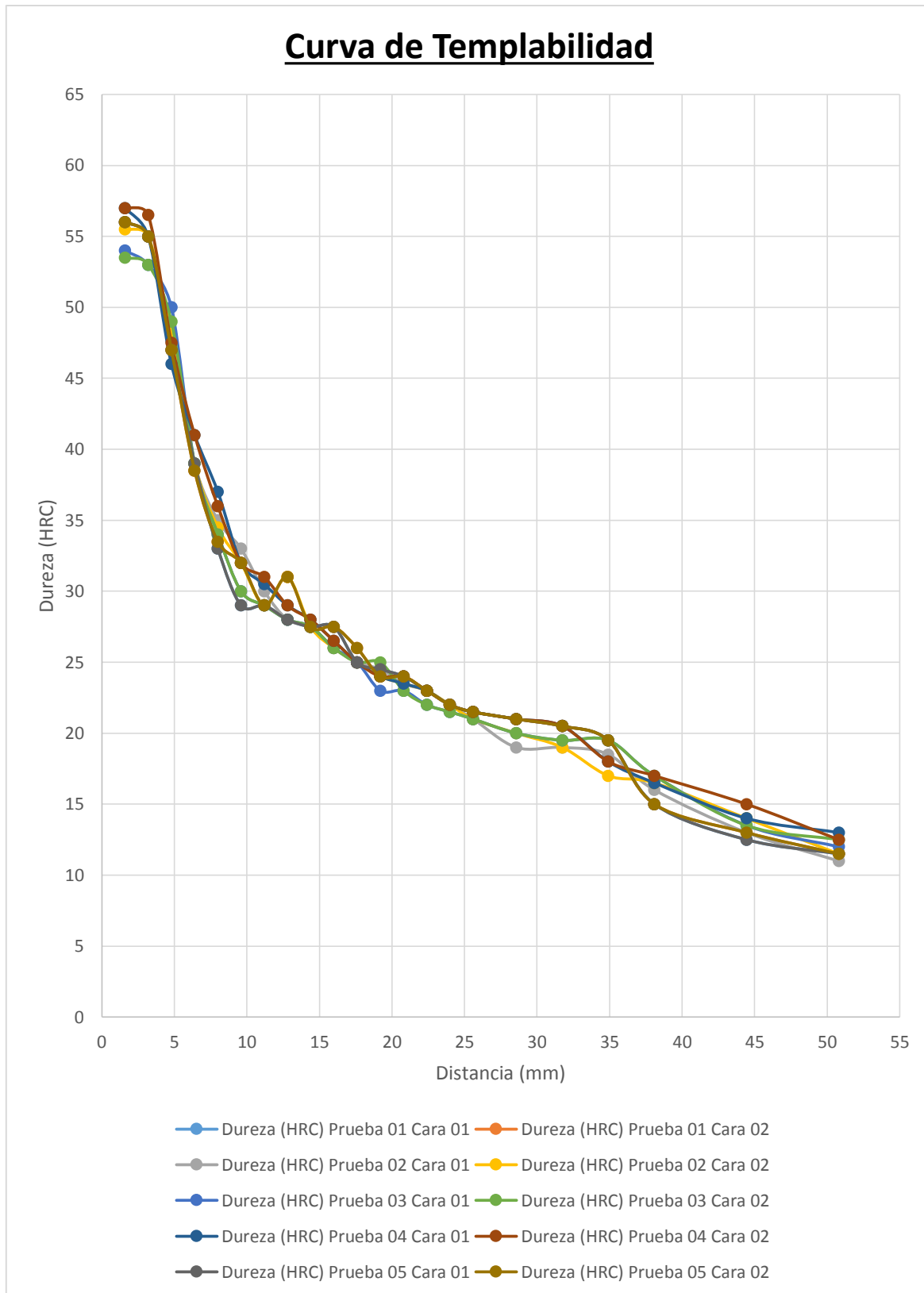


FIGURA 90: CURVA GENERAL DE ENFRIAMIENTO SAE – 1045

Fuente: Propia

6. Capítulo 6 - CONCLUSIONES

- Se define la curva de dureza de los aceros SAE 1020 Y SAE 1045 demostrando que a mayor contenido de carbono se tendrá una mejor templabilidad por lo tanto una mayor dureza.
- El modulo se diseñó bajo las especificaciones de la Norma ASTM A255 estableciendo parámetros de diseño para su mejor funcionabilidad y durabilidad. De la misma manera las probetas se maquinaron de acuerdo a las medidas indicadas en la misma norma.
- Se diseñaron los planos del Módulo de Jominy según la Norma ASTM A255; para la construcción se seleccionaron materiales de acuerdo a las condiciones de trabajo y de la misma manera se consideró su facilidad al momento de obtención en el mercado.
- La variación de dureza obtenida de las caras de cada probeta están dentro del rango especificado en la Norma ASTM 25; 4 HRC. Las curvas de templabilidad obtenidas a partir de los resultados de los ensayos de dureza de acero AISI 1020 Y AISI 1045 se encuentran dentro de la curva de templabilidad.
- Se desarrolla la guía de prácticas “Ensayo de Templabilidad Jominy”, en la que se especifica la secuencia correcta de operación del módulo; con la implementación del módulo se pondrá en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

7. Capítulo 7 - RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la prueba de Ensayo de Jominy con materiales de alto y bajo contenido de carbono para poder apreciar el impacto que tiene este en la templabilidad.
- Se recomiendo un control dimensional cuidadoso en la preparación de la probeta ya que al variar la sección transversal de la probeta influye en la practica variando la dureza.
- Para no tener la variación de dureza de 4 HRC, se recomienda desbastar la misma profundidad de la probeta en ambas caras opuestas a 180°.
- Se recomienda seguir detalladamente los pasos descritos en la guía de practica para un exitoso ensayo de Jominy.

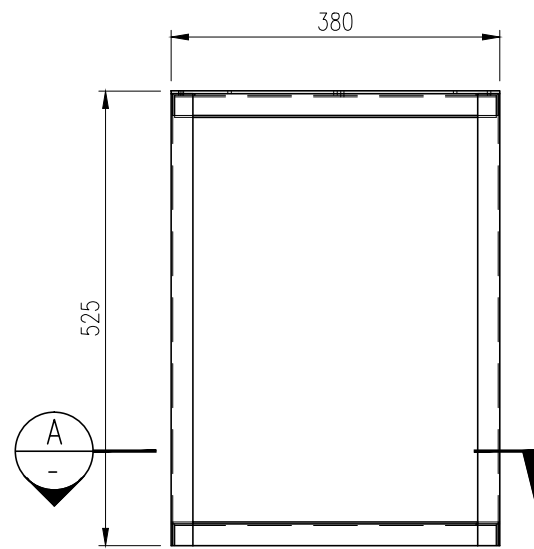
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>
- <http://www.jnaceros.com.pe/index.php/productos/planchas>
- http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4911/html/2_ensayo_de_jominy.html
- <http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TP Practicos/Tecnologial/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/3EnsayoJominy/2TeoriaEnsayoJominy.pdf>
- https://www.u-cursos.cl/usuario/c1f33623c53cd7f58fd77ef459693d6c/mi_blog/r/Jominy.pdf
- <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>
- <https://www.eii.uva.es/metalo/Ayuda/templabilidad.htm>
- https://www.researchgate.net/publication/41016773_Metodologia_para_el_calculo_de_la_templabilidad_de_piezas_de_acero
- <https://www.revistadyna.com/busqueda/la-templabilidad-de-aceros-de-construccion>
- http://www.schmolzbickenbach.com.mx/fileadmin/user_upload/public_images/Mexico/16PRESH5.pdf
- <http://www.ensinger.es/es/informacion-tecnica/propiedades-tecnicas-de-los-plasticos/propiedades-mecanicas/dureza/>
- <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing>
- <http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/mecanica/Ensayo%20de%20Jominy.pdf>
- http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v02_n4/acero60_4.htm

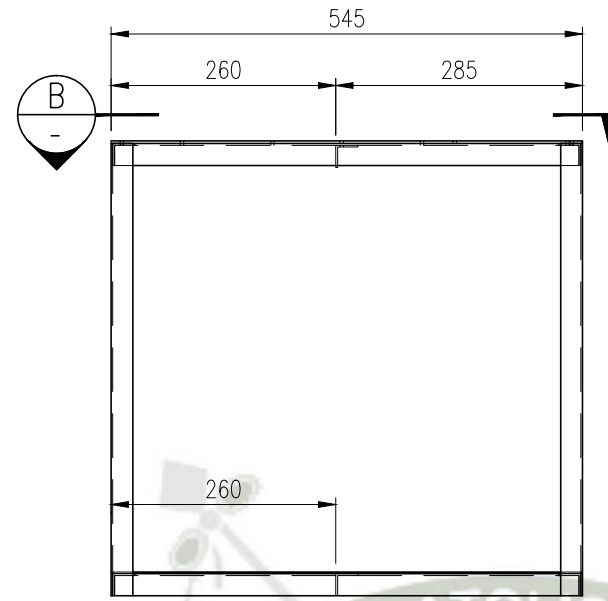


8. Capítulo 8 - PLANOS

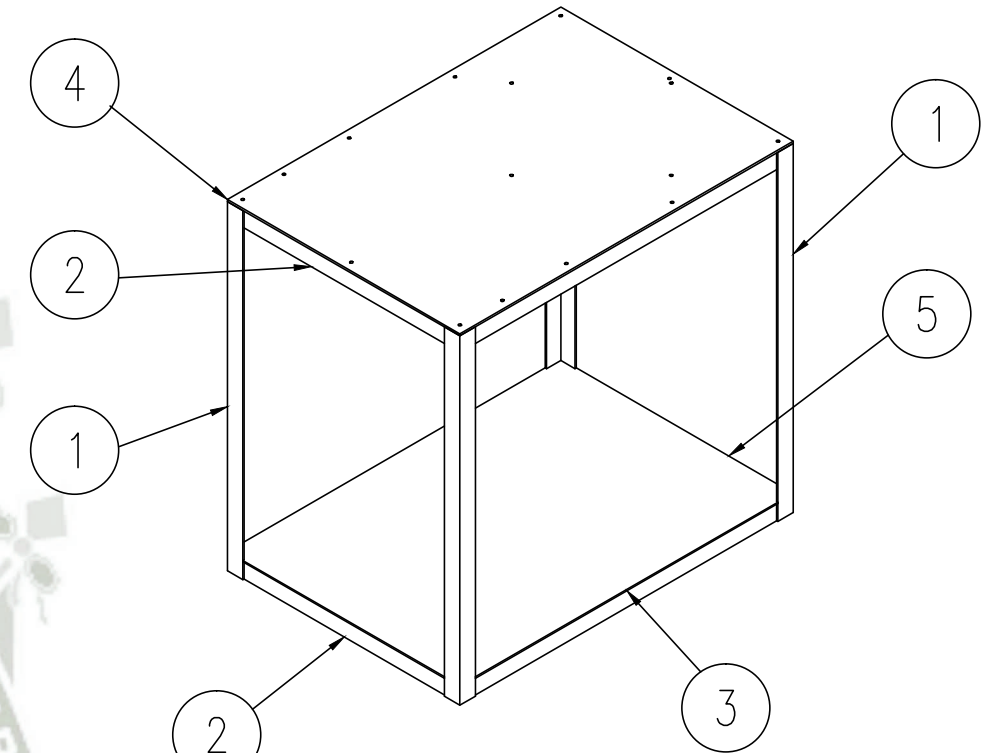




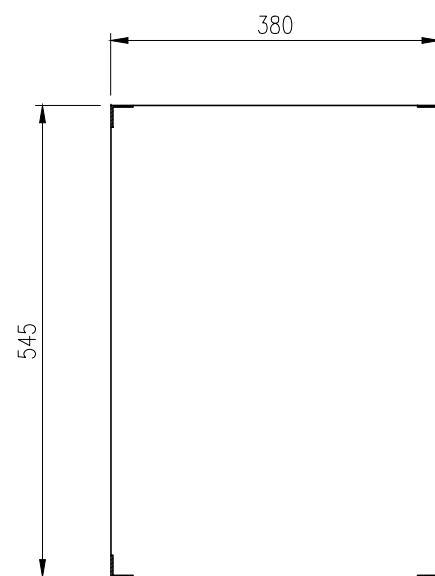
VISTA FRONTAL
ESC.: 1 : 10



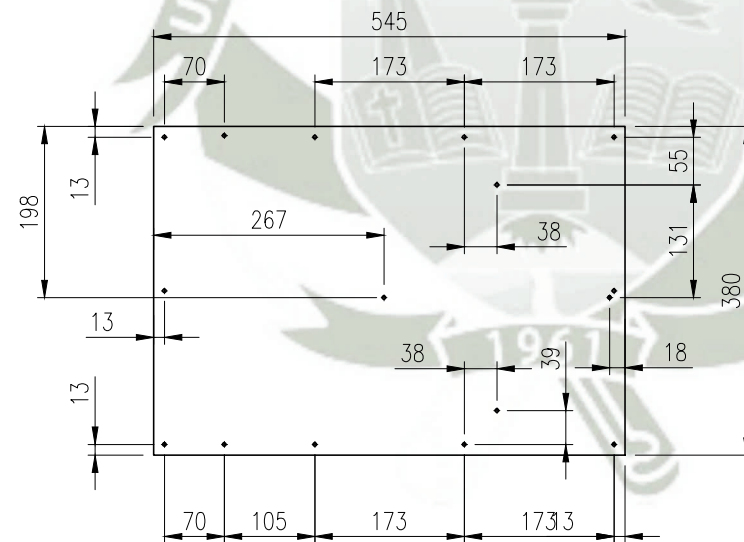
VISTA LATERAL
ESC.: 1 : 10



VISTA ISOMETRICA
ESC.: 1 : 10



SECCION A
ESCALA: 1/10



SECCION B
ESCALA: 1/10

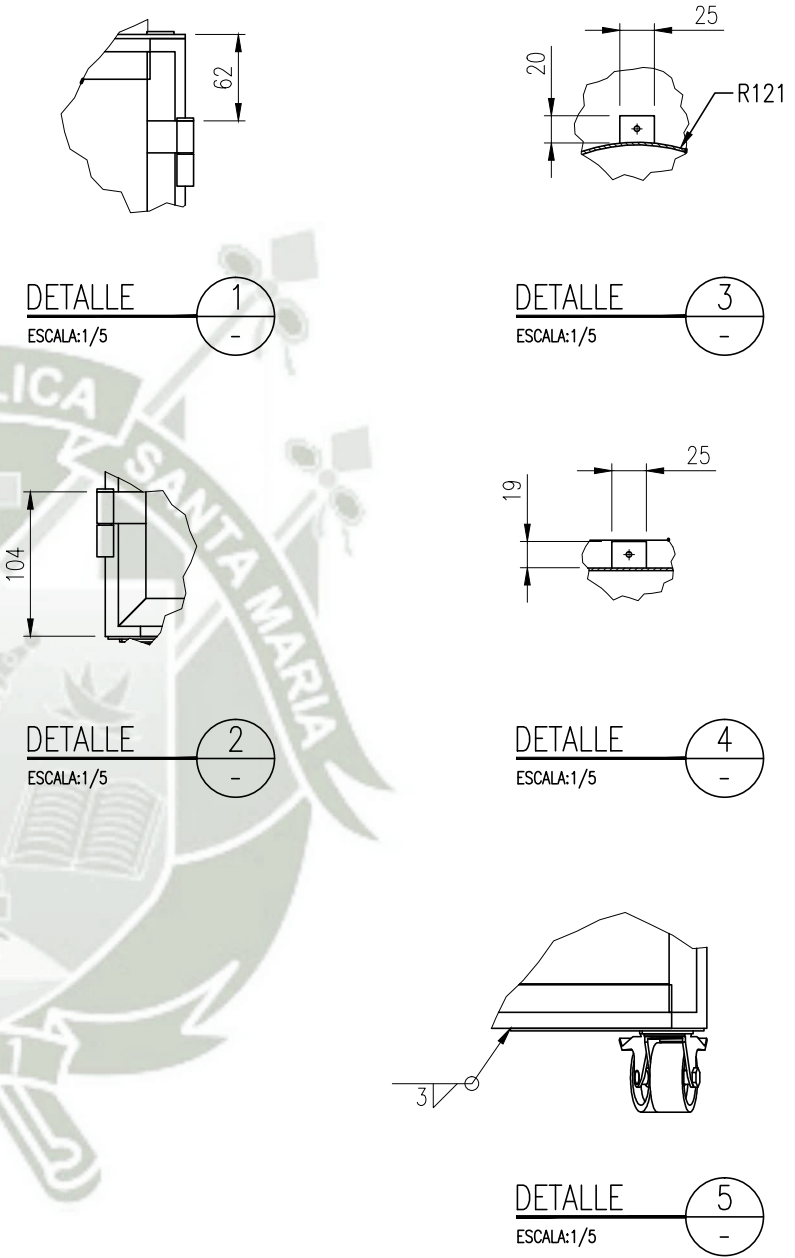
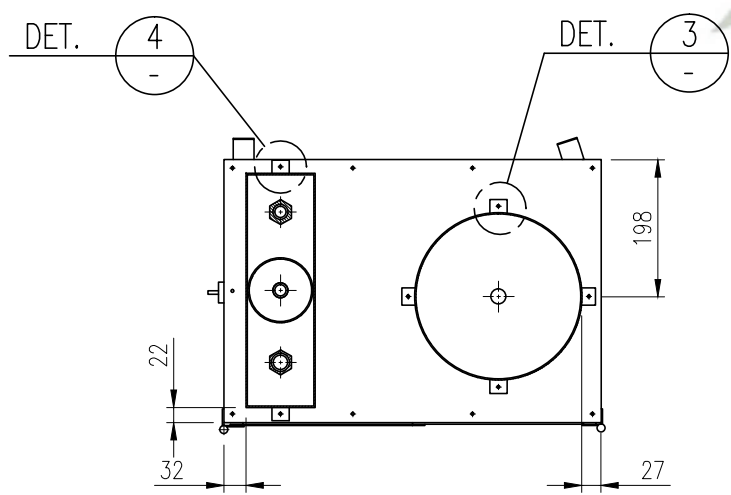
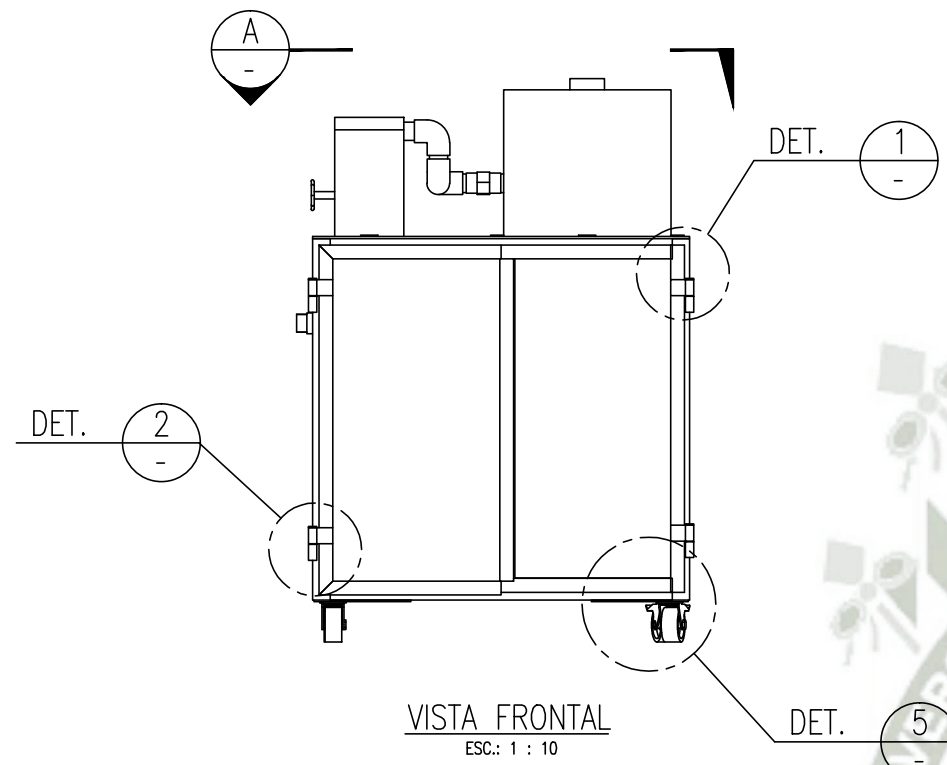
LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	4	Angulo 01 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=522 mm
2	6	Angulo 02 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=380 mm
3	4	Angulo 03 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=545 mm
4	1	Tapa Superior	Inox 304, A=545 mm x 380 mm
5	1	Tapa Inferior	Inox 304, A=545 mm x 380 mm

NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	INDICADA			Numero
	ENSAYO DE JOMINI			Sustituye a
				Sustituido por

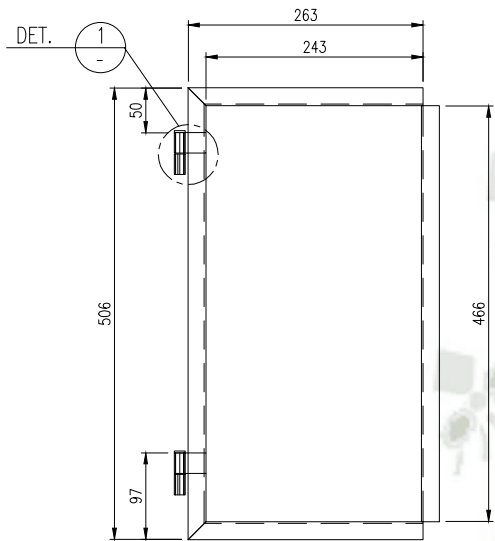
E
D
C
B
A



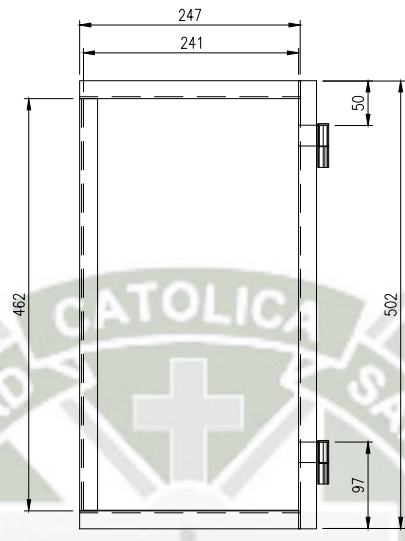
NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILÍMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

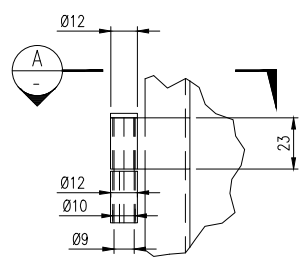
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC: INDICADA	ENSAYO DE JOMINI			Numero Sustituye a Sustituido por



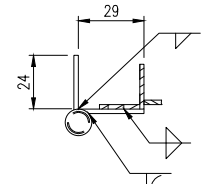
PUERTA IZQUIERDA
ESC.: 1 : 5



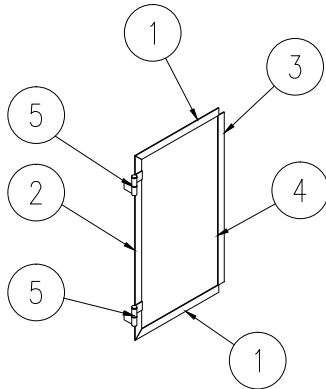
PUERTA DERECHA
ESC.: 1 : 5



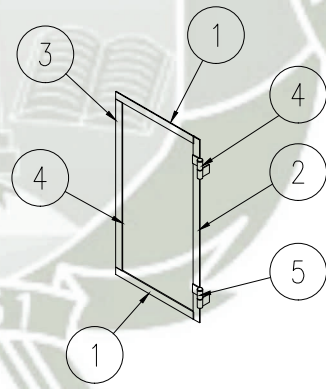
DETALLE 1
ESCALA: 1/5



SECCION A
ESCALA: 1/10



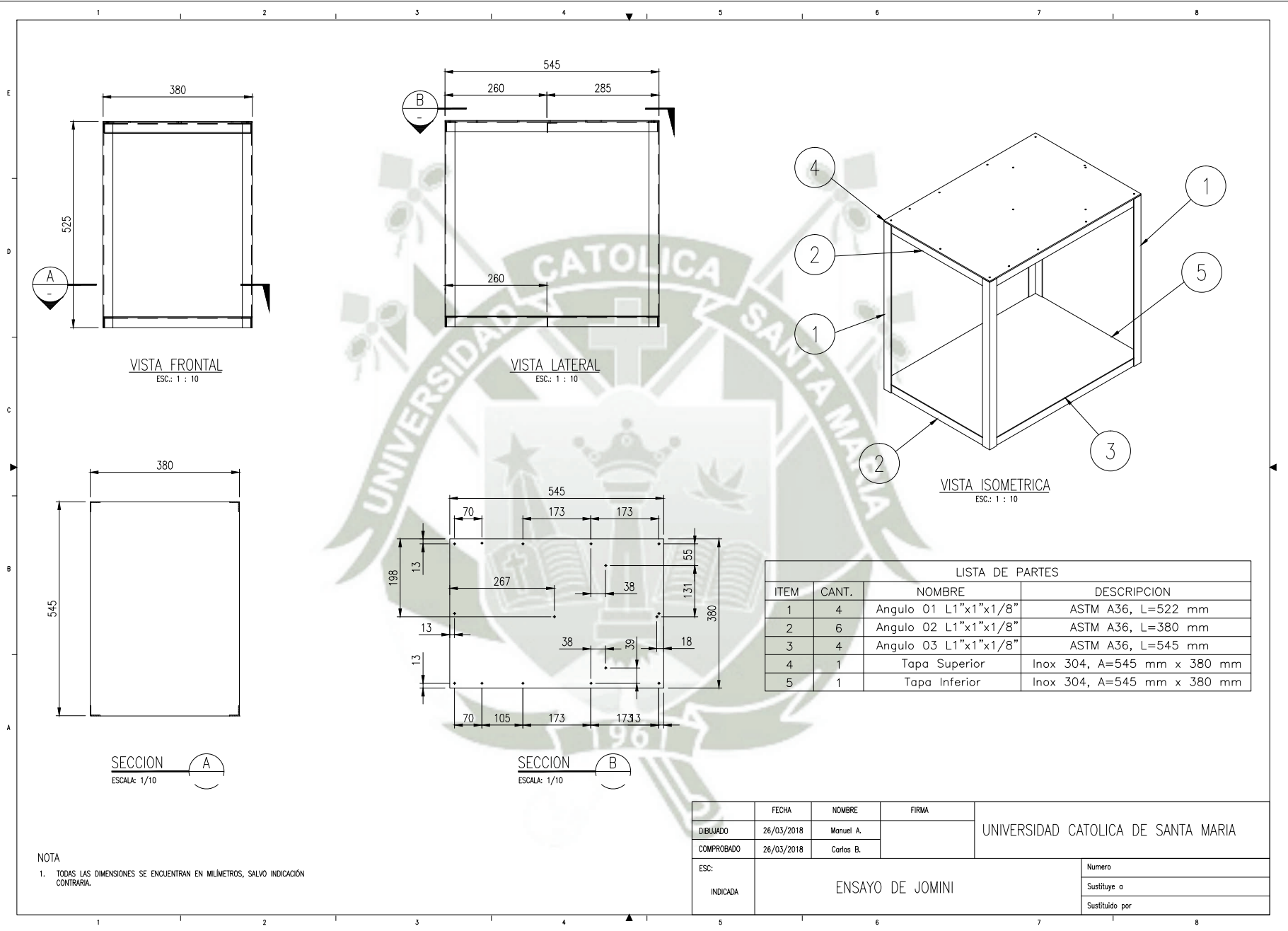
LISTA DE PARTES: TAPA IZQUIERDA			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	2	Angulo 01 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=263 mm
2	1	Angulo 02 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=506 mm
3	1	Angulo 03 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=466 mm
4	1	Tapa	ASTM A36, A=243 mm x 466 mm
5	2	Bisagra	-



LISTA DE PARTES: TAPA DERECHA			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	2	Angulo 01 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=247 mm
2	1	Angulo 02 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=502 mm
3	1	Angulo 03 L1"x1"x1/8"	ASTM A36, L=462 mm
4	1	Tapa	ASTM A36, A=241 mm x 466 mm
5	2	Bisagra	-

NOTA
1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACION CONTRARIA.

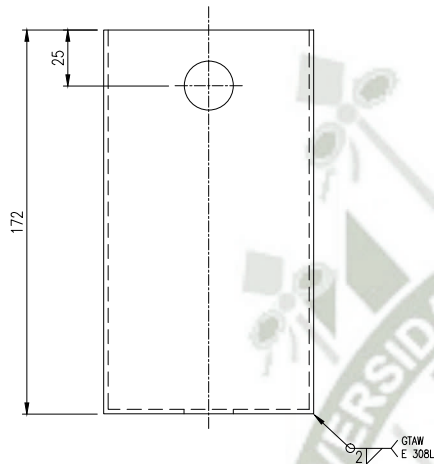
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	INDICADA			Numero
	ENSAYO DE JOMINI			Sustituye a
				Sustituido por



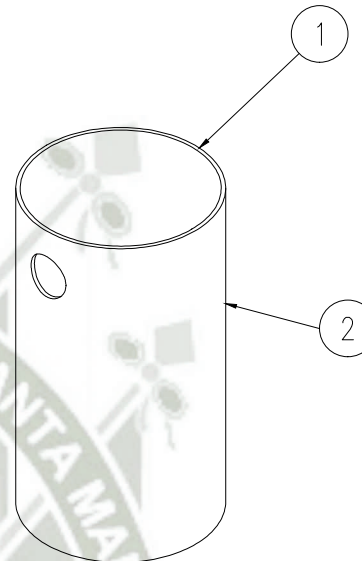
NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILÍMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

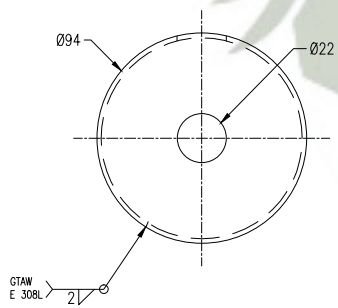
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	ENSAYO DE JOMINI			Numero
INDICADA				Sustituye a
				Sustituido por



VISTA FRONTAL
ESC.: 1 : 5



VISTA ISOMETRICO
ESC.: 1 : 5



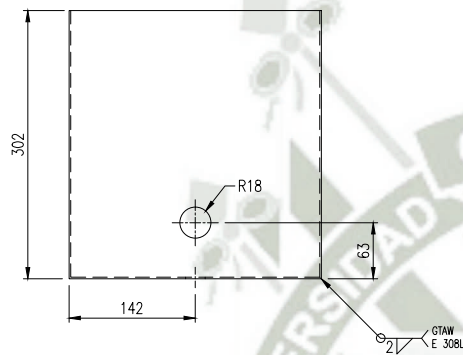
VISTA SUPERIOR
ESC.: 1 : 5

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Base de Tanque	Plancha Inox. 304, e=2mm
2	1	Anillo de Tanque	Plancha Inox. 304, e=2mm

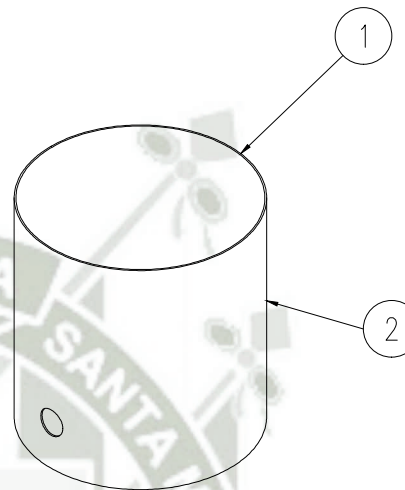
NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

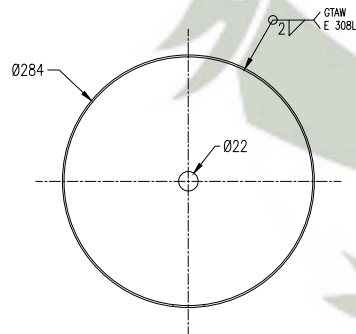
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	INDICADA			Numero
	ENSAYO DE JOMINI			Sustituye a
				Sustituido por



VISTA FRONTAL
ESC.: 1 : 5



VISTA ISOMETRICO
ESC.: 1 : 5



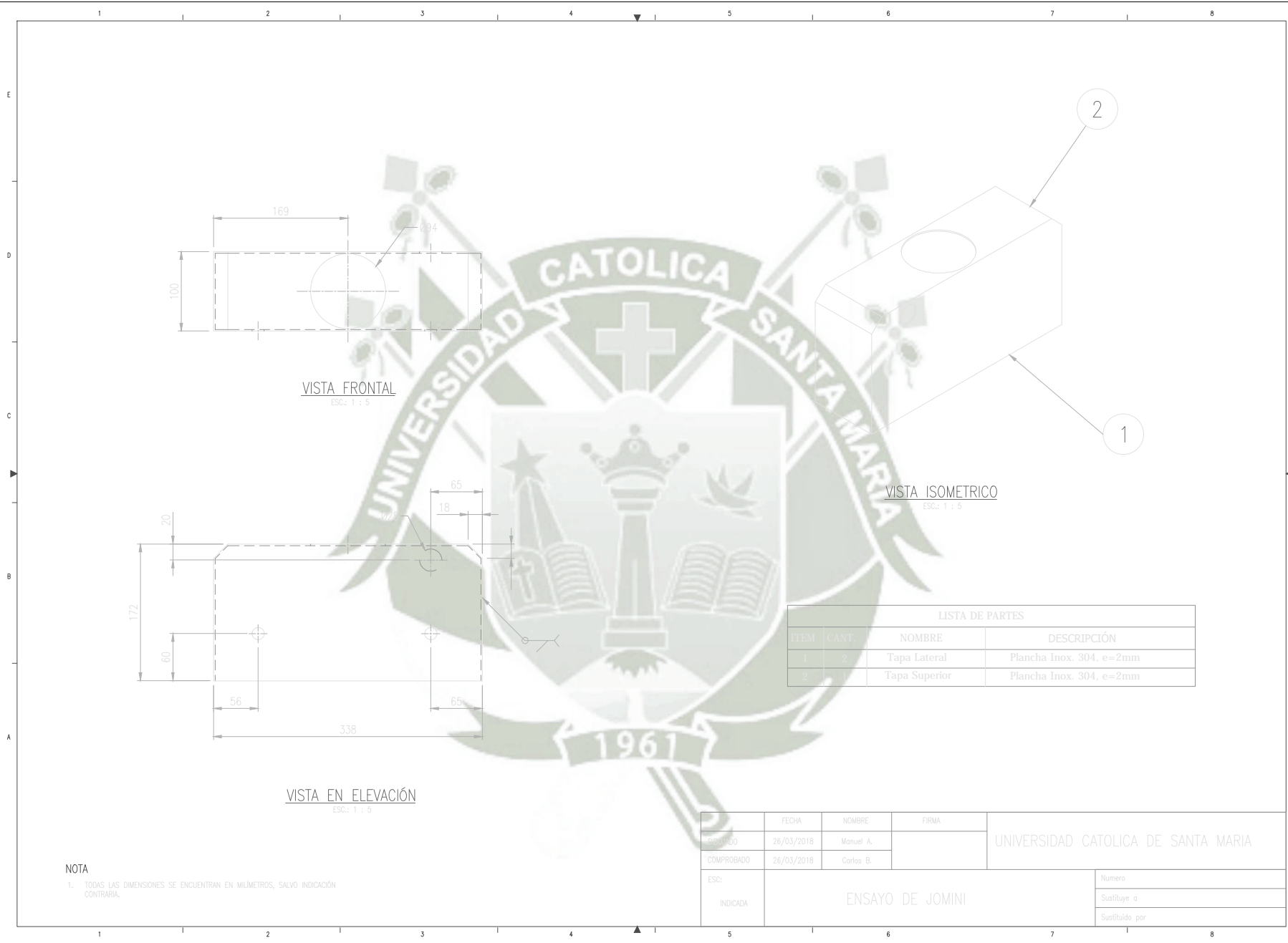
VISTA SUPERIOR
ESC.: 1 : 5

LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	1	Base de Tanque	Plancha Inox. 304, e=2mm
2	1	Anillo de Tanque	Plancha Inox. 304, e=2mm

NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILÍMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

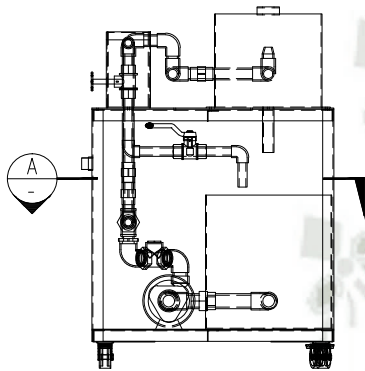
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	INDICADA			Numero
	ENSAYO DE JOMINI			Sustituye a
				Sustituido por



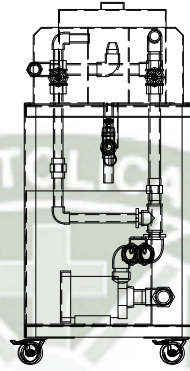
NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

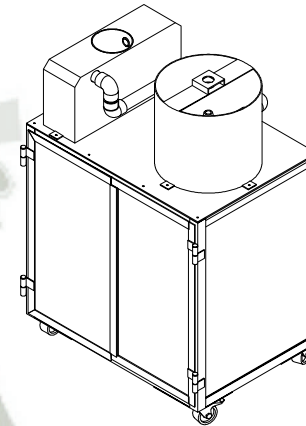
ELABORADO	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
COMPROBADO	26/03/2018	Manuel A.		
	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	ENSAYO DE JOMINI			Numero
INDICADA				Sustituye a
				Sustituido por



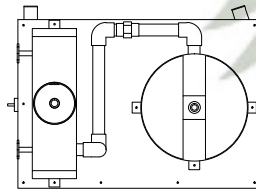
VISTA FRONTAL
ESC.: 1 : 10



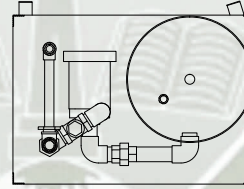
VISTA EN ELEVACIÓN
ESC.: 1 : 10



VISTA ISOMETRICO
ESC.: 1 : 10



VISTA SUPERIOR
ESC.: 1 : 10

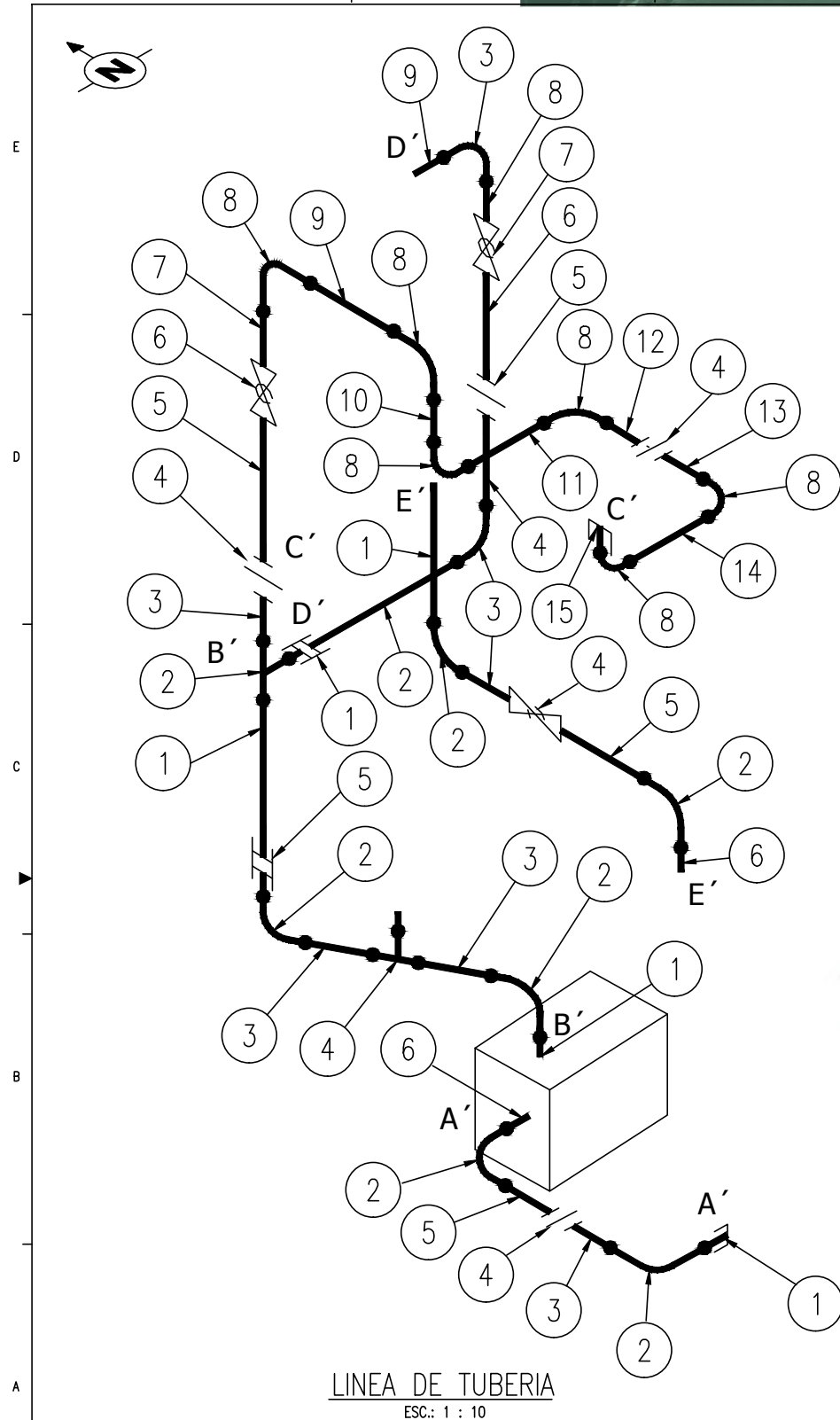


SECCION A
ESCALA: 1/10

NOTA

1. TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACIÓN CONTRARIA.

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SATA MARIA
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	ENSAYO DE JOMINI			Numero
INDICADA				Sustituye a
				Sustituido por



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Tramo A - A'	Ver tabla 1
2	1	Tramo B - B'	Ver tabla 2
3	1	Tramo C - C'	Ver tabla 3
4	1	Tramo D - D'	Ver tabla 4
5	1	Tramo E - E'	Ver tabla 5

LISTA DE PARTES / TABLA N° 1			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=18mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1"	90°, galvanizado, roscado
3	1	Niple 2	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=100mm, ANSI B16.11
4	1	Universal 1"	Galvanizada, roscada
5	1	Niple 3	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=30mm, ANSI B16.11
6	1	Niple 4	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=47mm, ANSI B16.11

LISTA DE PARTES / TABLA N° 2			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=28mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1"	90°, galvanizado, roscado
3	2	Niple 2	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
4	1	Valvula Check 1"	Roscada, ANSI B16.11
5	1	Reducción Bushing	Roscada, ANSI B16.11

LISTA DE PARTES / TABLA N° 4			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Reducción Bushing 3/4" - 1/2"	Roscada
2	1	Niple 01	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=170mm, ANSI B16.11
3	2	Codo de 1/2"	90°, galvanizado, roscado
4	1	Niple 02	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=85mm, ANSI B16.11
5	1	Unión Universal 1/2"	Galvanizada, roscada 15
6	1	Niple 03	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=165mm, ANSI B16.11
7	1	Válvula Compuerta 1/2"	Roscada 17
8	1	Niple 04	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=45mm, ANSI B16.11
9	1	Niple 05	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=65mm, ANSI B16.11

LISTA DE PARTES / TABLA N° 3			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
2	1	Tee de 3/4"	
3	1	Niple 2	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=28mm, ANSI B16.11
4	2	Union Universal 3/4"	Galvanizada, roscada
5	1	Niple 3	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=210mm, ANSI B16.11
6	1	Valvula Compuerta 3/4"	Roscada
7	1	Niple 4	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=40mm, ANSI B16.11
8	6	Codo 3/4"	90°, galvanizado, roscado
9	1	Niple 5	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=50mm, ANSI B16.11
10	1	Niple 6	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
11	1	Niple 7	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=220mm, ANSI B16.11
12	1	Niple 8	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=25mm, ANSI B16.11
13	1	Niple 9	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=110mm, ANSI B16.11
14	1	Niple 10	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=125mm, ANSI B16.11
15	1	Tobera 3/4" - 1/2"	Diametro Interno de Salida 12mm

LISTA DE PARTE / TABLA N° 5			
ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCION
1	1	Niple 1	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=90mm, ANSI B16.11
2	2	Codo 1/2"	
3	1	Niple 2	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=96mm, ANSI B16.11
4	1	Valvula de Bola 1/2"	Roscado
5	1	Niple 3	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=76mm, ANSI B16.11
6	1	Niple 4	Galvanizado, SCH 40, extremos roscados, L=75mm, ANSI B16.11

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	
DIBUJADO	26/03/2018	Manuel A.		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
COMPROBADO	26/03/2018	Carlos B.		
ESC:	INDICADA			Numero
	ENSAYO DE JOMINI			Sustituye a
				Sustituido por



Anexo 1

Normal ASTM 255



Designation: A 255 – 07

Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 255; 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 (ϵ) 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 These test methods cover the identification and description of test methods for determining the hardenability of steels. The two test methods include the quantitative end-quench or Jominy Test and a method for calculating the hardenability of steel from the chemical composition based on the original work by M. A. Grossman.

1.2 The selection of the test method to be used for determining the hardenability of a given steel shall be agreed upon between the supplier and user. The Certified Material Test Report shall state the method of hardenability determination.

1.3 The calculation method described in these test methods is applicable only to the range of chemical compositions that follow:

Element	Range, %
Carbon	0.10–0.70
Manganese	0.50–1.65
Silicon	0.15–0.60
Nickel	1.50 max
Chromium	1.35 max
Molybdenum	0.55 max
Copper	0.35 max
Vanadium	0.20 max

1.4 Hardenability is a measure of the depth to which steel will harden when quenched from its austenitizing temperature (Table 1). It is measured quantitatively, usually by noting the extent or depth of hardening of a standard size and shape of test specimen in a standardized quench. In the end-quench test the depth of hardening is the distance along the specimen from the quenched end which correlates to a given hardness level.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-*

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E 112 Test Methods for Determining Average Grain Size

2.2 *ASTM Adjuncts:*

ASTM Hardenability Chart³

END-QUENCH OR JOMINY TEST

3. Description

3.1 This test method covers the procedure for determining the hardenability of steel by the end-quench or Jominy test. The test consists of water quenching one end of a cylindrical test specimen 1.0 in. in diameter and measuring the hardening response as a function of the distance from the quenched end.

4. Apparatus

4.1 *Support for Test Specimen*—A fixture for supporting the test specimen vertically so that the lower end of the specimen is a distance of 0.5 in. (12.7 mm) above the orifice of the water-quenching device. A satisfactory type of support for the standard 1.0-in. (25.4-mm) specimen is shown in Fig. 1.

NOTE 1—A suitable support for other sizes and shapes of specimens is shown in Fig. X1.1.

4.2 *Water-Quenching Device*—A water-quenching device of suitable capacity to provide a vertical stream of water that can be controlled to a height of 2.5 in. (63.5 mm) when passing through an orifice 0.5 in. (12.7 mm) in diameter. A tank of sufficient capacity to maintain the water temperature requirements of 6.3 with a small pump and control valves will be

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee A01.15 on Bars.

Current edition approved Sept. 1, 2007. Published October 2007. Originally approved in 1942. Last previous edition approved in 2002 as A 255 – 02 ϵ 1.

² 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.

³ Standard ASTM Hardenability Charts (8½ by 11 in. pads of 50 charts) are available from ASTM International Headquarters. Order Adjunct No. ADJA0255. Original adjunct produced in 1945.

 A 255 – 07

TABLE 1 Normalizing and Austenitizing Temperatures^A

Steel Series	Ordered Carbon Content, max, %	Normalizing Temperature, °F (°C)	Austenitizing Temperature, °F (°C)
1000, 1300, 1500, 3100, 4000, 4100	0.25 and under	1700 (925)	1700 (925)
4300, 4400, 4500, 4600, 4700, 5000, 5100, 6100, ^B 8100, 8600, 8700, 8800, 9400, 9700, 9800	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1600 (870)
	0.37 and over	1600 (870)	1550 (845)
2300, 2500, 3300, 4800, 9300	0.25 and under	1700 (925)	1550 (845)
	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1500 (815)
	0.37 and over	1600 (870)	1475 (800)
9200	0.50 and over	1650 (900)	1600 (870)

^A A variation of $\pm 10^{\circ}\text{F}$ (6°C) from the temperatures in this table is permissible.
^B Normalizing and austenitizing temperatures are 50°F (30°C) higher for the 6100 series.

found satisfactory. The water-supply line shall also be provided with a quick opening valve.

5. Test Specimens

5.1 Wrought Specimens—End-quench specimens shall be prepared from rolled or forged stock and shall represent the full cross section of the product. If negotiated between the supplier and the user, the end-quench specimen may be prepared from a given location in a forged or rolled product or from a continuous cast billet. The test specimen shall be 1.0 in. (25.4 mm) in diameter by 4.0 in. (101.6 mm) in length, with means for hanging it in a vertical position for end quenching. Dimensions of the preferred specimen and of an optional specimen (Note 2) are given in Figs. 2 and 3. The specimen shall be machined from a bar previously normalized in accordance with 6.1 and of such size as to permit the removal of all decarburization in machining to 1.0 in. round. The end of the specimen to be water cooled shall have a reasonably smooth finish, preferably produced by grinding. Normalizing may be waived by agreement between the supplier and the user. The previous thermal history of the specimen tested shall always be recorded.

5.2 Cast Specimens—A separately cast end-quench specimen may be used for non-boron steels. Cast specimens are not suitable for boron steel grades due to erratic results. A graphite or metal mold may be used to form an overlength specimen 1.0 in. (25.4 mm) in diameter which shall be cut to the standard specimen size. The mold may also be used to form a 1.25-in. (31.8-mm) diameter specimen which shall be machined to the final specimen size. Cast tests need not be normalized.

NOTE 2—Other sizes and shapes of test specimens are described in Appendix X1.

6. Procedure

6.1 Normalizing—The wrought product from which the specimen is to be prepared shall be normalized to ensure proper hardening characteristics. The sample shall be held at the temperature listed in Table 1 for 1 h and cooled in air. Tempering of the normalized sample to improve machinability is permitted.

6.2 Heating—Place the specimen in a furnace that is at the specified austenitizing temperature (Table 1) and hold at this temperature for 30 min. In production testing slightly longer times up to 35 min may be used without appreciably affecting results. It is important to heat the specimen in such an atmosphere that practically no scaling and a minimum of decarburization takes place. This may be accomplished by heating the specimen in a vertical position in a container with an easily removable cover containing a layer of cast-iron chips with the bottom face of the specimen resting on the chips.

6.2.1 Other methods consist of placing the specimen in an appropriately sized hole in a graphite block or placing the specimen in an upright tube attached to a flat base, both of a heat-resistant metal, with the collar projecting for a tong hold. Place a disk of graphite or carbon, or a layer of carbonaceous material such as charcoal, in the bottom of the tube to prevent scaling.

6.2.2 For a particular fixture and furnace, determine the time required to heat the specimen to the austenitizing temperature by inserting a thermocouple into a hole drilled axially in the top of the specimen. Repeat this procedure periodically, for example once a month, for each combination of fixture and furnace.

6.3 Quenching—Adjust the water-quenching device so that the stream of water rises to a free height of 2.5 in. (63.5 mm) above the 0.5-in. (12.7-mm) orifice, without the specimen in position. The support for the specimen shall be dry at the beginning of each test. Then place the heated specimen in the support so that its bottom face is 0.5 in. above the orifice, and turn on the water by means of the quick-opening valve. The time between removal of the specimen from the furnace and the beginning of the quench should not be more than 5 s. Direct the stream of water, at a temperature of 40 to 85°F (5 to 30°C), against the bottom face of the specimen for not less than 10 min. Maintain a condition of still air around the specimen during cooling. If the specimen is not cold when removed from the fixture, immediately quench it in water.

6.4 Hardness Measurement—Two flats 180° apart shall be ground to a minimum depth of 0.015 in. (0.38 mm) along the entire length of the bar and Rockwell C hardness measurements made along the length of the bar. Shallower ground depths can affect reproducibility of results, and correlation with cooling rates in quenched bars.

6.4.1 The preparation of the two flats must be carried out with considerable care. They should be mutually parallel and the grinding done in such a manner that no change of the quenched structure takes place. Very light cuts with water cooling and a coarse, soft-grinding wheel are recommended to avoid heating the specimen. In order to detect tempering due to grinding, the flat may be etched with one of the following etchant solutions:

NOTE 3—5 % nitric acid (concentrated) and 95 % water by volume.

NOTE 4—50 % hydrochloric acid (concentrated) and 50 % water by volume.

Wash the sample in hot water. Etch in solution No. 1 until black. Wash in hot water. Immerse in solution No. 2 for 3 s and wash in hot water. Dry in air blast.

A 255 - 07

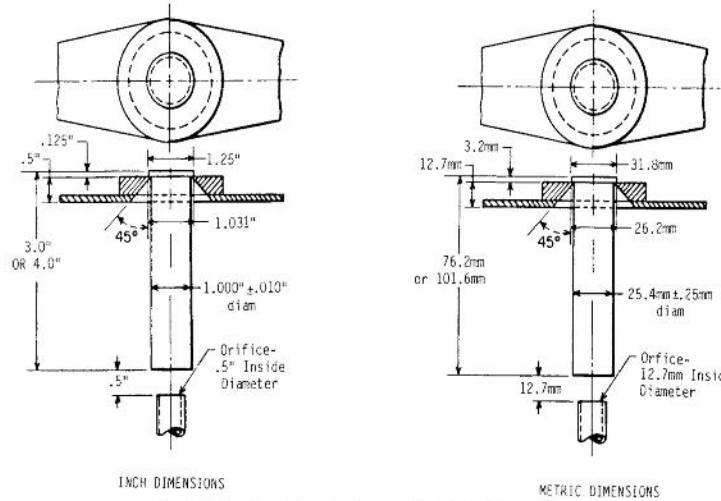


FIG. 1 Test Specimen in Support for Water Quenching

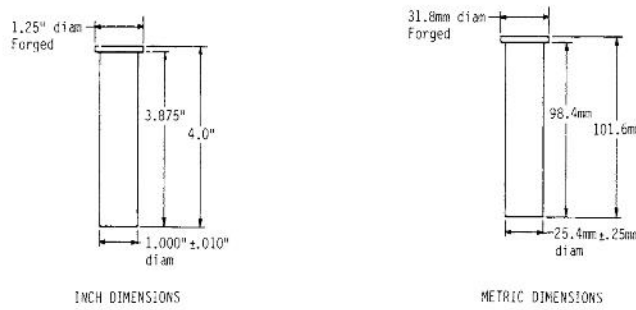


FIG. 2 Preferred Test Specimen

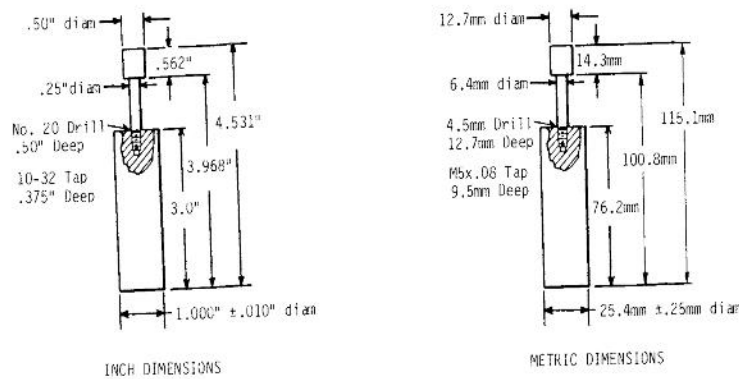


FIG. 3 Optional Test Specimen

6.4.1.1 The presence of lighter or darker areas indicates that hardness and structure have been altered in grinding. If such changes caused by grinding are indicated, new flats may be prepared.

6.4.2 When hardness tests are made, the test specimen rests on one of its flats on an anvil firmly attached to the hardness machine. It is important that no vertical movement be allowed

when the major load is applied. The anvil must be constructed to move the test specimen past the penetrator in accurate steps of 1/16 in. (1.5 mm). Resting the specimen in a V-block is not permitted.

6.4.2.1 The Rockwell tester should periodically be checked against standard test blocks. It is recommended that a test block be interposed between the specimen and the indenter to check

 A 255 – 07

the seating of the indenter and the specimen simultaneously. For general statements regarding the use of test blocks and surface conditions, reference should be made to 4.7 and 5.2, respectively, of Test Methods E 18.

6.4.3 Exercise care in registering the point of the indenter in relationship to the quenched end of the specimen as well as providing for accurate spacing between indentations. A low-power measuring microscope is suitable for use in determining the distance from the quenched end to the center of the first impression and in checking the distance from center to center of the succeeding impressions. It has been found that with reasonable operating care and a well-built fixture, it is practical to locate the center of the first impression 0.0625 ± 0.004 in. (1.5 ± 0.10 mm) from the quenched end. The variations between spacings should be even smaller. Obviously, it is more important to position the indenter accurately when testing low-hardenability steels than when testing high-hardenability steels. The positioning of the indenter should be checked with sufficient frequency to provide assurance that accuracy requirements are being met. In cases of lack of reproducibility or of differences between laboratories, indenter spacing should be measured immediately.

6.4.4 Readings shall be taken in steps of $\frac{1}{16}$ in. (1.6 mm) for the first 16 sixteenths (25.4 mm), then 18, 20, 22, 24, 28, and 32 sixteenths of an inch. Values below 20 HRC are not recorded because such values are not accurate. When a flat on which readings have been made is used as a base, the burrs around the indentation shall be removed by grinding unless a fixture is used which has been relieved to accommodate the irregularities due to the indentations.

6.4.4.1 Hardness readings should preferably be made on two flats 180° apart. Testing on two flats will assist in the detection of errors in specimen preparation and hardness measurement. If the two probes on opposite sides differ by more than 4 HRC points at any one position, the test should be repeated on new flats, 90° from the first two flats. If the retest also has greater than 4 HRC points spread, a new specimen should be tested.

6.4.4.2 For reporting purposes, hardness readings should be recorded to the nearest integer, with 0.5 HRC values rounded to the next higher integer.

7. Plotting Test Results

7.1 Test results should be plotted on a standard hardenability chart prepared for this purpose, in which the ordinates represent HRC values and the abscissae represent the distance from the quenched end of the specimen at which the hardness determinations were made. When hardness readings are taken on two or more flats, the values at the same distance should be averaged and that value used for plotting. A facsimile of the standard ASTM hardenability chart³ on which typical hardenability curves have been plotted is shown in Fig. 4.

8. Index of Hardenability

8.1 The hardenability of a steel can be designated by a specific HRC hardness value or HRC hardness value range at a given Jominy ("J") distance. Examples of this method are J $\frac{1}{16}$ in. (6.4 mm) = 47 HRC min, J $\frac{7}{16}$ in. (11.1 mm) = 50 HRC max, and J $\frac{5}{16}$ in. (7.9 mm) = 38–49 HRC.

9. Report

9.1 Report the following information that may be recorded on the ASTM hardenability chart:

9.1.1 Previous thermal history of the specimen tested, including the temperature of normalizing and austenitizing.

9.1.2 Chemical Composition,

9.1.3 ASTM grain size (McQuaid-Ehn) as determined by Test Methods E 112, unless otherwise indicated, and

9.1.4 A prominent notation on the standard hardenability chart if any of the test specimens listed in Appendix X1 are used.

CALCULATION OF HARDENABILITY

10. Introduction

10.1 This method of Jominy Hardenability calculation from the chemical ideal diameter (DI) on a steel is based on the original work of M. A. Grossman and provides increased accuracy by refinement of the carbon multiplying factors and the correlation of a boron factor (B.F.) with carbon and alloy content. These refinements were based on analysis of thousands of heats of boron and non-boron 1500, 4100, 5000, and 8600 series steels encompassing a range of compositions as follows and a range of DI as contained in Tables 2-5. The accuracy of this test method and the techniques used to develop it have been documented. For comparison of this test method to others, or for steel compositions outside the mentioned grades, the user should refer to other articles concerned with calculating hardenability.

Element	Range, %
Carbon	0.10–0.70
Manganese	0.50–1.65
Silicon	0.15–0.60
Nickel	1.50 max
Chromium	1.35 max
Molybdenum	0.55 max
Copper	0.35 max
Vanadium	0.20 max

10.1.1 Calculated DI and Jominy hardenability curves are valid only within the chemical ranges stated above. However, to facilitate melting process control for higher alloy steels, Hardenability Multiplying Factors have been included for calculating the DI within the following chemical composition ranges:

Element	Range, %
Carbon	0.01–0.90
Manganese	0.01–1.95
Silicon	0.01–2.00
Nickel	0.01–3.50
Chromium	0.01–2.50
Molybdenum	0.01–0.55
Copper	0.01–0.55
Vanadium	0.01–0.20
Zirconium	0.01–0.25

10.2 Tables 2-18 are to be used to calculate hardenability from the chemical ideal diameter for the grades shown in 10.1. Hardenability results are to be reported for the first 10 sixteenth (16 mm), the 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28, and 32 sixteenths of an inch.

A 255 - 07

A. S. T. M. END QUENCH TEST FOR HARDENABILITY OF STEEL (A 255 - 48 T)

DATE _____
LABORATORY _____
TYPE SPECIMEN _____
TEST NO. _____

TYPE	HEAT NO.	GRAIN SIZE	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	NOML. TEMP., °F.	QUENCH TEMP., °F.
8740	19257	8-7	.44	.85	.019	.016	.27	.58	.50	.25	1600	1550
8620	621271	7-8	.19	.80	.015	.015	.23	.46	.52	.22	1700	1700

REMARKS:

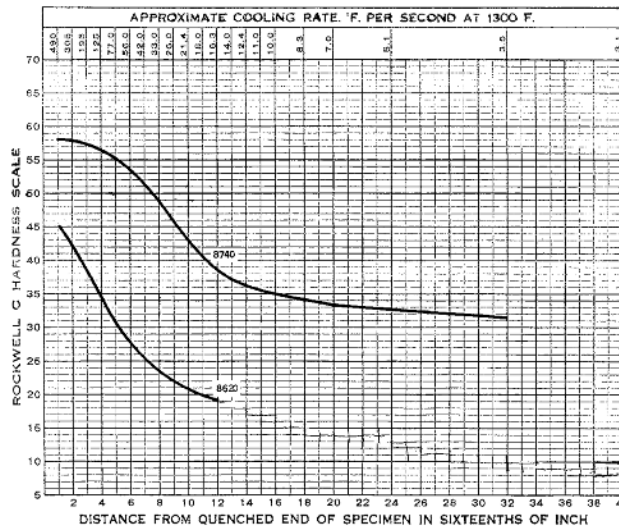


FIG. 4 Facsimile of Standard ASTM Hardenability Chart, Showing Typical Hardenability Curves [Chart Size: 8½ by 11 in. (216 by 279 mm)]

NOTE 5—The reporting of hardenability using the calculated method differs from the procedure as shown in 6.4.4.

10.3 *DI Calculation for Non-Boron Steels*—This calculation relies on a series of hardenability factors (Table 6) for each alloying element in the composition which, when multiplied together, gives a DI value. (For simplicity, only multiplying factors for DI in inch-pound units are given. For DI in millimetres, use the metric value table.) The effects of phosphorous and sulfur are not considered since they tend to cancel one another. A No. 7 austenitic grain size is assumed since most steels with hardenability control are melted to a fine-grain practice where experience has demonstrated that a high percentage of heats conform to this grain size. An example DI calculation is given as follows for an SAE 4118 modified steel:

Element	%	Multiplying Factor
Carbon	0.22	0.119
Manganese	0.80	3.667
Silicon	0.18	1.126
Nickel	0.10	1.036
Chromium	0.43	1.929
Molybdenum	0.25	1.75
Copper	0.10	1.04
Vanadium	0.05	1.09

where:

$$DI = 0.119 \times 3.667 \times 1.126 \times 1.036 \times 1.929 \times 1.75 \times 1.04 \times 1.09 = 1.95 \text{ in.}$$


10.4 *DI Calculation for Boron Steels*—With an effective steel making process, the boron factor (signifying the contribution for boron to increased hardenability) is an inverse function of the carbon and alloy content. The higher the carbon or alloy content, or both, the lower the boron factor.

10.4.1 The actual boron factor is expressed by the following relationship:

$$B.F. = \frac{\text{measured DI (from Jominy data and carbon content)}}{\text{calculated DI (from composition excluding boron)}} \quad (1)$$

10.4.2 An example of actual boron factor determination is given as follows for an SAE 15B30 modified steel:

Composition, %	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	B	Calculated DI (boron excluded)
End-Quench Test Results, in.									
"J" Position (½ in.)	1	2	3	4	5	6	7		
Hardness, HRC	50	50	49	48	47	45	41		
"J" Position (½ in.)	8	9	10	12	14	16			
Hardness, HRC	38	33	28	25	22	20			

 A 255 – 07

10.4.3 Using **Table 7**, determine the nearest location on the end-quench curve where hardness corresponding to 50% martensite occurs for the actual carbon content. For the example heat with 0.29 carbon, this hardness is 37 HRC occurring at a “J” distance of $\frac{5}{16}$ in. from the quenched end (interpolation required).

10.4.4 From **Table 8** (in.), a “J” distance of $\frac{5}{16}$ in. equates to a measured DI of 2.97 in. (interpolation required).

$$\text{Boron Factor} = \frac{2.97 \text{ in.}}{1.35 \text{ in.}} = 2.2 \text{ boron factor} \quad (2)$$

10.4.5 *Calculation of DI with Boron (DI_B):*

10.4.5.1 Calculate the DI without boron. For the example in **10.4.4**, this DI is 1.35 in.

10.4.5.2 Calculate the alloy factor (the product of all the multiplying factors from **Table 6** excluding carbon). For the example in **10.4.4**:

$$\text{Alloy Factor} = \frac{\text{Calculated DI (without boron)}}{\text{Carbon multiplying factor}} = \frac{1.35 \text{ in.}}{0.157 \text{ in.}} = 8.6 \quad (3)$$

10.4.5.3 Determine the boron multiplying factor from **Table 10**. For this example with 0.29% carbon and an alloy factor of 8.6, the boron multiplying factor is 2.31 (interpolation required).

10.4.6 Calculate the DI with boron as follows:

where:

$$DI_B = \text{DI (without boron)} \times \text{boron factor}$$

$$DI_B = 1.35 \text{ in.} \times 2.31$$

$$DI_B = 3.12 \text{ in.}$$

10.5 *Hardenability Curves from Composition*—With a pre-determined DI (DI_B for boron steel), the end-quench hardenability curve can be computed by the following procedure:

10.5.1 The initial hardness (IH) at the $J = \frac{1}{16}$ in. position is a function of carbon content and independent of hardenability and is selected from **Table 7**. For the example non-boron SAE 4118 modified heat containing 0.22 % carbon, the initial hardness is 45 HRC.

10.5.2 The hardness at other positions along the end-quench specimen (termed distance hardness) is determined by dividing the initial hardness by the appropriate factor from **Table 2** (in.) or **Table 3** (mm) for non-boron steels or from **Table 4** (in.) or **Table 5** (mm) for boron steels.

10.6 For the example non-boron heat with an IH = 45 HRC and a calculated DI of 1.95 in., the hardness at the respective end-quench positions can be calculated by dividing 45 by the appropriate dividing factor listed in **Table 2** (in.) for non-boron steels. (For simplicity, the DI should be rounded to the nearest 0.1 in.).

10.7 Distance Dividing Hardness Factors in **Tables 2-5** are calculated from the equations in **Tables 15-18**. Multiplying Factors in **Table 6** are calculated from the equations in **Table 11**. Jominy Distance for 50 % Martensite versus DI in **Tables 8 and 9** are calculated from the equations in **Table 13**. Boron Factor versus % Carbon and Alloy Factor in **Table 10** are calculated from the equations in **Table 14**. Equations representing a least squares polynomial fit of the data contained in **Table 7** is listed in **Table 12**. The use of these equations to plot curves may result in random inflection points due to the characteristics of polynomial equations. These inflections will be minor, however, and should be disregarded.

11. Keywords

11.1 end-quench hardenability; hardenability


 A 255 – 07

TABLE 2 Distance Hardness Dividing Factors for Non-Boron Steels, in.

Ideal Diameter (DI), in.	Jominy End-Quench Distance (1/16 in.)																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28	32
1	1.15	1.50	2.14	2.46	2.72	2.81	2.92	3.07	3.22	3.49							
1.1	1.12	1.42	1.99	2.32	2.60	2.70	2.80	2.94	3.07	3.34							
1.2	1.10	1.35	1.85	2.20	2.48	2.59	2.69	2.81	2.94	3.20	3.32	3.44					
1.3	1.08	1.29	1.74	2.09	2.38	2.48	2.58	2.69	2.81	3.07	3.19	3.30	3.53				
1.4	1.07	1.24	1.64	1.99	2.27	2.38	2.47	2.58	2.69	2.95	3.06	3.17	3.37	3.50	3.79		
1.5	1.05	1.19	1.56	1.89	2.18	2.28	2.37	2.47	2.58	2.83	2.94	3.05	3.22	3.35	3.61		
1.6	1.04	1.16	1.49	1.81	2.09	2.19	2.28	2.37	2.47	2.73	2.83	2.94	3.09	3.21	3.45	3.67	3.77
1.7	1.03	1.13	1.43	1.73	2.00	2.10	2.19	2.28	2.38	2.62	2.73	2.83	2.96	3.07	3.30	3.51	3.63
1.8	1.02	1.11	1.37	1.66	1.92	2.02	2.11	2.19	2.29	2.53	2.63	2.73	2.85	2.95	3.17	3.37	3.49
1.9	1.02	1.09	1.33	1.60	1.85	1.94	2.03	2.11	2.20	2.44	2.54	2.64	2.74	2.84	3.04	3.24	3.36
2	1.01	1.08	1.29	1.54	1.78	1.87	1.95	2.03	2.12	2.35	2.45	2.55	2.65	2.74	2.93	3.12	3.24
2.1	1.01	1.07	1.26	1.48	1.72	1.80	1.89	1.96	2.05	2.27	2.37	2.47	2.56	2.65	2.83	3.00	3.13
2.2	1.00	1.07	1.23	1.44	1.65	1.74	1.82	1.90	1.98	2.20	2.30	2.39	2.47	2.56	2.74	2.90	3.03
2.3	1.00	1.06	1.21	1.39	1.60	1.68	1.76	1.83	1.91	2.13	2.22	2.32	2.40	2.48	2.65	2.81	2.93
2.4	1.00	1.06	1.18	1.35	1.55	1.62	1.70	1.77	1.85	2.06	2.16	2.25	2.32	2.41	2.57	2.72	2.84
2.5	1.00	1.05	1.17	1.32	1.50	1.57	1.65	1.72	1.80	2.00	2.09	2.19	2.26	2.34	2.50	2.64	2.76
2.6	1.00	1.05	1.15	1.29	1.45	1.52	1.60	1.67	1.74	1.94	2.03	2.13	2.19	2.27	2.43	2.57	2.68
2.7	1.00	1.04	1.13	1.26	1.41	1.48	1.56	1.62	1.69	1.88	1.97	2.07	2.14	2.21	2.37	2.50	2.61
2.8	1.00	1.04	1.12	1.23	1.37	1.44	1.52	1.58	1.65	1.83	1.92	2.02	2.08	2.16	2.31	2.43	2.54
2.9	1.00	1.03	1.11	1.21	1.34	1.40	1.48	1.54	1.61	1.78	1.87	1.97	2.03	2.10	2.25	2.37	2.48
3	1.00	1.02	1.10	1.19	1.31	1.37	1.44	1.50	1.56	1.73	1.82	1.92	1.98	2.05	2.20	2.31	2.41
3.1	1.00	1.01	1.09	1.17	1.28	1.34	1.41	1.47	1.53	1.68	1.77	1.87	1.94	2.01	2.15	2.26	2.36
3.2	1.00	1.00	1.08	1.15	1.25	1.31	1.38	1.43	1.49	1.64	1.73	1.83	1.89	1.96	2.10	2.21	2.30
3.3	1.00	1.00	1.07	1.13	1.23	1.28	1.35	1.40	1.46	1.60	1.69	1.79	1.85	1.92	2.05	2.16	2.25
3.4	1.00	1.00	1.06	1.12	1.20	1.26	1.32	1.37	1.43	1.56	1.65	1.75	1.81	1.87	2.01	2.11	2.20
3.5	1.00	1.00	1.05	1.10	1.18	1.24	1.30	1.35	1.40	1.53	1.61	1.71	1.77	1.83	1.96	2.07	2.15
3.6	1.00	1.00	1.05	1.09	1.17	1.22	1.28	1.32	1.37	1.49	1.58	1.68	1.73	1.79	1.92	2.02	2.10
3.7	1.00	1.00	1.04	1.08	1.15	1.20	1.26	1.30	1.35	1.46	1.54	1.64	1.70	1.76	1.87	1.98	2.06
3.8	1.00	1.00	1.04	1.07	1.14	1.18	1.24	1.28	1.32	1.43	1.51	1.61	1.66	1.72	1.83	1.94	2.01
3.9	1.00	1.00	1.03	1.06	1.12	1.17	1.22	1.25	1.30	1.40	1.48	1.58	1.63	1.68	1.79	1.90	1.97
4	1.00	1.00	1.02	1.05	1.11	1.15	1.20	1.24	1.28	1.37	1.45	1.55	1.60	1.65	1.75	1.86	1.93
4.1	1.00	1.00	1.01	1.04	1.10	1.14	1.18	1.22	1.26	1.35	1.42	1.52	1.57	1.62	1.71	1.82	1.89
4.2	1.00	1.00	1.00	1.03	1.09	1.13	1.17	1.20	1.24	1.32	1.39	1.49	1.54	1.58	1.68	1.78	1.85
4.3	1.00	1.00	1.00	1.02	1.08	1.12	1.15	1.18	1.22	1.30	1.37	1.46	1.51	1.55	1.64	1.75	1.82
4.4	1.00	1.00	1.00	1.01	1.07	1.10	1.14	1.17	1.21	1.28	1.35	1.44	1.48	1.52	1.60	1.71	1.78
4.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	1.09	1.13	1.15	1.19	1.26	1.32	1.41	1.45	1.49	1.57	1.67	1.75
4.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.08	1.11	1.14	1.18	1.24	1.30	1.39	1.42	1.46	1.54	1.64	1.71
4.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.07	1.10	1.13	1.16	1.22	1.28	1.36	1.40	1.43	1.50	1.60	1.68
4.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.06	1.09	1.11	1.15	1.21	1.26	1.34	1.37	1.40	1.47	1.57	1.65
4.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.08	1.10	1.13	1.19	1.24	1.32	1.35	1.37	1.44	1.54	1.62
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.09	1.12	1.18	1.23	1.30	1.32	1.35	1.41	1.51	1.59
5.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.06	1.08	1.11	1.17	1.21	1.28	1.30	1.32	1.39	1.48	1.56
5.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.15	1.20	1.26	1.28	1.30	1.36	1.45	1.53
5.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.09	1.14	1.18	1.24	1.26	1.28	1.34	1.42	1.50
5.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.08	1.13	1.17	1.22	1.24	1.25	1.32	1.39	1.48
5.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.07	1.12	1.16	1.21	1.22	1.23	1.30	1.37	1.45
5.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.11	1.15	1.19	1.20	1.22	1.28	1.34	1.43
5.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10	1.14	1.18	1.19	1.20	1.26	1.32	1.41
5.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.09	1.13	1.16	1.17	1.18	1.25	1.30	1.38
5.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.08	1.12	1.15	1.16	1.17	1.23	1.28	1.36
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.11	1.13	1.14	1.15	1.22	1.26	1.34
6.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.06	1.10	1.12	1.13	1.14	1.21	1.24	1.32
6.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.09	1.11	1.12	1.13	1.20	1.22	1.30
6.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.08	1.10	1.11	1.12	1.19	1.21	1.28
6.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.07	1.09	1.10	1.11	1.18	1.20	1.26
6.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.08	1.09	1.10	1.17	1.18	1.25
6.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.07	1.08	1.09	1.15	1.17	1.23
6.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.07	1.08	1.14	1.16	1.21
6.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.06	1.07	1.12	1.15	1.19
6.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.11	1.14	1.17
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.05	1.08	1.13	1.15


 A 255 – 07

TABLE 3 Distance Hardness Dividing Factors for Non-Boron Steels, mm

Ideal Diameter (DI), mm	Jominy End-Quench Distance (mm)													
	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
25	1.13	1.62	2.11	2.62	2.82	2.96	3.15	3.52						
27.5	1.11	1.54	1.99	2.50	2.70	2.84	3.01	3.37						
30	1.09	1.47	1.88	2.38	2.58	2.72	2.89	3.24	3.48					
32.5	1.07	1.41	1.78	2.27	2.48	2.61	2.76	3.11	3.34	3.58				
35	1.06	1.35	1.69	2.17	2.37	2.51	2.65	2.99	3.20	3.43				
37.5	1.05	1.30	1.61	2.07	2.28	2.41	2.54	2.88	3.08	3.28	3.52			
40	1.04	1.26	1.54	1.99	2.19	2.31	2.44	2.77	2.96	3.15	3.37	3.56		
42.5	1.03	1.22	1.48	1.91	2.10	2.22	2.35	2.67	2.85	3.03	3.23	3.41	3.55	
45	1.02	1.19	1.42	1.83	2.02	2.14	2.26	2.57	2.75	2.92	3.10	3.27	3.41	3.54
47.5	1.02	1.16	1.37	1.76	1.95	2.06	2.17	2.48	2.66	2.81	2.98	3.14	3.28	3.41
50	1.01	1.13	1.33	1.70	1.87	1.99	2.10	2.40	2.57	2.71	2.87	3.03	3.16	3.29
52.5	1.01	1.11	1.29	1.64	1.81	1.92	2.02	2.32	2.48	2.62	2.77	2.92	3.05	3.18
55	1.00	1.10	1.26	1.58	1.75	1.85	1.95	2.24	2.40	2.54	2.68	2.82	2.95	3.07
57.5	1.00	1.08	1.23	1.53	1.69	1.79	1.89	2.17	2.33	2.46	2.60	2.73	2.85	2.97
60	1.00	1.07	1.21	1.48	1.63	1.74	1.83	2.10	2.26	2.39	2.52	2.65	2.76	2.88
62.5	1.00	1.06	1.18	1.44	1.58	1.68	1.77	2.04	2.19	2.32	2.45	2.57	2.68	2.79
65	1.00	1.05	1.16	1.40	1.54	1.63	1.72	1.98	2.13	2.26	2.38	2.50	2.60	2.70
67.5	1.00	1.04	1.15	1.36	1.49	1.59	1.67	1.92	2.08	2.20	2.32	2.43	2.53	2.62
70	1.00	1.04	1.13	1.33	1.45	1.54	1.63	1.87	2.02	2.14	2.26	2.37	2.46	2.55
72.5	1.00	1.03	1.12	1.30	1.41	1.50	1.58	1.82	1.97	2.09	2.20	2.31	2.40	2.48
75	1.00	1.03	1.11	1.27	1.38	1.46	1.54	1.77	1.92	2.04	2.15	2.25	2.34	2.41
77.5	1.00	1.03	1.10	1.24	1.35	1.43	1.51	1.72	1.87	1.99	2.10	2.20	2.28	2.35
80	1.00	1.02	1.09	1.22	1.32	1.40	1.47	1.68	1.83	1.95	2.06	2.15	2.22	2.29
82.5	1.00	1.02	1.08	1.20	1.29	1.37	1.44	1.64	1.79	1.90	2.01	2.10	2.17	2.23
85	1.00	1.02	1.07	1.18	1.26	1.34	1.41	1.60	1.75	1.86	1.97	2.05	2.12	2.17
87.5	1.00	1.02	1.07	1.16	1.24	1.31	1.38	1.57	1.71	1.82	1.92	2.01	2.07	2.12
90	1.00	1.02	1.06	1.14	1.22	1.29	1.35	1.53	1.67	1.78	1.88	1.96	2.03	2.07
92.5	1.00	1.01	1.05	1.13	1.20	1.27	1.33	1.50	1.64	1.75	1.84	1.92	1.98	2.02
95	1.00	1.01	1.05	1.11	1.18	1.24	1.31	1.47	1.60	1.71	1.81	1.88	1.94	1.98
97.5	1.00	1.01	1.04	1.10	1.16	1.22	1.28	1.44	1.57	1.67	1.77	1.84	1.90	1.93
100	1.00	1.01	1.04	1.09	1.15	1.21	1.26	1.41	1.54	1.64	1.73	1.80	1.86	1.89
102.5	1.00	1.01	1.03	1.08	1.13	1.19	1.24	1.39	1.51	1.61	1.70	1.76	1.82	1.85
105	1.00	1.01	1.03	1.07	1.12	1.17	1.23	1.36	1.48	1.58	1.66	1.73	1.78	1.81
107.5	1.00	1.00	1.02	1.06	1.11	1.16	1.21	1.34	1.46	1.55	1.63	1.69	1.74	1.77
110	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10	1.15	1.19	1.32	1.43	1.51	1.59	1.65	1.71
112.5	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08	1.13	1.18	1.29	1.41	1.49	1.56	1.62	1.67
115	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.12	1.16	1.27	1.38	1.46	1.53	1.59	1.64	1.67
117.5	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.11	1.15	1.26	1.36	1.43	1.50	1.55	1.61	1.63
120	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.10	1.14	1.24	1.34	1.40	1.47	1.52	1.58	1.60
122.5	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.09	1.12	1.22	1.31	1.38	1.44	1.49	1.55	1.57
125	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08	1.11	1.21	1.29	1.35	1.41	1.46	1.52	1.54
127.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.10	1.19	1.27	1.33	1.39	1.43	1.49	1.52
130	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.09	1.18	1.25	1.31	1.36	1.41	1.46	1.49
132.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.08	1.16	1.24	1.28	1.34	1.38	1.44	1.47
135	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.07	1.15	1.22	1.26	1.32	1.36	1.42	1.44
137.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.14	1.20	1.24	1.30	1.34	1.39	1.42
140	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.13	1.19	1.22	1.28	1.32	1.37	1.40
142.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.12	1.17	1.21	1.26	1.30	1.35	1.38
145	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.11	1.16	1.19	1.24	1.28	1.33	1.36
147.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.10	1.14	1.17	1.23	1.26	1.32	1.34
150	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.09	1.13	1.16	1.21	1.25	1.30	1.33
152.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.08	1.12	1.15	1.20	1.23	1.29	1.31
155	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.07	1.10	1.13	1.19	1.22	1.27	1.30
157.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	1.09	1.12	1.18	1.21	1.26	1.28
160	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.08	1.11	1.17	1.20	1.24	1.27
162.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.07	1.10	1.16	1.19	1.23	1.26
165	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.09	1.15	1.17	1.22	1.25
167.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.08	1.14	1.16	1.21	1.24
170	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.07	1.13	1.15	1.20	1.23
172.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.12	1.14	1.18	1.22
175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.11	1.12	1.17	1.21
177.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.10	1.10	1.15	1.20


 A 255 – 07

TABLE 4 Distance Hardness Dividing Factors for Boron Steels, in.

Ideal Diameter (DI), in.	Jominy End-Quench Distance ($\frac{1}{16}$ in.)																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	24	28	32
1.5	1.10	1.14	1.88	2.52	2.91	3.23											
1.6	1.08	1.12	1.65	2.20	2.70	3.02											
1.7	1.07	1.10	1.47	1.95	2.50	2.82	2.99										
1.8	1.06	1.09	1.34	1.74	2.31	2.63	2.83	3.00									
1.9	1.05	1.08	1.25	1.58	2.13	2.45	2.67	2.84	3.08								
2	1.04	1.07	1.19	1.46	1.97	2.28	2.51	2.68	2.88	3.33							
2.1	1.03	1.06	1.14	1.36	1.83	2.12	2.36	2.53	2.70	3.15	3.69						
2.2	1.02	1.05	1.11	1.29	1.70	1.98	2.21	2.38	2.53	2.98	3.48	3.86					
2.3	1.02	1.04	1.09	1.24	1.58	1.84	2.08	2.24	2.38	2.82	3.29	3.65					
2.4	1.02	1.04	1.08	1.20	1.48	1.72	1.95	2.11	2.24	2.67	3.11	3.45	3.63				
2.5	1.01	1.03	1.07	1.17	1.40	1.61	1.83	1.99	2.12	2.54	2.95	3.27	3.45	3.62	4.05		
2.6	1.00	1.03	1.06	1.15	1.32	1.52	1.72	1.87	2.00	2.41	2.79	3.09	3.28	3.46	3.86	4.23	
2.7	1.00	1.03	1.05	1.14	1.26	1.43	1.62	1.77	1.90	2.29	2.65	2.93	3.12	3.30	3.67	4.00	
2.8	1.00	1.02	1.05	1.13	1.21	1.36	1.53	1.67	1.80	2.18	2.52	2.78	2.97	3.15	3.50	3.78	4.27
2.9	1.00	1.01	1.04	1.12	1.17	1.30	1.44	1.58	1.72	2.08	2.40	2.65	2.83	3.01	3.34	3.59	4.01
3	1.00	1.00	1.04	1.11	1.13	1.25	1.37	1.51	1.64	1.99	2.29	2.52	2.70	2.88	3.19	3.41	3.78
3.1	1.00	1.00	1.03	1.10	1.11	1.20	1.31	1.44	1.57	1.90	2.19	2.40	2.57	2.75	3.04	3.25	3.57
3.2	1.00	1.00	1.03	1.09	1.09	1.17	1.26	1.38	1.50	1.82	2.09	2.29	2.46	2.63	2.91	3.10	3.39
3.3	1.00	1.00	1.02	1.08	1.08	1.14	1.21	1.33	1.45	1.75	2.01	2.19	2.35	2.51	2.78	2.97	3.22
3.4	1.00	1.00	1.02	1.07	1.07	1.11	1.17	1.28	1.40	1.68	1.93	2.10	2.25	2.40	2.66	2.84	3.07
3.5	1.00	1.00	1.01	1.06	1.06	1.10	1.14	1.24	1.35	1.62	1.85	2.01	2.16	2.30	2.55	2.73	2.94
3.6	1.00	1.00	1.00	1.05	1.06	1.08	1.12	1.21	1.31	1.56	1.78	1.93	2.07	2.21	2.45	2.63	2.82
3.7	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.08	1.10	1.18	1.27	1.51	1.72	1.86	1.99	2.12	2.35	2.53	2.71
3.8	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.07	1.09	1.16	1.24	1.46	1.66	1.80	1.92	2.04	2.26	2.44	2.61
3.9	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.06	1.08	1.14	1.21	1.42	1.60	1.74	1.85	1.96	2.18	2.36	2.52
4	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.06	1.07	1.13	1.19	1.38	1.55	1.68	1.79	1.89	2.11	2.29	2.44
4.1	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.06	1.07	1.12	1.17	1.35	1.50	1.63	1.73	1.82	2.03	2.22	2.37
4.2	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.06	1.11	1.15	1.31	1.46	1.58	1.68	1.76	1.97	2.15	2.30
4.3	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.06	1.10	1.13	1.28	1.42	1.54	1.63	1.71	1.91	2.09	2.23
4.4	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.06	1.09	1.11	1.25	1.38	1.50	1.58	1.66	1.85	2.03	2.17
4.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.09	1.10	1.23	1.35	1.47	1.54	1.61	1.80	1.98	2.11
4.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.08	1.09	1.21	1.32	1.43	1.51	1.57	1.75	1.93	2.06
4.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.08	1.08	1.19	1.29	1.40	1.47	1.53	1.71	1.88	2.01
4.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07	1.07	1.17	1.26	1.37	1.44	1.50	1.67	1.83	1.96
4.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.04	1.06	1.06	1.15	1.24	1.35	1.41	1.47	1.63	1.79	1.91
5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.06	1.14	1.21	1.32	1.38	1.44	1.59	1.75	1.87
5.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.05	1.12	1.19	1.30	1.36	1.41	1.56	1.71	1.82
5.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.04	1.05	1.11	1.17	1.28	1.33	1.39	1.52	1.67	1.78
5.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04	1.10	1.16	1.26	1.31	1.36	1.49	1.64	1.74
5.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.09	1.14	1.24	1.29	1.34	1.46	1.60	1.70
5.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.08	1.13	1.22	1.27	1.32	1.44	1.57	1.67
5.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.07	1.12	1.20	1.25	1.30	1.41	1.54	1.63
5.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.06	1.11	1.19	1.23	1.28	1.38	1.51	1.60
5.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.05	1.10	1.17	1.22	1.26	1.36	1.48	1.56
5.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.09	1.16	1.20	1.24	1.33	1.46	1.53
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.08	1.14	1.18	1.23	1.31	1.43	1.50
6.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.13	1.17	1.21	1.28	1.41	1.47
6.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.12	1.15	1.19	1.26	1.38	1.44
6.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.10	1.14	1.17	1.23	1.35	1.41
6.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.09	1.12	1.15	1.21	1.33	1.38
6.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.08	1.11	1.13	1.18	1.30	1.35
6.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.07	1.09	1.12	1.16	1.27	1.32
6.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.08	1.10	1.14	1.25	1.29
6.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.07	1.08	1.11	1.21	1.25
6.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.06	1.07	1.09	1.18	1.21
7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.05	1.05	1.07	1.14	1.17


 A 255 – 07

TABLE 5 Distance Hardness Dividing Factors for Boron Steels, mm

Ideal Diameter (DI), mm	Jominy End-Quench Distance (mm)													
	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
40	1.07	1.25	1.92	2.56										
42.5	1.06	1.21	1.73	2.34										
45	1.05	1.18	1.57	2.14	2.64									
47.5	1.04	1.14	1.45	1.97	2.44									
50	1.03	1.12	1.35	1.83	2.26	2.57								
52.5	1.03	1.09	1.28	1.70	2.10	2.40								
55	1.03	1.08	1.22	1.59	1.96	2.24	2.52							
57.5	1.02	1.06	1.17	1.49	1.83	2.10	2.37							
60	1.02	1.05	1.14	1.41	1.71	1.97	2.23							
62.5	1.01	1.04	1.11	1.35	1.61	1.86	2.10							
65	1.01	1.03	1.09	1.29	1.53	1.75	1.99	2.56						
67.5	1.00	1.03	1.08	1.24	1.45	1.66	1.88	2.43						
70	1.00	1.02	1.07	1.20	1.38	1.57	1.78	2.32						
72.5	1.00	1.02	1.06	1.17	1.32	1.50	1.70	2.21						
75	1.00	1.01	1.06	1.14	1.27	1.43	1.62	2.11	2.53					
77.5	1.00	1.01	1.05	1.12	1.23	1.37	1.55	2.01	2.42	2.71				
80	1.00	1.00	1.05	1.11	1.19	1.32	1.48	1.93	2.31	2.59	2.82			
82.5	1.00	1.00	1.05	1.10	1.16	1.27	1.43	1.85	2.21	2.47	2.70	2.89	3.06	3.26
85	1.00	1.00	1.04	1.09	1.13	1.23	1.38	1.78	2.11	2.37	2.59	2.77	2.92	3.11
87.5	1.00	1.00	1.04	1.08	1.11	1.20	1.33	1.71	2.03	2.27	2.48	2.66	2.80	2.98
90	1.00	1.00	1.03	1.07	1.09	1.17	1.29	1.65	1.95	2.18	2.38	2.55	2.69	2.86
92.5	1.00	1.00	1.03	1.07	1.08	1.15	1.26	1.59	1.87	2.09	2.29	2.46	2.59	2.75
95	1.00	1.00	1.02	1.06	1.07	1.13	1.23	1.54	1.81	2.01	2.20	2.37	2.50	2.65
97.5	1.00	1.00	1.01	1.06	1.06	1.11	1.20	1.49	1.74	1.94	2.12	2.28	2.42	2.56
100	1.00	1.00	1.00	1.06	1.05	1.09	1.18	1.45	1.69	1.87	2.05	2.21	2.34	2.48
102.5	1.00	1.00	1.00	1.05	1.04	1.08	1.16	1.41	1.63	1.81	1.98	2.13	2.27	2.41
105	1.00	1.00	1.00	1.05	1.04	1.07	1.14	1.37	1.58	1.75	1.91	2.07	2.21	2.34
107.5	1.00	1.00	1.00	1.05	1.04	1.06	1.13	1.34	1.54	1.70	1.86	2.01	2.15	2.27
110	1.00	1.00	1.00	1.04	1.03	1.06	1.12	1.31	1.50	1.65	1.80	1.95	2.09	2.21
112.5	1.00	1.00	1.00	1.04	1.03	1.05	1.11	1.28	1.46	1.61	1.75	1.89	2.03	2.16
115	1.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.05	1.10	1.25	1.43	1.56	1.70	1.84	1.98	2.10
117.5	1.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.05	1.09	1.23	1.39	1.53	1.66	1.80	1.93	2.05
120	1.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.04	1.08	1.21	1.36	1.49	1.62	1.75	1.88	2.01
122.5	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.04	1.08	1.19	1.34	1.46	1.58	1.71	1.84	1.96
125	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02	1.04	1.07	1.17	1.31	1.43	1.55	1.67	1.80	1.91
127.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.07	1.15	1.29	1.40	1.52	1.64	1.75	1.87
130	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.06	1.14	1.27	1.38	1.49	1.60	1.72	1.83
132.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.13	1.25	1.35	1.46	1.57	1.68	1.79
135	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.11	1.23	1.33	1.44	1.54	1.64	1.75
137.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.10	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61	1.72
140	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.09	1.19	1.29	1.39	1.48	1.58	1.68
142.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.08	1.18	1.27	1.37	1.45	1.55	1.65
145	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.03	1.07	1.16	1.25	1.34	1.43	1.52	1.62
147.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.06	1.15	1.24	1.32	1.41	1.49	1.59
150	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.14	1.22	1.30	1.38	1.47	1.56
152.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.53
155	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.11	1.18	1.26	1.34	1.42	1.51
157.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.10	1.17	1.24	1.31	1.40	1.48
160	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.09	1.15	1.22	1.29	1.37	1.45
162.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.07	1.13	1.20	1.27	1.35	1.43
165	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.12	1.18	1.25	1.33	1.40
167.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.10	1.16	1.22	1.30	1.37
170	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.08	1.14	1.20	1.27	1.33
172.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.07	1.12	1.17	1.23	1.29
175	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10	1.14	1.19	1.25
177.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.08	1.11	1.14	1.20


 A 255 – 07

TABLE 6 Multiplying Factors, in.

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
0.01	0.005	1.033	1.007	1.004	1.022	1.03	1.00	1.02	1.02
0.02	0.011	1.067	1.014	1.007	1.043	1.06	1.01	1.03	1.05
0.03	0.016	1.100	1.021	1.011	1.065	1.09	1.01	1.05	1.07
0.04	0.022	1.133	1.028	1.015	1.086	1.12	1.01	1.07	1.10
0.05	0.027	1.167	1.035	1.018	1.108	1.15	1.02	1.09	1.12
0.06	0.032	1.200	1.042	1.022	1.130	1.18	1.02	1.10	1.15
0.07	0.038	1.233	1.049	1.025	1.151	1.21	1.03	1.12	1.17
0.08	0.043	1.267	1.056	1.029	1.173	1.24	1.03	1.14	1.20
0.09	0.049	1.300	1.063	1.033	1.194	1.27	1.03	1.16	1.22
0.10	0.054	1.333	1.070	1.036	1.216	1.30	1.04	1.17	1.25
0.11	0.059	1.367	1.077	1.040	1.238	1.33	1.04	1.19	1.27
0.12	0.065	1.400	1.084	1.044	1.259	1.36	1.04	1.21	1.30
0.13	0.070	1.433	1.091	1.047	1.281	1.39	1.05	1.22	1.32
0.14	0.076	1.467	1.098	1.051	1.302	1.42	1.05	1.24	1.35
0.15	0.081	1.500	1.105	1.054	1.324	1.45	1.05	1.26	1.37
0.16	0.086	1.533	1.112	1.058	1.346	1.48	1.06	1.28	1.40
0.17	0.092	1.567	1.119	1.062	1.367	1.51	1.06	1.29	1.42
0.18	0.097	1.600	1.126	1.065	1.389	1.54	1.07	1.31	1.45
0.19	0.103	1.633	1.133	1.069	1.410	1.57	1.07	1.33	1.47
0.20	0.108	1.667	1.140	1.073	1.432	1.60	1.07	1.35	1.50
0.21	0.113	1.700	1.147	1.076	1.454	1.63	1.08	...	1.52
0.22	0.119	1.733	1.154	1.080	1.475	1.66	1.08	...	1.55
0.23	0.124	1.767	1.161	1.083	1.497	1.69	1.08	...	1.57
0.24	0.130	1.800	1.168	1.087	1.518	1.72	1.09	...	1.60
0.25	0.135	1.833	1.175	1.091	1.540	1.75	1.09	...	1.62
0.26	0.140	1.867	1.182	1.094	1.562	1.78	1.09	...	...
0.27	0.146	1.900	1.189	1.098	1.583	1.81	1.10	...	...
0.28	0.151	1.933	1.196	1.102	1.605	1.84	1.10	...	...
0.29	0.157	1.967	1.203	1.105	1.626	1.87	1.11	...	...
0.30	0.162	2.000	1.210	1.109	1.648	1.90	1.11	...	...
0.31	0.167	2.033	1.217	1.113	1.670	1.93	1.11	...	...
0.32	0.173	2.067	1.224	1.117	1.691	1.96	1.12	...	...
0.33	0.178	2.100	1.231	1.120	1.713	1.99	1.12	...	...
0.34	0.184	2.133	1.238	1.123	1.734	2.02	1.12	...	...
0.35	0.189	2.167	1.245	1.127	1.756	2.05	1.13	...	...
0.36	0.194	2.200	1.252	1.131	1.778	2.08	1.13	...	...
0.37	0.200	2.233	1.259	1.134	1.799	2.11	1.14	...	...
0.38	0.205	2.267	1.266	1.138	1.821	2.14	1.14	...	...
0.39	0.211	2.300	1.273	1.142	1.842	2.17	1.14	...	...
0.40	0.214	2.333	1.280	1.145	1.864	2.20	1.15	...	...
0.41	0.216	2.367	1.287	1.149	1.886	2.23	1.15	...	...
0.42	0.218	2.400	1.294	1.152	1.907	2.26	1.15	...	...
0.43	0.220	2.433	1.301	1.156	1.929	2.29	1.16	...	...
0.44	0.223	2.467	1.308	1.160	1.950	2.32	1.16	...	...
0.45	0.225	2.500	1.315	1.163	1.972	2.35	1.16	...	...
0.46	0.228	2.533	1.322	1.167	1.994	2.38	1.17	...	...
0.47	0.230	2.567	1.329	1.171	2.015	2.41	1.17	...	...
0.48	0.233	2.600	1.336	1.174	2.037	2.44	1.18	...	...
0.49	0.235	2.633	1.343	1.178	2.058	2.47	1.18	...	...
0.50	0.238	2.667	1.350	1.182	2.080	2.50	1.18	...	...
0.51	0.240	2.700	1.357	1.185	2.102	2.53	1.19	...	...
0.52	0.243	2.733	1.364	1.189	2.123	2.56	1.19	...	...
0.53	0.246	2.767	1.371	1.192	2.145	2.59	1.19	...	...
0.54	0.249	2.800	1.378	1.196	2.166	2.62	1.20	...	...
0.55	0.252	2.833	1.385	1.200	2.188	2.65	1.20	...	...
0.56	0.253	2.867	1.392	1.203	2.210	...	...	...	...
0.57	0.255	2.900	1.399	1.207	2.231	...	...	...	...
0.58	0.258	2.933	1.406	1.211	2.253	...	...	...	...
0.59	0.260	2.967	1.413	1.214	2.274	...	...	...	...
0.60	0.262	3.000	1.420	1.218	2.296	...	...	...	...
0.61	0.264	3.033	1.427	1.221	2.318	...	...	...	...


 A 255 – 07

TABLE 6 Continued

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
0.62	0.267	3.067	1.434	1.225	2.339	...	...	...	...
0.63	0.269	3.100	1.441	1.229	2.361	...	...	...	...
0.64	0.271	3.133	1.448	1.232	2.382	...	...	...	...
0.65	0.273	3.167	1.455	1.236	2.404	...	...	...	...
0.66	0.275	3.200	1.462	1.240	2.426	...	...	...	...
0.67	0.277	3.233	1.469	1.243	2.447	...	...	...	...
0.68	0.279	3.267	1.476	1.247	2.469	...	...	...	...
0.69	0.281	3.300	1.483	1.250	2.490	...	...	...	...
0.70	0.283	3.333	1.490	1.254	2.512	...	...	...	...
0.71	0.285	3.367	1.497	1.258	2.534	...	...	...	...
0.72	0.287	3.400	1.504	1.261	2.555	...	...	...	...
0.73	0.289	3.433	1.511	1.265	2.577	...	...	...	...
0.74	0.291	3.467	1.518	1.269	2.598	...	...	...	...
0.75	0.293	3.500	1.525	1.272	2.620	...	...	...	...
0.76	0.295	3.533	1.532	1.276	2.642	...	...	...	...
0.77	0.297	3.567	1.539	1.280	2.663	...	...	...	...
0.78	0.299	3.600	1.546	1.283	2.685	...	...	...	...
0.79	0.301	3.633	1.553	1.287	2.706	...	...	...	...
0.80	0.303	3.667	1.560	1.290	2.728	...	...	...	...
0.81	0.305	3.700	1.567	1.294	2.750	...	...	...	...
0.82	0.307	3.733	1.574	1.298	2.771	...	...	...	...
0.83	0.308	3.767	1.581	1.301	2.793	...	...	...	...
0.84	0.310	3.800	1.588	1.305	2.814	...	...	...	...
0.85	0.312	3.833	1.595	1.309	2.836	...	...	...	...
0.86	0.314	3.867	1.602	1.312	2.858	...	...	...	...
0.87	0.316	3.900	1.609	1.316	2.879	...	...	...	...
0.88	0.318	3.933	1.616	1.319	2.901	...	...	...	...
0.89	0.317	3.967	1.623	1.323	2.922	...	...	...	...
0.90	0.321	4.000	1.630	1.327	2.944	...	...	...	...
0.91	...	4.033	1.637	1.330	2.966	...	...	...	...
0.92	...	4.067	1.644	1.334	2.987	...	...	...	...
0.93	...	4.100	1.651	1.338	3.009	...	...	...	...
0.94	...	4.133	1.658	1.341	3.030	...	...	...	...
0.95	...	4.167	1.665	1.345	3.052	...	...	...	...
0.96	...	4.200	1.672	1.348	3.074	...	...	...	...
0.97	...	4.233	1.679	1.352	3.095	...	...	...	...
0.98	...	4.267	1.686	1.356	3.117	...	...	...	...
0.99	...	4.300	1.693	1.359	3.138	...	...	...	...
1.00	...	4.333	1.700	1.363	3.160	...	...	...	...
1.01	...	4.367	1.707	1.367	3.182	...	...	...	...
1.02	...	4.400	1.714	1.370	3.203	...	...	...	...
1.03	...	4.433	1.721	1.374	3.225	...	...	...	...
1.04	...	4.467	1.728	1.378	3.246	...	...	...	...
1.05	...	4.500	1.735	1.381	3.268	...	...	...	...
1.06	...	4.533	1.742	1.385	3.290	...	...	...	...
1.07	...	4.567	1.749	1.388	3.311	...	...	...	...
1.08	...	4.600	1.756	1.392	3.333	...	...	...	...
1.09	...	4.633	1.763	1.396	3.354	...	...	...	...
1.10	...	4.667	1.770	1.399	3.376	...	...	...	...
1.11	...	4.700	1.777	1.403	3.398	...	...	...	...
1.12	...	4.733	1.784	1.407	3.419	...	...	...	...
1.13	...	4.767	1.791	1.410	3.441	...	...	...	...
1.14	...	4.800	1.798	1.414	3.462	...	...	...	...
1.15	...	4.833	1.805	1.417	3.484	...	...	...	...
1.16	...	4.867	1.812	1.421	3.506	...	...	...	...
1.17	...	4.900	1.819	1.425	3.527	...	...	...	...
1.18	...	4.933	1.826	1.428	3.549	...	...	...	...
1.19	...	4.967	1.833	1.432	3.570	...	...	...	...
1.20	...	5.000	1.840	1.436	3.592	...	...	...	...
1.21	...	5.051	1.847	1.439	3.614	...	...	...	...
1.22	...	5.102	1.854	1.443	3.635	...	...	...	...


 A 255 - 07

TABLE 6 Continued

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
1.23	...	5.153	1.861	1.446	3.657	...	...	...	...
1.24	...	5.204	1.868	1.450	3.678	...	...	...	...
1.25	...	5.255	1.875	1.454	3.700	...	...	...	...
1.26	...	5.306	1.882	1.457	3.722	...	...	...	...
1.27	...	5.357	1.889	1.461	3.743	...	...	...	...
1.28	...	5.408	1.896	1.465	3.765	...	...	...	...
1.29	...	5.459	1.903	1.468	3.786	...	...	...	...
1.30	...	5.510	1.910	1.472	3.808	...	...	...	...
1.31	...	5.561	1.917	1.476	3.830	...	...	...	...
1.32	...	5.612	1.924	1.479	3.851	...	...	...	...
1.33	...	5.663	1.931	1.483	3.873	...	...	...	...
1.34	...	5.714	1.938	1.486	3.894	...	...	...	...
1.35	...	5.765	1.945	1.490	3.916	...	...	...	...
1.36	...	5.816	1.952	1.494	3.938	...	...	...	...
1.37	...	5.867	1.959	1.497	3.959	...	...	...	...
1.38	...	5.918	1.966	1.501	3.981	...	...	...	...
1.39	...	5.969	1.973	1.505	4.002	...	...	...	...
1.40	...	6.020	1.980	1.508	4.024	...	...	...	...
1.41	...	6.071	1.987	1.512	4.046	...	...	...	...
1.42	...	6.122	1.994	1.515	4.067	...	...	...	...
1.43	...	6.173	2.001	1.519	4.089	...	...	...	...
1.44	...	6.224	2.008	1.523	4.110	...	...	...	...
1.45	...	6.275	2.015	1.526	4.132	...	...	...	...
1.46	...	6.326	2.022	1.530	4.154	...	...	...	...
1.47	...	6.377	2.029	1.534	4.175	...	...	...	...
1.48	...	6.428	2.036	1.537	4.197	...	...	...	...
1.49	...	6.479	2.043	1.541	4.218	...	...	...	...
1.50	...	6.530	2.050	1.545	4.240	...	...	...	...
1.51	...	6.581	2.057	1.547	4.262	...	...	...	...
1.52	...	6.632	2.064	1.552	4.283	...	...	...	...
1.53	...	6.683	2.071	1.556	4.305	...	...	...	...
1.54	...	6.734	2.078	1.561	4.326	...	...	...	...
1.55	...	6.785	2.085	1.565	4.348	...	...	...	...
1.56	...	6.836	2.092	1.570	4.370	...	...	...	...
1.57	...	6.887	2.099	1.574	4.391	...	...	...	...
1.58	...	6.938	2.106	1.579	4.413	...	...	...	...
1.59	...	6.989	2.113	1.583	4.434	...	...	...	...
1.60	...	7.040	2.120	1.588	4.456	...	...	...	...
1.61	...	7.091	2.127	1.593	4.478	...	...	...	...
1.62	...	7.142	2.134	1.597	4.499	...	...	...	...
1.63	...	7.193	2.141	1.602	4.521	...	...	...	...
1.64	...	7.244	2.148	1.606	4.542	...	...	...	...
1.65	...	7.295	2.155	1.611	4.564	...	...	...	...
1.66	...	7.346	2.162	1.615	4.586	...	...	...	...
1.67	...	7.397	2.169	1.620	4.607	...	...	...	...
1.68	...	7.448	2.176	1.624	4.629	...	...	...	...
1.69	...	7.499	2.183	1.629	4.650	...	...	...	...
1.70	...	7.550	2.190	1.633	4.672	...	...	...	...
1.71	...	7.601	2.197	1.638	4.694	...	...	...	...
1.72	...	7.652	2.204	1.643	4.715	...	...	...	...
1.73	...	7.703	2.211	1.647	4.737	...	...	...	...
1.74	...	7.754	2.218	1.652	4.759	...	...	...	...
1.75	...	7.805	2.225	1.656	4.780	...	...	...	...
1.76	...	7.856	2.232	1.661	4.802	...	...	...	...
1.77	...	7.907	2.239	1.666	4.823	...	...	...	...
1.78	...	7.958	2.246	1.670	4.845	...	...	...	...
1.79	...	8.009	2.253	1.675	4.866	...	...	...	...
1.80	...	8.060	2.260	1.679	4.888	...	...	...	...
1.81	...	8.111	2.267	1.684	4.910	...	...	...	...
1.82	...	8.162	2.274	1.689	4.931	...	...	...	...
1.83	...	8.213	2.281	1.693	4.953	...	...	...	...
1.84	...	8.264	2.288	1.698	4.974	...	...	...	...


 A 255 – 07

TABLE 6 Continued

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
1.85	...	8.315	2.295	1.703	4.996	...	...	...	...
1.86	...	8.366	2.302	1.708	5.018	...	...	...	...
1.87	...	8.417	2.309	1.712	5.039	...	...	...	...
1.88	...	8.468	2.316	1.717	5.061	...	...	...	...
1.89	...	8.519	2.323	1.722	5.082	...	...	...	...
1.90	...	8.570	2.330	1.727	5.104	...	...	...	...
1.91	...	8.621	2.337	1.732	5.126	...	...	...	...
1.92	...	8.672	2.344	1.736	5.147	...	...	...	...
1.93	...	8.723	2.351	1.741	5.169	...	...	...	...
1.94	...	8.774	2.358	1.746	5.190	...	...	...	...
1.95	...	8.825	2.365	1.751	5.212	...	...	...	...
1.96	2.372	1.756	5.234	...	...	...	...
1.97	2.379	1.761	5.255	...	...	...	...
1.98	2.386	1.766	5.277	...	...	...	...
1.99	2.393	1.771	5.298	...	...	...	...
2.00	2.400	1.776	5.320	...	...	...	...
2.01	1.781	5.342	...	...	...	...
2.02	1.786	5.363	...	...	...	...
2.03	1.791	5.385	...	...	...	...
2.04	1.797	5.406	...	...	...	...
2.05	1.802	5.428	...	...	...	...
2.06	1.807	5.450	...	...	...	...
2.07	1.812	5.471	...	...	...	...
2.08	1.818	5.493	...	...	...	...
2.09	1.823	5.514	...	...	...	...
2.10	1.828	5.536	...	...	...	...
2.11	1.834	5.558	...	...	...	...
2.12	1.839	5.579	...	...	...	...
2.13	1.845	5.601	...	...	...	...
2.14	1.850	5.622	...	...	...	...
2.15	1.856	5.644	...	...	...	...
2.16	1.861	5.666	...	...	...	...
2.17	1.867	5.687	...	...	...	...
2.18	1.872	5.709	...	...	...	...
2.19	1.878	5.730	...	...	...	...
2.20	1.884	5.752	...	...	...	...
2.21	1.890	5.774	...	...	...	...
2.22	1.896	5.795	...	...	...	...
2.23	1.901	5.817	...	...	...	...
2.24	1.907	5.838	...	...	...	...
2.25	1.913	5.860	...	...	...	...
2.26	1.919	5.882	...	...	...	...
2.27	1.925	5.903	...	...	...	...
2.28	1.932	5.925	...	...	...	...
2.29	1.938	5.946	...	...	...	...
2.30	1.944	5.968	...	...	...	...
2.31	1.950	5.990	...	...	...	...
2.32	1.956	6.011	...	...	...	...
2.33	1.963	6.033	...	...	...	...
2.34	1.969	6.054	...	...	...	...
2.35	1.976	6.076	...	...	...	...
2.36	1.982	6.098	...	...	...	...
2.37	1.989	6.119	...	...	...	...
2.38	1.995	6.141	...	...	...	...
2.39	2.002	6.162	...	...	...	...
2.40	2.009	6.184	...	...	...	...
2.41	2.016	6.206	...	...	...	...
2.42	2.023	6.227	...	...	...	...
2.43	2.030	6.249	...	...	...	...
2.44	2.037	6.270	...	...	...	...


 A 255 – 07

TABLE 6 *Continued*

% Alloy	Carbon- Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
2.45	2.044	6.292	...	...	...	...
2.46	2.051	6.314	...	...	...	...
2.47	2.058	6.335	...	...	...	...
2.48	2.065	6.357	...	...	...	...
2.49	2.072	6.378	...	...	...	...
2.50	2.080	6.400	...	...	...	...
2.51	2.087	...	...	...	...	...
2.52	2.095	...	...	...	...	...
2.53	2.102	...	...	...	...	...
2.54	2.110	...	...	...	...	...
2.55	2.118	...	...	...	...	...
2.56	2.125	...	...	...	...	...
2.57	2.133	...	...	...	...	...
2.58	2.141	...	...	...	...	...
2.59	2.149	...	...	...	...	...
2.60	2.157	...	...	...	...	...
2.61	2.165	...	...	...	...	...
2.62	2.174	...	...	...	...	...
2.63	2.182	...	...	...	...	...
2.64	2.190	...	...	...	...	...
2.65	2.199	...	...	...	...	...
2.66	2.207	...	...	...	...	...
2.67	2.216	...	...	...	...	...
2.68	2.224	...	...	...	...	...
2.69	2.233	...	...	...	...	...
2.70	2.242	...	...	...	...	...
2.71	2.251	...	...	...	...	...
2.72	2.260	...	...	...	...	...
2.73	2.269	...	...	...	...	...
2.74	2.278	...	...	...	...	...
2.75	2.287	...	...	...	...	...
2.76	2.297	...	...	...	...	...
2.77	2.306	...	...	...	...	...
2.78	2.315	...	...	...	...	...
2.79	2.325	...	...	...	...	...
2.80	2.335	...	...	...	...	...
2.81	2.344	...	...	...	...	...
2.82	2.354	...	...	...	...	...
2.83	2.364	...	...	...	...	...
2.84	2.374	...	...	...	...	...
2.85	2.384	...	...	...	...	...
2.86	2.395	...	...	...	...	...
2.87	2.405	...	...	...	...	...
2.88	2.415	...	...	...	...	...
2.89	2.426	...	...	...	...	...
2.90	2.436	...	...	...	...	...
2.91	2.447	...	...	...	...	...
2.92	2.458	...	...	...	...	...
2.93	2.469	...	...	...	...	...
2.94	2.480	...	...	...	...	...
2.95	2.491	...	...	...	...	...
2.96	2.502	...	...	...	...	...
2.97	2.513	...	...	...	...	...
2.98	2.524	...	...	...	...	...
2.99	2.536	...	...	...	...	...
3.00	2.547	...	...	...	...	...
3.01	2.559	...	...	...	...	...
3.02	2.571	...	...	...	...	...
3.03	2.583	...	...	...	...	...
3.04	2.595	...	...	...	...	...


 A 255 – 07

TABLE 6 *Continued*

% Alloy	Carbon- Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Zr
3.05	2.607	...	...	...	...	...
3.06	2.619	...	...	...	...	...
3.07	2.631	...	...	...	...	...
3.08	2.644	...	...	...	...	...
3.09	2.656	...	...	...	...	...
3.10	2.669	...	...	...	...	...
3.11	2.682	...	...	...	...	...
3.12	2.694	...	...	...	...	...
3.13	2.707	...	...	...	...	...
3.14	2.721	...	...	...	...	...
3.15	2.734	...	...	...	...	...
3.16	2.747	...	...	...	...	...
3.17	2.760	...	...	...	...	...
3.18	2.774	...	...	...	...	...
3.19	2.788	...	...	...	...	...
3.20	2.801	...	...	...	...	...
3.21	2.815	...	...	...	...	...
3.22	2.829	...	...	...	...	...
3.23	2.843	...	...	...	...	...
3.24	2.858	...	...	...	...	...
3.25	2.872	...	...	...	...	...
3.26	2.887	...	...	...	...	...
3.27	2.901	...	...	...	...	...
3.28	2.916	...	...	...	...	...
3.29	2.931	...	...	...	...	...
3.30	2.946	...	...	...	...	...
3.31	2.961	...	...	...	...	...
3.32	2.976	...	...	...	...	...
3.33	2.991	...	...	...	...	...
3.34	3.007	...	...	...	...	...
3.35	3.023	...	...	...	...	...
3.36	3.038	...	...	...	...	...
3.37	3.054	...	...	...	...	...
3.38	3.070	...	...	...	...	...
3.39	3.086	...	...	...	...	...
3.40	3.103	...	...	...	...	...
3.41	3.119	...	...	...	...	...
3.42	3.136	...	...	...	...	...
3.43	3.152	...	...	...	...	...
3.44	3.169	...	...	...	...	...
3.45	3.186	...	...	...	...	...
3.46	3.203	...	...	...	...	...
3.47	3.220	...	...	...	...	...
3.48	3.238	...	...	...	...	...
3.49	3.255	...	...	...	...	...
3.50	3.273	...	...	...	...	...


 A 255 – 07

TABLE 7 Carbon Content, Initial Hardness, 50 % Martensite Hardness

% Carbon Content	Hardness – HRC		% Carbon Content	Hardness – HRC		% Carbon Content	Hardness – HRC	
	Initial 100 % Martensite	50 % Martensite		Initial 100 % Martensite	50 % Martensite		Initial 100 % Martensite	50 % Martensite
0.10	38	26	0.30	50	37	0.50	61	47
0.11	39	27	0.31	51	38	0.51	61	47
0.12	40	27	0.32	51	38	0.52	62	48
0.13	40	28	0.33	52	39	0.53	62	48
0.14	41	28	0.34	53	40	0.54	63	48
0.15	41	29	0.35	53	40	0.55	63	49
0.16	42	30	0.36	54	41	0.56	63	49
0.17	42	30	0.37	55	41	0.57	64	50
0.18	43	31	0.38	55	42	0.58	64	50
0.19	44	31	0.39	56	42	0.59	64	51
0.20	44	32	0.40	56	43	0.60	64	51
0.21	45	32	0.41	57	43	0.61	64	51
0.22	45	33	0.42	57	43	0.62	65	51
0.23	46	34	0.43	58	44	0.63	65	52
0.24	46	34	0.44	58	44	0.64	65	52
0.25	47	35	0.45	59	45	0.65	65	52
0.26	48	35	0.46	59	45	0.66	65	52
0.27	49	36	0.47	59	45	0.67	65	53
0.28	49	36	0.48	59	46	0.68	65	53
0.29	50	37	0.49	60	46	0.69	65	53

TABLE 8 Jominy Distance for 50 % Martensite versus DI (in.)

"J" 1/16 in.	DI, in.	"J" 1/8 in.	DI, in.	"J" 1/4 in.	DI, in.
0.5	0.25	11.5	3.75	22.5	5.46
1.0	0.50	12.0	3.85	23.0	5.52
1.5	0.74	12.5	3.95	23.5	5.58
2.0	0.96	13.0	4.04	24.0	5.64
2.5	1.18	13.5	4.13	24.5	5.69
3.0	1.38	14.0	4.22	25.0	5.75
3.5	1.58	14.5	4.31	25.5	5.80
4.0	1.76	15.0	4.39	26.0	5.85
4.5	1.94	15.5	4.47	26.5	5.90
5.0	2.10	16.0	4.56	27.0	5.95
5.5	2.26	16.5	4.63	27.5	6.00
6.0	2.42	17.0	4.71	28.0	6.05
6.5	2.56	17.5	4.79	28.5	6.10
7.0	2.70	18.0	4.86	29.0	6.14
7.5	2.84	18.5	4.93	29.5	6.19
8.0	2.97	19.0	5.00	30.0	6.23
8.5	3.09	19.5	5.07	30.5	6.28
9.0	3.21	20.0	5.14	31.0	6.32
9.5	3.33	20.5	5.21	31.5	6.37
10.0	3.44	21.0	5.27	32.0	6.41
10.5	3.55	21.5	5.34		
11.0	3.65	22.0	5.40		

TABLE 9 Jominy Distance for 50 % Martensite versus DI (mm)

"J" mm	DI, mm	"J" mm	DI, mm	"J" mm	DI, mm
1.0	7.9	18.0	94.5	35.0	137.3
2.0	15.8	19.0	97.1	36.0	139.3
3.0	23.2	20.0	100.8	37.0	141.2
4.0	30.2	21.0	103.7	38.0	143.0
5.0	36.6	22.0	106.6	39.0	144.8
6.0	42.7	23.0	109.3	40.0	146.6
7.0	48.4	24.0	112.0	41.0	148.3
8.0	53.8	25.0	114.7	42.0	149.9
9.0	58.9	26.0	117.2	43.0	151.5
10.0	63.7	27.0	119.7	44.0	153.1
11.0	68.2	28.0	122.1	45.0	154.6
12.0	72.5	29.0	124.5	46.0	156.1
13.0	76.6	30.0	126.7	47.0	157.6
14.0	80.5	31.0	129.0	48.0	159.0
15.0	84.3	32.0	131.2	49.0	160.5
16.0	87.8	33.0	133.3	50.0	161.9
17.0	91.2	34.0	135.3		


 A 255 – 07

TABLE 10 Boron Factors versus % Carbon and Alloy Factor^A

% Carbon	5	7	9	11	13	15	18	22	26
0.10	6.18	5.38	5.09	4.61	4.28	4.14	3.72	3.68	3.55
0.11	5.76	5.07	4.77	4.34	4.05	3.88	3.54	3.48	3.35
0.12	5.38	4.78	4.48	4.10	3.84	3.65	3.37	3.30	3.18
0.13	5.04	4.52	4.22	3.88	3.65	3.44	3.21	3.14	3.03
0.14	4.72	4.28	3.98	3.68	3.47	3.25	3.07	2.99	2.89
0.15	4.44	4.06	3.76	3.50	3.31	3.09	2.94	2.86	2.76
0.16	4.19	3.86	3.57	3.34	3.16	2.94	2.82	2.74	2.64
0.17	3.96	3.68	3.40	3.19	3.03	2.81	2.71	2.63	2.54
0.18	3.75	3.51	3.24	3.05	2.91	2.70	2.61	2.53	2.44
0.19	3.57	3.36	3.10	2.93	2.80	2.59	2.52	2.44	2.36
0.20	3.40	3.22	2.97	2.82	2.70	2.50	2.43	2.35	2.28
0.21	3.26	3.10	2.86	2.72	2.60	2.42	2.35	2.28	2.20
0.22	3.12	2.98	2.76	2.63	2.52	2.34	2.28	2.20	2.13
0.23	3.01	2.88	2.67	2.55	2.44	2.27	2.21	2.14	2.07
0.24	2.90	2.78	2.59	2.47	2.37	2.21	2.15	2.07	2.01
0.25	2.81	2.70	2.51	2.40	2.30	2.15	2.09	2.02	1.95
0.26	2.73	2.62	2.45	2.34	2.24	2.10	2.03	1.96	1.89
0.27	2.66	2.55	2.39	2.28	2.18	2.05	1.98	1.91	1.84
0.28	2.59	2.49	2.33	2.23	2.13	2.00	1.93	1.86	1.79
0.29	2.54	2.43	2.28	2.18	2.08	1.96	1.88	1.81	1.74
0.30	2.48	2.38	2.24	2.14	2.04	1.92	1.83	1.76	1.70
0.31	2.44	2.33	2.20	2.10	1.99	1.88	1.79	1.72	1.65
0.32	2.40	2.28	2.16	2.06	1.95	1.84	1.74	1.68	1.61
0.33	2.36	2.24	2.12	2.02	1.91	1.80	1.70	1.64	1.57
0.34	2.32	2.20	2.09	1.98	1.87	1.76	1.66	1.60	1.53
0.35	2.29	2.16	2.05	1.95	1.84	1.72	1.63	1.56	1.49
0.36	2.26	2.13	2.02	1.92	1.80	1.69	1.59	1.52	1.45
0.37	2.23	2.10	1.99	1.88	1.77	1.65	1.55	1.49	1.42
0.38	2.20	2.07	1.96	1.85	1.74	1.62	1.52	1.45	1.38
0.39	2.17	2.04	1.93	1.82	1.70	1.58	1.49	1.42	1.35
0.40	2.15	2.01	1.90	1.79	1.67	1.55	1.46	1.39	1.32
0.41	2.12	1.98	1.87	1.76	1.64	1.52	1.43	1.36	1.29
0.42	2.09	1.95	1.84	1.73	1.62	1.49	1.40	1.33	1.26
0.43	2.06	1.93	1.81	1.71	1.59	1.46	1.37	1.31	1.24
0.44	2.04	1.90	1.78	1.68	1.56	1.43	1.35	1.28	1.21
0.45	2.01	1.88	1.75	1.65	1.53	1.41	1.32	1.26	1.19
0.46	1.98	1.85	1.73	1.62	1.51	1.38	1.30	1.23	1.17
0.47	1.95	1.82	1.70	1.59	1.48	1.36	1.28	1.21	1.15
0.48	1.92	1.80	1.67	1.57	1.46	1.33	1.26	1.19	1.13
0.49	1.89	1.77	1.64	1.54	1.43	1.31	1.24	1.17	1.11
0.50	1.86	1.75	1.61	1.51	1.41	1.29	1.22	1.14	1.09
0.51	1.83	1.72	1.59	1.49	1.39	1.28	1.20	1.12	1.07
0.52	1.80	1.70	1.56	1.46	1.37	1.26	1.18	1.10	1.04
0.53	1.77	1.67	1.53	1.44	1.34	1.24	1.16	1.07	1.02
0.54	1.74	1.65	1.51	1.42	1.32	1.23	1.14	1.05	1.00
0.55	1.71	1.62	1.48	1.39	1.30	1.21	1.12	1.02	1.00
0.56	1.68	1.60	1.46	1.37	1.28	1.20	1.10	1.00	1.00
0.57	1.65	1.57	1.44	1.35	1.26	1.18	1.08	1.00	1.00
0.58	1.62	1.55	1.42	1.33	1.24	1.16	1.05	1.00	1.00
0.59	1.59	1.52	1.39	1.31	1.22	1.14	1.02	1.00	1.00
0.60	1.56	1.50	1.37	1.29	1.20	1.12	1.00	1.00	1.00
0.61	1.54	1.48	1.36	1.27	1.18	1.09	1.00	1.00	1.00
0.62	1.51	1.45	1.34	1.25	1.16	1.06	1.00	1.00	1.00
0.63	1.49	1.43	1.32	1.23	1.13	1.02	1.00	1.00	1.00
0.64	1.46	1.41	1.30	1.21	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00
0.65	1.44	1.39	1.29	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00
0.66	1.42	1.37	1.27	1.18	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00
0.67	1.40	1.35	1.26	1.16	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00
0.68	1.38	1.32	1.24	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.69	1.36	1.30	1.22	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.70	1.35	1.28	1.20	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.71	1.33	1.26	1.19	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00


 A 255 – 07

TABLE 10 Continued

% Carbon	5	7	9	11	13	15	18	22	26
0.72	1.32	1.24	1.17	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.73	1.30	1.22	1.14	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.74	1.29	1.20	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.75	1.27	1.18	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.76	1.26	1.15	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.77	1.24	1.13	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.78	1.22	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.79	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.80	1.18	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.81	1.16	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.82	1.13	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.83	1.09	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.84	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

^A Alloy factor is the product of all the multiplying factors (Table 5) excluding that for carbon.

TABLE 11 Equations for Table 6 Multiplying Factors

Carbon/Grain Size 7	
Up to 0.39 %, incl	MF = 0.54 (%C)
Over 0.39 to 0.55 %, incl	= 0.171 + 0.001 (%C) + 0.265 (%C) ²
Over 0.55 to 0.65 %, incl	= 0.115 + 0.268 (%C) - 0.038 (%C) ²
Over 0.65 to 0.75 %, incl	= 0.143 + 0.2 (%C)
Over 0.75 to 0.90 %, incl	= 0.062 + 0.409 (%C) - 0.135 (%C) ²
Manganese	
Up to 1.20 %, incl	= 3.3333 (%Mn) + 1.00
Over 1.20 to 1.95 %, incl	= 5.10 (%Mn) - 1.12
Silicon to 2.00 %, incl	= 1.00 + 0.7 (%Si)
Nickel	
Up to 1.50 %, incl	= 1.00 + 0.363 (%Ni)
Over 1.50 % to 3.5 %, incl	= 0.3211 + 1.4501 (%Ni) - 0.6119 (%Ni) ² + 0.1253 (%Ni) ³
Chromium to 1.75 %, incl	= 1.00 + 2.16 (%Cr)
Molybdenum to 0.55 %, incl	= 1.00 + 3.00 (%Mo)
Copper to 0.55 %, incl	= 1.00 + 0.365 (%Cu)
Vanadium to 0.20 %, incl	= 1.00 + 1.73 (%V)
Zirconium to 0.25 %, incl	= 1.00 + 2.5 (%Zr)

 A 255 – 07

TABLE 12 Equations for Table 7 Carbon Content, Initial Hardness, 50 % Martensite Hardness

Initial Hardness,	$H = 33.087 + 50.723x + 33.662x^2 - 2.7048x^3 - 107.02x^4 + 43.523x^5$
50 % Martensite Hardness,	$H = 21.93 + 27.153x + 226.89x^2 - 717.17x^3 + 958.62x^4 - 491.25x^5$
where: H = Hardness in HRC x = % Carbon	

TABLE 13 Equations for Tables 8 and 9 Jominy Distance for 50 % Martensite versus DI

DI (in.) = $0.0156 + 0.54358x - 0.0292133x^2 + 0.001186x^3 - 2.696E-05x^4 + 2.49E-07x^5$
DI (mm) = $0.5203 + 8.7522x - 0.3003x^2 + 0.00778x^3 - 0.0001125x^4 + 6.5978E-07x^5$
where: x = J Position in 1/16 in. or mm

TABLE 14 Equations for Table 10 Boron Factor versus % Carbon and Alloy Factor

Alloy Factor	Boron Factor
5 to 0.85 % C, incl Over 0.85 % C	B.F. = $13.121 - 101.16 X + 383.76 X^2 - 729.90 X^3 + 675.13 X^4 - 242.44 X^5$ B.F. = 1.00
7 to 0.81 % C, incl Over 0.81 % C	B.F. = $10.318 - 70.135 X + 248.92 X^2 - 454.75 X^3 + 411.02 X^4 - 146.47 X^5$ B.F. = 1.00
9 to 0.77 % C, incl Over 0.77 % C	B.F. = $10.542 - 80.631 X + 320.36 X^2 - 653.01 X^3 + 655.52 X^4 - 257.51 X^5$ B.F. = 1.00
11 to 0.73 % C, incl Over 0.73 % C	B.F. = $9.034 - 64.879 X + 252.92 X^2 - 515.53 X^3 + 522.33 X^4 - 208.46 X^5$ B.F. = 1.00
13 to 0.67 % C, incl Over 0.67 % C	B.F. = $8.0941 - 55.906 X + 219.38 X^2 - 466.23 X^3 + 504.97 X^4 - 219.45 X^5$ B.F. = 1.00
15 to 0.63 % C, incl Over 0.63 % C	B.F. = $9.0484 - 77.438 X + 362.81 X^2 - 895.73 X^3 + 1101.9 X^4 - 532.49 X^5$ B.F. = 1.00
18 to 0.59 % C, incl Over 0.59 % C	B.F. = $6.9212 - 48.238 X + 207.29 X^2 - 507.17 X^3 + 644.04 X^4 - 328.39 X^5$ B.F. = 1.00
22 to 0.55 % C, incl Over 0.55 % C	B.F. = $7.240 - 55.334 X + 254.54 X^2 - 655.33 X^3 + 867.43 X^4 - 459.59 X^5$ B.F. = 1.00
26 to 0.53 % C, incl Over 0.53 % C	B.F. = $7.116 - 56.58 X + 273.62 X^2 - 740.01 X^3 + 1021.50 X^4 - 559.45 X^5$ B.F. = 1.00
where: X = % carbon	


 A 255 – 07

TABLE 15 Equations for Table 2 Distance Hardness Dividing Factors for Non-Boron Steels, in.

"J" Distance ($\frac{1}{16}$ in.)	DI ^A	Dividing Factor
2	To 2.1, incl Over 2.1	DF = 4.68961 – 11.00832 X + 13.83314 X ² – 8.80283 X ³ + 2.78698 X ⁴ – 0.34880 X ⁵ DF = 1.00
3	To 3.1, incl Over 3.1	DF = 2.34904 – 0.28254 X – 1.42995 X ² + 1.16697 X ³ – 0.33813 X ⁴ + 0.03403 X ⁵ DF = 1.00
4	To 4.1, incl Over 4.1	DF = 5.66795 – 6.14648 X + 3.52874 X ² – 1.06026 X ³ + 0.16301 X ⁴ – 0.01015 X ⁵ DF = 1.00
5	To 4.4, incl Over 4.4	DF = 4.52902 – 2.90739 X + 0.986508 X ² – 0.163586 X ³ + 0.012095 X ⁴ – 0.000257202 X ⁵ DF = 1.00
6	To 5.0, incl Over 5.0	DF = 4.39436 – 2.16072 X + 0.56027 X ² – 0.08145 X ³ + 0.00840 X ⁴ – 0.000530827 X ⁵ DF = 1.00
7	To 5.3, incl Over 5.3	DF = 4.15002 – 1.43154 X + 0.00235893 X ² + 0.112947 X ³ – 0.0237546 X ⁴ + 0.00150903 X ⁵ DF = 1.00
8	To 5.6, incl Over 5.6	DF = 4.44473 – 1.79085 X + 0.24617 X ² + 0.03378 X ³ – 0.01189 X ⁴ + 0.000841843 X ⁵ DF = 1.00
9	To 5.8, incl Over 5.8	DF = 4.95421 – 2.43521 X + 0.62983 X ² – 0.07914 X ³ + 0.00339154 X ⁴ – 0.0000120363 X ⁵ DF = 1.00
10	To 6.1, incl Over 6.1	DF = 5.31610 – 2.80977 X + 0.84183 X ² – 0.141781 X ³ + 0.0130138 X ⁴ – 0.000512388 X ⁵ DF = 1.00
12	To 6.6, incl Over 6.6	DF = 5.63649 – 2.89264 X + 0.90309 X ² – 0.17297 X ³ + 0.01881 X ⁴ – 0.00086593 X ⁵ DF = 1.00
14		DF = 5.83176 – 2.99646 X + 0.94088 X ² – 0.17734 X ³ + 0.183885 X ⁴ – 0.000790018 X ⁵
16		DF = 6.06952 – 3.15198 X + 0.99297 X ² – 0.18010 X ³ + 0.01720 X ⁴ – 0.000664079 X ⁵
18		DF = 7.32018 – 4.60605 X + 1.68442 X ² – 0.338443 X ³ + 0.0345114 X ⁴ – 0.00138927 X ⁵
20		DF = 7.81382 – 5.10022 X + 1.921410 X ² – 0.394591 X ³ + 0.040784 X ⁴ – 0.00165327 X ⁵
24		DF = 9.18138 – 6.69048 X + 2.75891 X ² – 0.611613 X ³ + 0.0677165 X ⁴ – 0.002930700 X ⁵
28		DF = 9.27904 – 6.21461 X + 2.33158 X ² – 0.46972 X ³ + 0.0472654 X ⁴ – 0.00186035 X ⁵
32		DF = 8.62857 – 5.16125 X + 1.81214 X ² – 0.35489 X ³ + 0.035687 X ⁴ – 0.001434 X ⁵

where:
X = DI in inches.

^A Max DI = 7.0 in.

 A 255 – 07

TABLE 16 Equations for Table 3 Distance Hardness Dividing Factors for Non-Boron Steels, mm

"J" Distance (mm)	DI ⁴	Dividing Factor
3.0	To 52.5, incl Over 52.5	DF = 0.170547 + 0.173925 X - 0.0109281 X ² + 3.13863E-04 X ³ - 4.32086E-06 X ⁴ + 2.31674E-08 X ⁵ DF = 1.00
5.0	To 105.0, incl Over 105.0	DF = 3.03987 - 0.0855161 X + 0.00138048 X ² - 9.98717E-06 X ³ + 2.64963E-08 X ⁴ + 5.46044E-12 X ⁵ DF = 1.00
7.0	To 122.5, incl Over 122.5	DF = 4.32366 - 0.1334451 X + 0.00228151 X ² - 1.96250E-05 X ³ + 8.35338E-08 X ⁴ - 1.38456E-10 X ⁵ DF = 1.00
9.0	To 135.0, incl Over 135.0	DF = 4.46324 - 0.0992003 X + 0.00119387 X ² - 7.40686E-06 X ³ + 2.26087E-08 X ⁴ - 2.46815E-11 X ⁵ DF = 1.00
11.0	To 140.0, incl Over 140.0	DF = 4.40915 - 0.0792024 X + 6.74319E-04 X ² - 1.97223E-06 X ³ - 3.21758E-09 X ⁴ + 2.08025E-11 X ⁵ DF = 1.00
13.0	To 147.5, incl Over 147.5	DF = 4.60261 - 0.0820023 X + 7.18416E-04 X ² - 2.52800E-06 X ³ + 2.30089E-10 X ⁴ + 1.25368E-11 X ⁵ DF = 1.00
15.0	To 155.0, incl Over 155.0	DF = 5.01595 - 0.0957696 X + 9.56240E-04 X ² - 4.62213E-06 X ³ + 8.92787E-09 X ⁴ - 8.74859E-13 X ⁵ DF = 1.00
20.0	To 172.5, incl Over 172.5	DF = 5.51133 - 0.104310 X + 1.15299E-03 X ² - 7.51801E-06 X ³ + 2.75126E-08 X ⁴ - 4.3110E-11 X ⁵ DF = 1.00
25.0		DF = 6.15369 - 0.127486 X + 1.57885E-03 X ² - 1.12233E-05 X ³ + 4.21359E-08 X ⁴ - 6.42460E-11 X ⁵
30.0		DF = 7.16001 - 0.171328 X + 2.42820E-03 X ² - 1.91259E-05 X ³ + 7.67320E-08 X ⁴ - 1.21571E-10 X ⁵
35.0		DF = 8.46964 - 0.229424 X + 3.54915E-03 X ² - 2.97166E-05 X ³ + 1.24831E-07 X ⁴ - 2.0543E-10 X ⁵
40.0		DF = 9.13657 - 0.252296 X + 3.94419E-03 X ² - 3.33383E-05 X ³ + 1.41462E-07 X ⁴ - 2.35541E-10 X ⁵
45.0		DF = 8.84696 - 0.223317 X + 3.25787E-03 X ² - 2.62930E-05 X ³ + 1.08190E-07 X ⁴ - 1.76244E-10 X ⁵
50.0		DF = 8.10202 - 0.171039 X + 2.12643E-03 X ² - 1.52754E-05 X ³ + 5.78179E-08 X ⁴ - 8.79890E-11 X ⁵

where:
X = DI in millimetres.

⁴ Max DI = 177.5 mm.


 A 255 – 07

TABLE 17 Equations for Table 4 Distance Hardness Dividing Factors for Boron Steels, in.

"J" Distance (1/16 in.)	D _{1/16} ⁴	Dividing Factor
2	To 2.5, incl Over 2.5	DF = 26.36590 – 63.93760 X + 64.5141 X ² – 32.4046 X ³ + 8.08566 X ⁴ – 0.801282 X ⁵ DF = 1.00
3	To 2.9, incl Over 2.9	DF = 11.11180 – 23.185 X + 21.5865 X ² – 10.0461 X ³ + 2.32282 X ⁴ – 0.212967 X ⁵ DF = 1.00
4	To 3.5, incl Over 3.5	DF = 28.50611 – 46.70430 X + 31.90431 X ² – 10.91263 X ³ + 1.86570 X ⁴ – 0.12747 X ⁵ DF = 1.00
5	To 4.4, incl Over 4.4	DF = 24.56368 – 33.70604 X + 19.34623 X ² – 5.52132 X ³ + 0.78088 X ⁴ – 0.04375 X ⁵ DF = 1.00
6	To 4.9, incl Over 4.9	DF = 5.32872 + 1.00334 X – 3.67571 X ² + 1.70752 X ³ – 0.31024 X ⁴ + 0.021755 X ⁵ DF = 1.00
7	To 5.2, incl Over 5.2	DF = 5.34598 + 0.98810 X – 3.15067 X ² + 1.33727 X ³ – 0.22285 X ⁴ + 0.0133182 X ⁵ DF = 1.00
8	To 5.6, incl Over 5.6	DF = 2.61397 + 4.69073 X – 4.71553 X ² + 1.58031 X ³ – 0.22844 X ⁴ + 0.01219 X ⁵ DF = 1.00
9	To 5.8, incl Over 5.8	DF = 3.80939 + 2.96448 X – 3.58847 X ² + 1.22906 X ³ – 0.17730 X ⁴ + 0.00938121 X ⁵ DF = 1.00
10	To 6.1, incl Over 6.1	DF = 11.75138 – 8.15904 X + 2.57305 X ² – 0.42384 X ³ + 0.03679 X ⁴ – 0.00135613 X ⁵ DF = 1.00
12	To 6.6, incl Over 6.6	DF = 10.94580 – 6.42904 X + 1.72900 X ² – 0.24187 X ³ + 0.01769 X ⁴ – 0.000547832 X ⁵ DF = 1.00
14	To 6.9, incl Over 6.9	DF = 14.86832 – 10.16374 X + 3.32700 X ² – 0.59480 X ³ + 0.0563926 X ⁴ – 0.0022150 X ⁵ DF = 1.00
16		DF = 14.10267 – 7.94906 X + 1.93841 X ² – 0.22357 X ³ + 0.0108383 X ⁴ – 0.00010342 X ⁵
18		DF = 11.29531 – 4.46248 X + 0.41286 X ² + 0.09097 X ³ – 0.020345 X ⁴ + 0.00109529 X ⁵
20		DF = 7.14752 + 0.35500 X – 1.61359 X ² + 0.49403 X ³ – 0.0587857 X ⁴ + 0.0250946 X ⁵
24		DF = 12.3738 – 4.50690 X + 0.29009 X ² + 0.12299 X ³ – 0.02325 X ⁴ + 0.00117 X ⁵
28		DF = 27.50991 – 20.45946 X + 6.97580 X ² – 1.25184 X ³ + 0.11543 X ⁴ – 0.00432751 X ⁵
32		DF = 43.35623 – 35.34260 X + 12.58238 X ² – 2.29821 X ³ + 0.21196 X ⁴ – 0.00785122 X ⁵

where:
X = D_{1/16} in inches.

⁴ Max D_{1/16} = 7.0 in.

 A 255 – 07

TABLE 18 Equations for Table 5 Distance Hardness Dividing Factors for Boron Steels, mm

^a J ¹ Distance (mm)	D ₁₀ ⁴	Dividing Factor
3.0	To 65.0, incl Over 65.0	DF = 7.4491 + 0.865852 X - 0.0344068 X ² + 6.71203E-04 X ³ - 6.46154E-06 X ⁴ + 2.46154E-08 X ⁵ DF = 1.00
5.0	To 77.5, incl Over 77.5	DF = 0.0786266 + 0.192924 X - 0.00833546 X ² + 1.55518E-04 X ³ - 1.35556E-06 X ⁴ + 4.54711E-09 X ⁵ DF = 1.00
7.0	To 97.5, incl Over 97.5	DF = 17.3759 - 0.917265 X + 0.0207515 X ² - 2.35993E-04 X ³ + 1.34895E-06 X ⁴ - 3.10646E-09 X ⁵ DF = 1.00
9.0	To 130.0, incl Over 130.0	DF = 12.4010 - 0.46868 X + 0.0076767 X ² - 6.19712E-05 X ³ + 2.45123E-07 X ⁴ - 3.78588E-10 X ⁵ DF = 1.00
11.0	To 145.0, incl Over 145.0	DF = 11.6875 - 0.367030 X + 0.00494941 X ² - 3.23202E-05 X ³ + 1.00462E-07 X ⁴ - 1.15393E-10 X ⁵ DF = 1.00
13.0	To 150.0, incl Over 150.0	DF = 10.4880 - 0.274123 X + 0.00292721 X ² - 1.131351E-05 X ³ + 1.64929E-08 X ⁴ + 2.31368E-11 X ⁵ DF = 1.00
15.0	To 157.5, incl Over 157.5	DF = 10.2270 - 0.238757 X + 0.00217091 X ² - 6.49911E-06 X ³ - 1.02394E-08 X ⁴ + 6.42594E-11 X ⁵ DF = 1.00
20.0	To 167.5, incl Over 167.5	DF = 12.0019 - 0.289503 X + 0.00321898 X ² - 1.87998E-05 X ³ + 5.73608E-08 X ⁴ - 7.29343E-11 X ⁵ DF = 1.00
25.0		DF = 12.7759 - 0.267261 X + 0.00240278 X ² - 1.00713E-05 X ³ + 1.72914E-08 X ⁴ - 4.94824E-12 X ⁵
30.0		DF = 11.4394 - 0.17577 X + 6.41712E-04 X ² + 5.14585E-06 X ³ - 4.47370E-08 X ⁴ + 9.20061E-11 X ⁵
35.0		DF = 10.0009 - 0.0998560 X - 6.21697E-04 X ² + 1.48920E-05 X ³ - 8.08701E-08 X ⁴ + 1.43570E-10 X ⁵
40.0		DF = 21.5687 - 0.570960 X + 0.00707779 X ² - 4.71456E-05 X ³ + 1.64959E-07 X ⁴ - 2.39499E-10 X ⁵
45.0		DF = 43.7678 - 1.47943 X + 0.0218008 X ² - 1.64441E-04 X ³ + 6.24269E-07 X ⁴ - 9.47543E-10 X ⁵
50.0		DF = 47.0305 - 1.56500 X + 0.0226057 X ² - 1.66970E-04 X ³ + 6.21257E-07 X ⁴ - 9.26214E-10 X ⁵

where:
X = D₁₀ in millimetres.

⁴ Max D₁₀ = 177.5 mm.

A 255 – 07

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. SPECIMENS FOR SPECIAL APPLICATIONS

XI.1 Scope

XI.1.1 The end-quench or Jominy hardenability test may be applied with some modification when the test specimens available are smaller in size than those shown in Figs. 2 and 3 or when shallow hardening steel is to be tested.

XI.2 Subsize Specimens

XI.2.1 *Dimensions of Specimens and Quenching Fixtures*—For determining the hardenability of steel received in bars less than 1.0 in. (25.4 mm) in diameter, the test specimen may be 0.75, 0.50, or 0.25 in. (19.0, 12.7, or 6.4 mm) in diameter by 3.0 or 4.0 in. (76.2 or 101.6 mm) in length. Fig. X1.1, in which a 0.25-in. (6.4-mm) specimen is shown in position, shows a suitable support for the smaller size specimens. These smaller specimens shall be tested in accordance with 5 of the method except that modifications are required in the water streams for quenching. The orifice size and distance of the specimen from the orifice for testing these smaller specimens shall conform to the following requirements specified in Table X1.1.

XI.2.2 *Correlation with Standard End-Quench Specimens*—Due to the greater air-cooling effect on test specimens less than 1.0 in. (25.4 mm) in diameter, and especially in specimens smaller than 0.75 in. (19.0 mm) in diameter, the cooling rates at various distances from the quenched end will not be the same as in the standard 1.0-in. round specimen. Hardenability curves obtained from tests on these smaller specimens therefore are not comparable with curves obtained from tests on the standard 1.0-in. round specimens. If the standard hardenability curve is needed, then the insert test specimen shown in Fig. X1.2 shall be used and tested as described in X1.4.

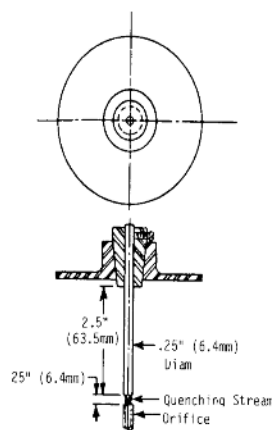


FIG. X1.1 Support for Smaller-Size Specimens, Showing 0.25-in. (6.4-mm) Specimen in Position

TABLE X1.1 Orifice Sizes for Testing Small-Size Specimens

Diameter of Test Specimen, in. (mm)	Orifice Size, in. (mm)	Distance from Orifice to Quenched End of Specimen, in. (mm)	Free Height of Water Column, in. (mm)
0.75 (19.0)	0.50 (12.7)	0.50 (12.7)	2.5 (63.5)
0.50 (12.7)	0.25 (6.4)	0.375 (9.5)	4.0 (102)
0.25 (6.4)	0.125 (3.2)	0.25 (6.4)	8.0 (203)

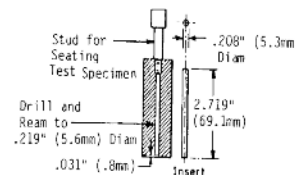


FIG. X1.2 Drilled Bar Specimen for Steel Available Only in Small Sizes

XI.3 Shallow-Hardening Steels

XI.3.1 The 1.0-in. (25.4-mm) diameter standard hardenability specimen may be used to determine the hardenability of shallow-hardening steels, other than the carbon tool steels, by a modification in the hardness survey. The procedure in preparing the specimen prior to hardness measurements is described in Sections 4, 5, and 6. An anvil providing a means of very accurately measuring the distance from the quenched end is essential.

XI.3.2 Hardness values are obtained from 1/16 to 3/16 in. (1.6 to 12.7 mm) from the quenched end in intervals of 1/32 in. (0.8 mm). Beyond 3/16 in., hardness values are obtained at 19/16, 12/16, 14/16, and 15/16 in. (15.9, 19.1, 22.2 and 25.4 mm) from the quenched end. For readings to 3/16 in. from the quenched end, two hardness traverses are made, both with readings 1/16 in. apart; one starting at 1/16 in. and being completed at 3/16 in. from the quenched end, and the other starting at 3/32 in. (2.4 mm) and being completed at 15/32 in. (11.9 mm) from the quenched end.

XI.3.3 Only two flats 180° apart need be ground if the mechanical fixture has a grooved bed that will accommodate the indentations of the flat surveyed first. The second hardness traverse is made after turning the bar over. If the fixture does not have such a grooved bed, two pairs of flats should be ground, the flats of each pair being 180° apart. The two hardness surveys are made on adjacent flats.

XI.3.4 For plotting test results, the standard form for plotting hardenability curves (Fig. 4) should be used. Distances for the odd number 1/2 in. (0.8 mm) should be measured with care.

 A 255 – 07

X1.4 Subsize Specimen as Insert in Standard End-Quench Test

X1.4.1 A specimen available only in a small size may be prepared as an insert in an axially drilled standard size test which serves as a sheath (Fig. X1.2). About 0.2 g of Woods metal⁴ shall be placed in the bottom of the test sheath (Fig.

X1.2). The small test specimen inserted in the sheath, and the sheath warmed to a temperature above the melting point of the Woods metal. After the Woods metal is molten, screw the stud in place so that the specimen is forced firmly against the bottom of the hole. Then heat the assembly and quench in accordance with 6.2 and 6.3. The sheath shall preferably be made from a plain low-carbon steel. After the quench, warm the assembly in boiling water to melt the Woods metal and remove the specimen. Then make Rockwell hardness measurements on the C scale on the specimen as prescribed in 6.3.

⁴ The composition of Woods metal is 50 % bismuth, 25 % lead, and 25 % tin, and the melting point is 200°F (93°C).

REFERENCES

- (1) Grossman, M. A., *Hardenability Calculated from Chemical Composition*, AIME Transactions, Vol 150, 1942, pp. 227–259.
- (2) Banerji, S. K., and Morral, J. E., *Boron in Steel*, AIME, Warrentown, Pa, 1980, pp. 106–126.
- (3) Siebert, C. A., Doane, D. V., and Breen, D. H., *The Hardenability of Steels*, ASM, Metals Park, OH, 1977, p. 64 ff.
- (4) Just, E., *New Formulas for Calculating Hardenability Curves*, Metals Progress, November 1969, pp. 87–88.
- (5) Doane, D. V., and Kirkaldy, J. S., eds., *Hardenability Concepts with Applications to Steel*, The Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA, 1978.
- (6) Hewitt, W., *Hardenability—Its Prediction from Chemical Composition*, Heat Treatment of Metals, Vol 8, 1981, pp. 33–38.
- (7) Tartaglia, J. M., and Eldis, G. T., *Core Hardenability Calculations for Carburizing Steels*, Vol 15A, No. 6, Metallurgical Transactions, June 1984, pp. 1173–1183.
- (8) Jatczak, C. F., *Determining Hardenability from Composition*, Metal Progress, Vol 100, No. 3, September 1971, p. 60.
- (9) Kramer, I. R., Siegel, S., and Brooks, J., *Factors for the Calculation of Hardenability*, AIME Transactions, Vol 163, 1946, p. 670.
- (10) Crafts, W., and Lamont, Y., *The Effects of Some Hardenability*, AIME Transactions, Vol 158, 1944, p. 162.

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 2

Acero Inoxidable 304



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		304	316	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm ³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm ²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / *	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / *	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / *	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm ²)	210 / 230	205410 / *	
	ELONGACIÓN (A ₅) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL	(J/cm ²)	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ ₁ /10 ⁶ /t (N/mm ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO	(OC)	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	
	RECOCIDO INDUSTRIAL		1008/1120	1008/1120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

* Son aceptables tolerancias de un 1%



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304

APLICACIONES

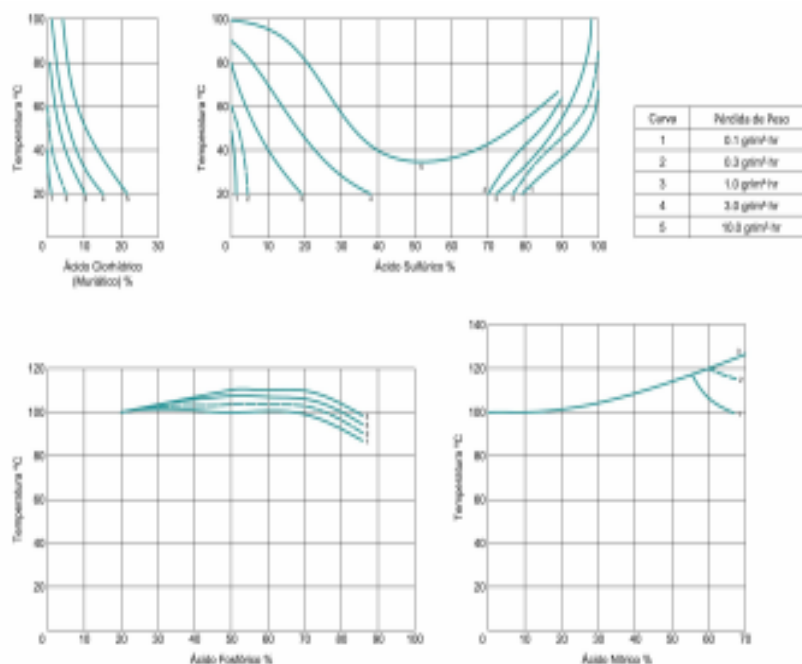
Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos. Además es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de alimentación y para la industria química de producción del nitrógeno.

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 304

Acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.) Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores esfuerzos para su proceso de conformado.

Resistencia a la corrosión

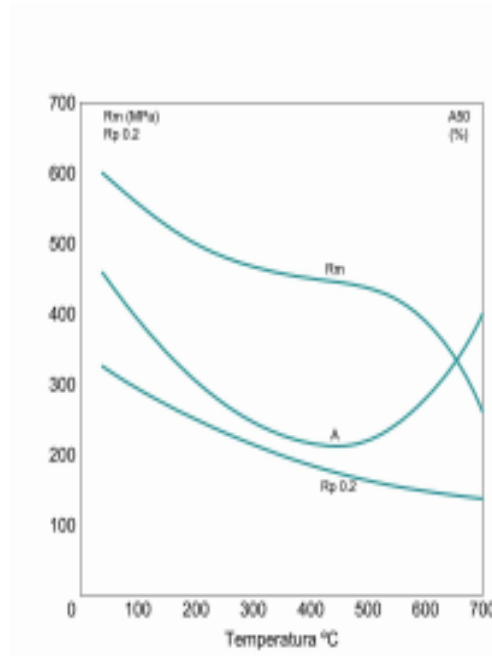
En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m²·hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m²·hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.



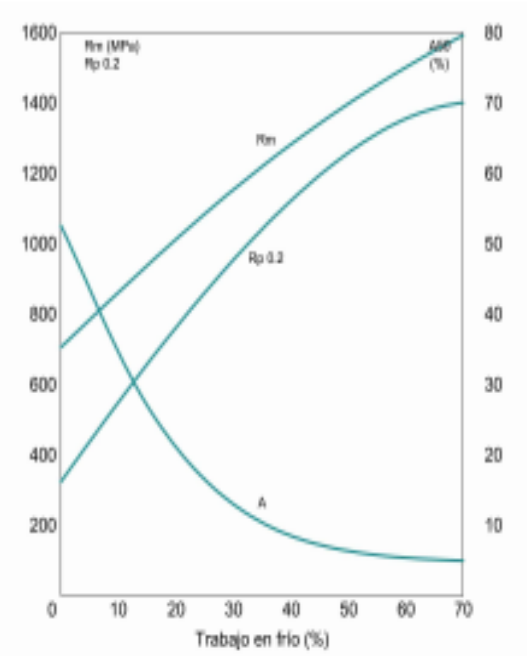
Carbone Stainless Steel

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas



Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas



PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE AISI 316

APLICACIONES

Acero resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300°C bajo condiciones de operación continua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidables y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de la celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía, ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 316

El acero AISI 316 corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye de forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, dado que la capa pasiva formada es mucho más resistente.

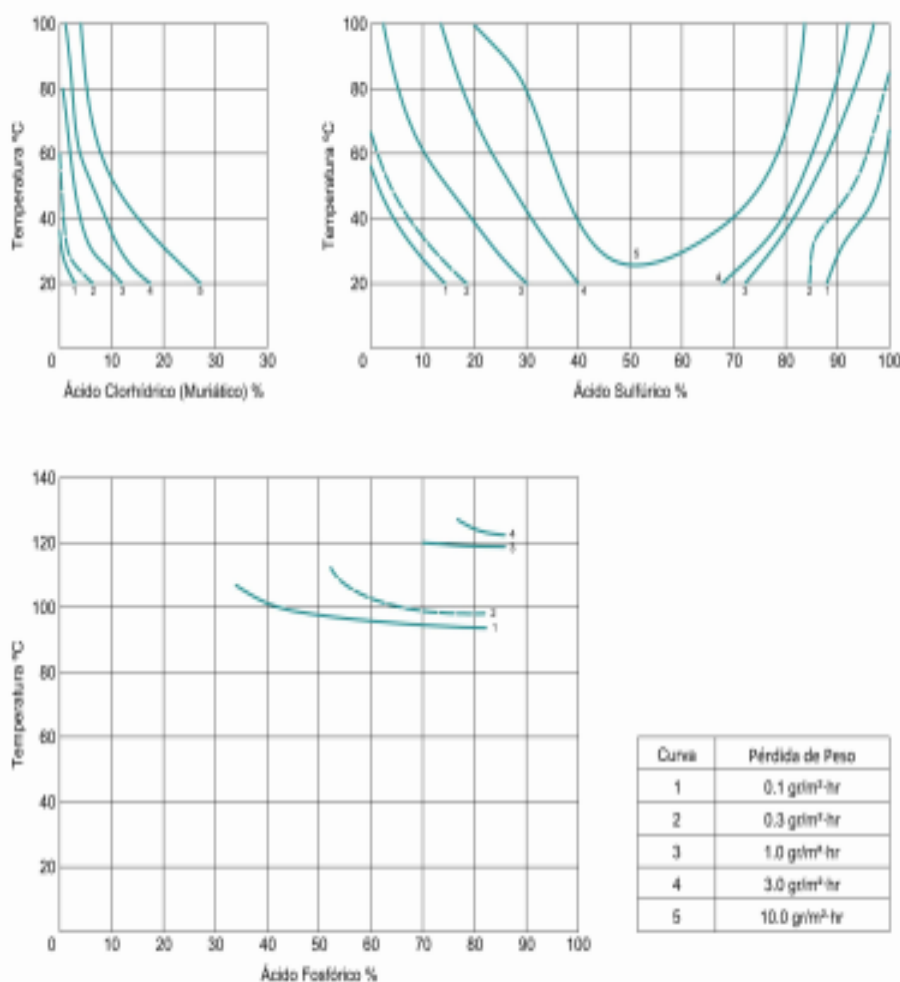
Carbone Stainless Steel

FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas no superiores a 870 °C y en continuo a 930 °C. No se recomienda el uso de este acero en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Este acero no puede ser endurecido mediante templado. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión.

Resistencia a la corrosión

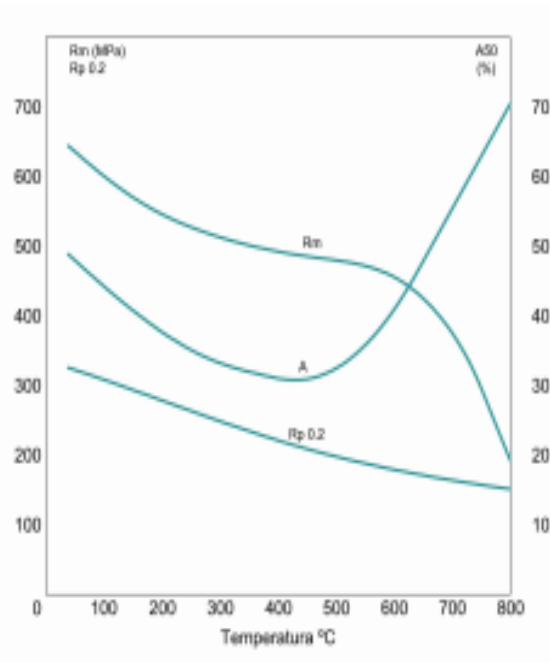
En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0.1, 0.3, 1.0, 3.0 y 10.0 gr/m²·hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m²·hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.



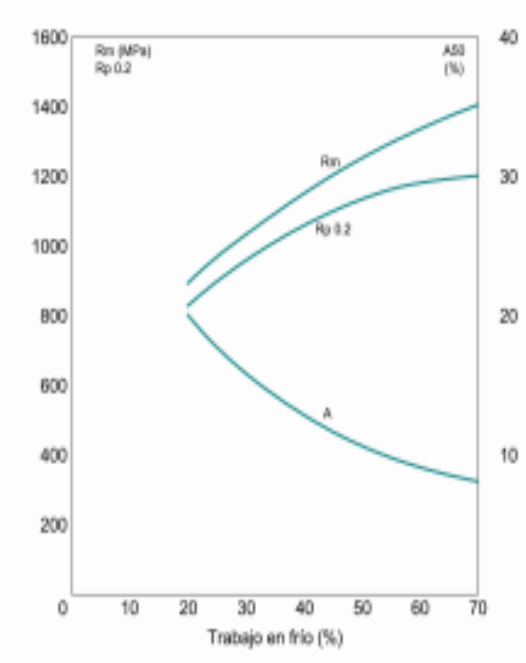


FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas



Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas





FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR ACERO AISI 304 Y 316

TRATAMIENTO TÉRMICO

Trabajo en caliente (°C)	Enfriamiento	Tratamiento térmico (°C)	Enfriamiento	Estructura
1150 – 850	Aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado	Austenítica con un contenido menor de ferrita

RECOMENDACIONES SOBRE MECANIZADO

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales

Taladro con broca HSS

Diámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min	200	200	200
Avance (f) mm/r	0.01	0.12	0.15

Torneado

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	170 – 145	160 – 210	25 – 45
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.4	0.1 – 0.2	0.1 – 0.5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 – 4	0.5 – 1	0.5 -3
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10	-

Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (vc) m/min	60 – 120	100 – 155
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.3	0.2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0.6
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10

Anexo 3.

Electrodo INOX 29/9

SMAW

Acero Inoxidable



INOX 29/9

Electrodo cuyo depósito tiene una estructura austeno-ferrítica con Ferrita > 20%, insensible a la fisuración en caliente. El material depositado presenta una alta resistencia a la rotura y es muy empleado para soldar aceros de difícil soldabilidad y unir aceros disímiles. El revestimiento rutilico le permite obtener depósitos libres de poros y con buen acabado. El INOX 29/9 es resistente al impacto, calor, corrosión y a la fricción metal - metal. Los depósitos son maquinables.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	~E312-16

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,10	1,00	1,20	máx. 0,025	máx. 0,020	0,5	10,00	29,00	*	*

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	740 - 840 (107 300 - 121 800)	> 600 (87 000)	> 22	*

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Una vez abierto el empaque, colocar en horno. Almacenamiento bajo horno: 120°C. Resecado de 400°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura			
P, H, Va, Sc.			
	1G	2G	3G

Parámetros de Soldado Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP								
Diámetro	[mm] [pulgadas]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
		1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		*	*	55	80	110	160	*
Amperaje máximo		*	*	85	120	150	220	*

Aplicaciones

- Electrodo especial ideal para labores de mantenimiento y reparación, en todos los sectores industriales.
- Para soldar aceros al carbono y aceros aleados con problemas de soldabilidad (aceros de difícil soldabilidad).
- Para soldar una gran variedad de aceros: herramientas, tratados térmicamente, inoxidables y rápidos.
- Ideal para soldar aceros disímiles, unir acero al carbono con acero inoxidable y planchas de acero galvanizado.
- Para recuperar ejes, matrices, moldes, herramientas, cadenas, engranajes, paletas de agitadores, cremalleras, tornillos extrusores y en general, piezas de alta resistencia.
- Como base para recubrimientos protectores especiales.
- Muy usado en la industria siderúrgica (resistente al descascaramiento hasta 110°C) para relleno de ejes, mandriles, rodillos, cama cojin para cuchillas de corte en caliente, etc.

Anexo 4

Selección de Tubería

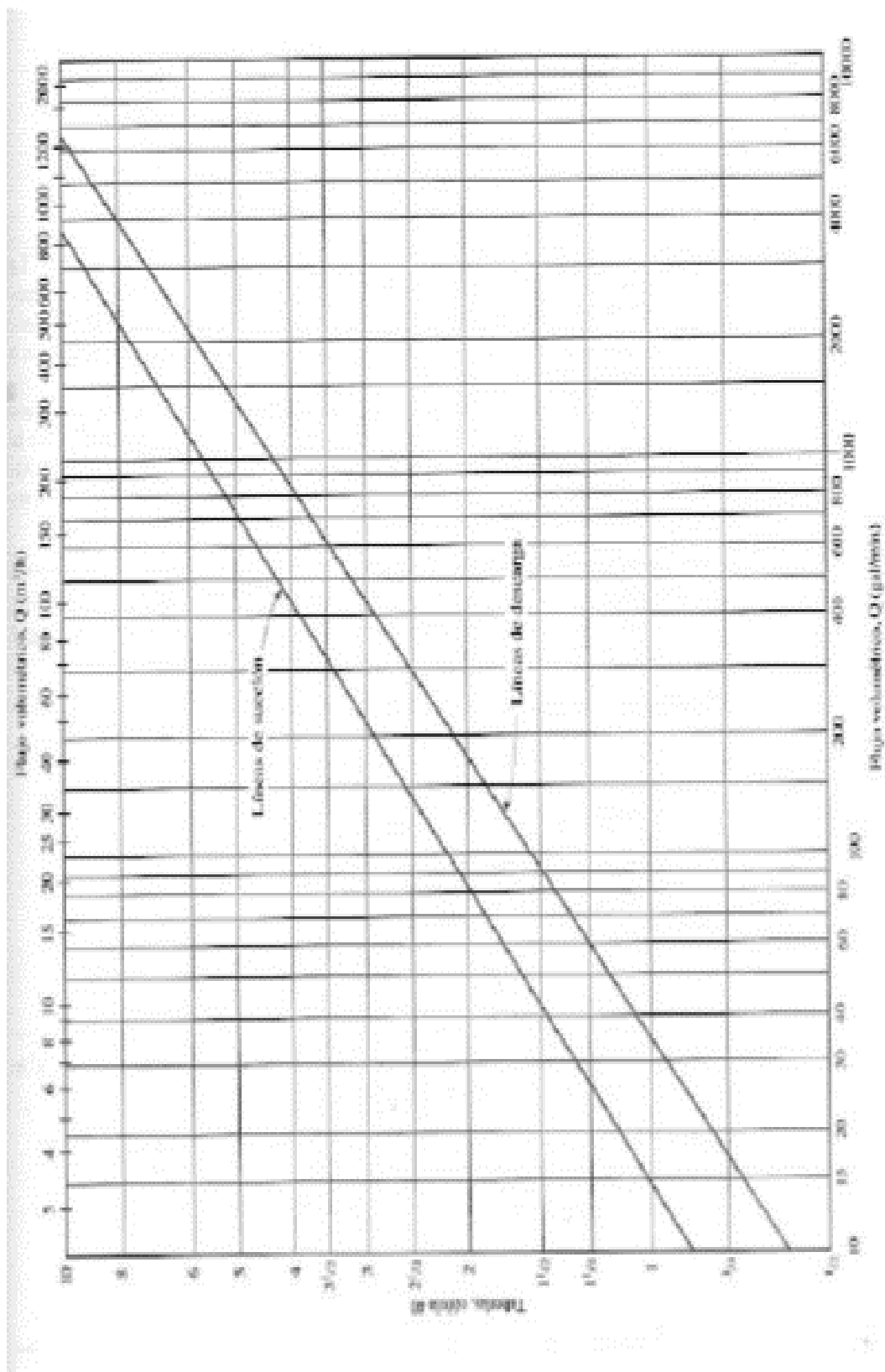


FIGURA 4.2 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías.

Anexo 5

Diámetros de Tubería

NPS Designator	DN Designator	Outside Diameter		Inside Diameter		Wall Thickness		Nominal Weight (Mass) per unit Length			
		(Inches)	(mm)	(Inches)	(mm)	(Inches)	(mm)	Plain End (lb/ft)	Plain End (kg/m)	Threads & Couplings (lb/ft)	Threads & Couplings (kg/m)
1/8	6	0.405	10.3	0.269	6.8	0.068	1.73	0.24	0.37	0.25	0.37
1/4	8	0.540	13.7	0.364	9.2	0.088	2.24	0.43	0.63	0.43	0.63
3/8	10	0.675	17.1	0.493	12.5	0.091	2.31	0.57	0.84	0.57	0.84
1/2	15	0.840	21.3	0.622	15.8	0.109	2.77	0.85	1.27	0.86	1.27
3/4	20	1.050	26.7	0.824	20.9	0.113	2.87	1.13	1.69	1.14	1.69
1	25	1.315	33.4	1.049	26.6	0.133	3.38	1.68	2.50	1.69	2.50
1-1/4	32	1.660	42.2	1.380	35.1	0.140	3.56	2.27	3.39	2.28	3.40
1-1/2	40	1.900	48.3	1.610	40.9	0.145	3.68	2.72	4.05	2.74	4.04
2	50	2.375	60.3	2.067	52.5	0.154	3.91	3.66	5.44	3.68	5.46
2-1/2	65	2.875	73.0	2.469	62.7	0.203	5.16	5.80	8.63	5.85	8.67
3	80	3.500	88.9	3.068	77.9	0.216	5.49	7.58	11.29	7.68	11.35
3-1/2	90	4.000	101.6	3.548	90.1	0.226	5.74	9.12	13.57	9.27	13.71
4	100	4.500	114.3	4.026	102.3	0.237	6.02	10.80	16.07	10.92	16.23
5	125	5.563	141.3	5.047	158.2	0.258	6.55	14.63	21.77	14.90	22.07
6	150	6.625	168.3	6.065	154.1	0.280	7.11	18.99	28.26	19.34	28.58
8	200	8.625	219.1	7.981	202.7	0.322	8.18	28.58	42.55	29.35	43.73
10	250	10.750	273.0	10.020	254.5	0.365	9.27	40.52	60.29	41.49	63.36
Standard Pipe											
12 ¹	300	12.750	323.8	12.000	304.8	0.375	9.52	49.61	73.78	51.28	76.21

Note¹ NPS 12 dimensions are for standard wall pipe, not schedule 40.



Anexo 6

Catalogo Bomba

LittleGIANT®

2E-38N SERIES



Features

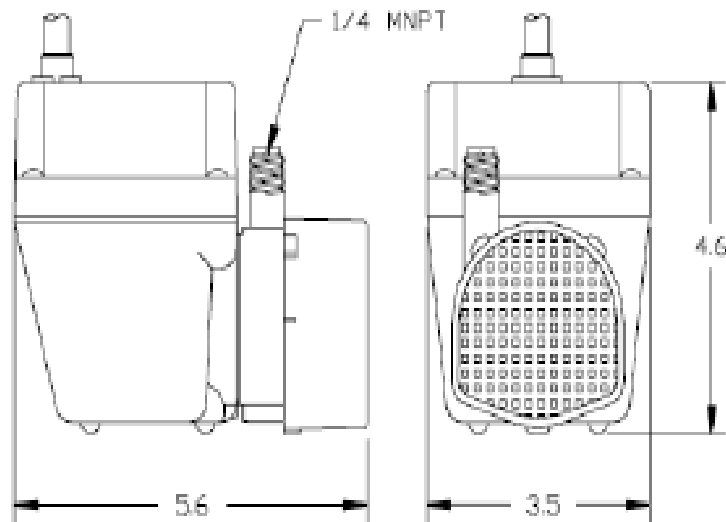
- For submersed or in-line use
- Epoxy coated die-cast aluminum housing
- Oil-filled motor
- 11.8' maximum lift
- 100 watts
- 1/4" MNPT discharge (accepts 1/2" I.D. tubing)
- Thermal overload protection

Construction

- Motor — 1/40 HP oil filled
- Maximum Flow Rate — 300 GPH @ 1'
- Maximum Head — 11.8'
- Intermittent Liquid Temp. up to — 120°F
- Intake — 3/8" FNPT
- Discharge — 1/4" MNPT
- Housing — Epoxy coated cast aluminum
- Cover — Epoxy coated cast aluminum
- Volute — Nylon
- Impeller — Nylon
- Shaft Seal — Triple-lip Nitrile
- Screen — Polypropylene

Dual purpose oil-filled pump that may be used totally submersed or in-line (fed with pipe or hose). For commercial, industrial and home applications including statuary fountains, water displays, air conditioners, machine tool coolants, and many other applications where liquid must be transferred or recirculated. This compact 300 GPH pump features a 1/4" MNPT discharge and 11.8' shut-off head capability.

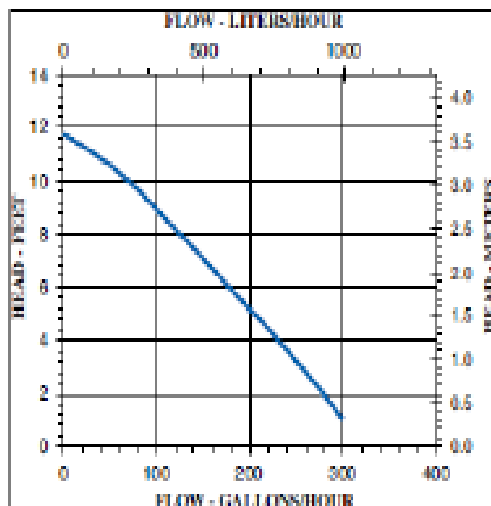
2E-38N SERIES



Specifications

Model No.	Item No.	Discharge Size	Inlet Size	Leakage	HP	Flow	Head	Amph	Watts	Performance (GPM/PSI/ft)				FL	P.S.I.	Cord Length (ft.)	Weight (lbs.)
										1'	2'	5'	10'				
2E-32N	902203	1/2" MNPT	3/8" FNPT	UL	1/2	115	80	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	8	4.80
2E-36N	902204	1/2" MNPT	3/8" FNPT	UL	1/2	115	60	1.7	100	300	265	205	70	11.8	5.1	6	4.80
2E-38N	902205	1/2" MNPT	3/8" FNPT	UL/CSA	1/2	115	60	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	10	5.00
2E-32N	902200	1/4" MNPT	3/8" FNPT		1/4	127	80	1.7	100	300	285	205	70	11.8	5.1	8	4.80
2E-38N	902215	1/4" MNPT	3/8" FNPT	UL/CSA	1/4	230	50/60	2.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	12	5.17

*Shut



Replacement Parts

Volute	102334 (102375, black)
Impeller	102470
Screen	102909 (102375, black)
Gasket	102601

www.LittleGiantPump.com

LittleGIANT
PO Box 12810 • Oklahoma City, OK 73157
Phone: 800.701.7884 • Fax: 800.701.8146
E-mail: customerservice@littlegiant.com

Form 098122 — 03/2003

Anexo 7

Hoja Técnica de ASTM A-36

ASTM A36 Steel, bar

Categories:	Metal ; Ferrous Metal ; ASTM Steel ; Carbon Steel ; Low Carbon Steel
Material Notes:	Minimum Cu content when copper steel is specified. Used for guardrails.
Key Words:	UNS K02600
Vendors:	Click here to view all available suppliers for this material.
	Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20.0 %	20.0 %	in 200 mm
	23.0 %	23.0 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Compressive Yield Strength	152 MPa	22000 psi	Allowable compressive strength
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.260	0.260	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.260 %	0.260 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	99.0 %	99.0 %	
Manganese, Mn	0.75 %	0.75 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.



Anexo 8

Hoja Técnica SAE 1020 Y 1045



ACERO SAE 1020

DIN	CK - 20
UNI	C - 20
AFNOR	XC - 20
SAE	1020

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P más. %	S más. %	Si más. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	195	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 688	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	688 - 833	441	15	45	----

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1150	Arena seca
Normalizado	880 - 920	Aire
Recocido	680 - 720	Horno
Cementación	900 - 930	Horno/agua
Temple capa cementada	850 - 900	Agua
Revenido capa cementada	180 - 240	Aire

APLICACIONES

Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc.



SOLDADURA

Este acero se puede soldar fácilmente, se recomienda soldadura A.W.S clase E-6010, E-6011, E-6013 de la American Welding Society.

ACERO SAE 1045

DIN	CK - 45
UNI	C - 45
AFNOR	XC - 45
SAE	1045

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templeabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 190 - 200 Brinell

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- + Densidad → 7.85 g/cm³.
- + Resistividad eléctrica (microhm-cm):
a 32°F = 16.2
a 212°F = 22.3
- + Módulo de elasticidad → 2 x 10¹¹ Pa (29 x 10⁶ PSI).
- + Coeficiente de dilatación térmica / °C
- + Conductividad térmica → 52 W/m-°C.
- + Coeficiente de Poisson → 0,3
- + Calor específico J/(Kg*°K) → 460
- (20 - 100°C) 12.3 x 10⁻⁶
(20 - 200°C) 12.7 x 10⁻⁶
(20 - 400°C) 13.7 x 10⁻⁶

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO

Diámetro de la barra: 12 a 38 mm

Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	635	635	620
Punto de fluencia MPa	413	413	378
% de elongación	23	23	25
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

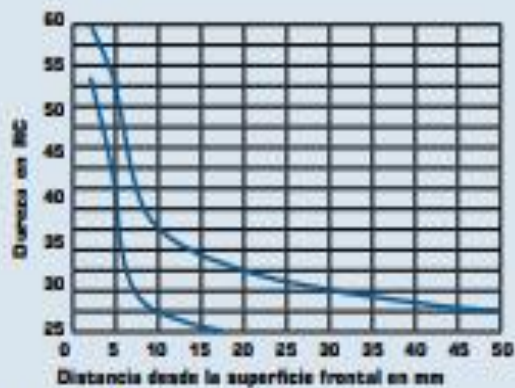
PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN ACEITE
- REDONDO DE 25 MM
(Temple en aceite desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

Temperatura de revenido °C	Resistencia a la tracción MPa	Punto de Fluencia MPa	Elongación (en 50 mm) %	Reducción de área %	Dureza Brinell (3000 Kg.)
320	955	655	11	34	278
430	875	621	15	39	257
540	793	558	18	45	228
650	703	482	23	51	203
705	641	462	25	55	195

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN AGUA - REDONDO DE 25 MM
(Temple en agua desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)

Temperatura de revenido °C	Resistencia a la tracción N/mm²	Punto de Fluencia N/mm²	Elongación (en 50 mm) %	Reducción de área %	Dureza Brinell (3000 Kg.)	Impacto (en ft - lb)
320	1034	786	8	33	313	15
430	955	731	13	43	281	24
540	827	621	19	52	242	38
650	717	503	24	60	210	61
705	659	455	27	62	198	70

BANDA DE TEMPLABILIDAD



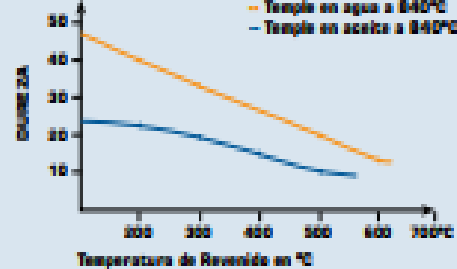
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Arena seca
Normalizado	855 - 900	Aire
Recocido total	815 - 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frío	525 - 662	Horno luego aire
Temple (*)	815 - 870	Agua - aceite
Revenido		Aire

* El enfriamiento en aceite minimiza la deformación sin garantizar la máxima dureza. Hasta 12 mm de diámetro con enfriamiento en aceite se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza.



DIAGRAMA DE REVENIDO



El tiempo de acortamiento a esta temperatura es de 1 hora + 1 hora por pulgada de espesor o diámetro de la pieza. Posteriormente se enfría en el horno o al aire.



MAQUINABILIDAD

Puede ser mecanizado fácilmente en estado recocido, normalizado o templado, tomando como referencia al 12L14 (100% de maquinabilidad). El acero 1045 presenta la siguiente maquinabilidad:

- En estado calibrado = 55%
- En estado recocido = 68 - 70%

Este acero presenta un buen acabado superficial y su mecanizado se caracteriza por presentar una larga vida útil de la herramienta de corte.

TORNEADO					
PROFUNDIDAD DE CORTE mm	ACERO RÁPIDO		HERRAMIENTA DE CARBURO		
	Velocidad m/min	Avance mm/rev	Soldado velocidad m/min	Inserada velocidad m/min	Avance mm/rev
Dureza, 125 a 175 HB					
1	40	0.18	140	180	0.18
4	35	0.40	110	140	0.50
8	27	0.50	85	110	0.75
16	11	0.75	67	85	1.00
Dureza, 175 a 225 HB					
1	40	0.18	130	160	0.18
4	30	0.40	100	125	0.50
8	26	0.50	78	100	0.75
16	20	0.75	60	78	1.00

CONFORMABILIDAD

SAE 1045 puede ser conformado fácilmente en caliente a temperaturas entre 980 y 1230°C. Este material no debe ser deformado en frío extensivamente sin realizar recocidos intermedios. Un recocido subcrítico será suficiente excepto cuando un trabajo severo en frío ha de ser seguido por más trabajo en frío en cuyo caso se requiere de un recocido total.

SOLDABILIDAD

El acero SAE 1045 está cerca al límite superior de aceros con porcentaje de carbono que pueden ser soldados satisfactoriamente por todos los métodos comunes. Sin embargo, precalentamiento y postcalentamiento pueden ser necesarios en función del espesor. Usualmente hay menos necesidad de precalentamiento y postcalentamiento con procesos de soldadura con gas que con métodos de soldadura por arco debido a que el proceso de soldadura por gas genera una zona afectada por el calor

mayor que el proceso de arco eléctrico y por tal razón el enfriamiento es más lento. Se recomienda el uso de electrodos de bajo hidrógeno.

DATOS DE IMPACTO							
Templado al agua y revenido a 870°C							
Dureza Brinell	Prueba Charpy (energía en VJ, Joules, realizada a diferentes temperaturas)						
	- 70°C	- 45°C	- 18°C	10°C	40°C	65°C	95°C
225	7 - 15	11 - 20	27 - 40	51 - 65	55 - 70	63 - 74	70 - 81
200	---	8 - 12	10 - 16	13 - 24	18 - 26	27 - 40	36 - 47

APLICACIONES

Este acero de medio carbono se usa cuando la resistencia y dureza obtenidas por el tratamiento térmico o por deformación en frío, son suficientes para satisfacer las condiciones de servicio requeridas.

Es ampliamente utilizado en la industria automotriz (productos forjados y estampados). Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas de todo tipo como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, palas, barretones, llaves, etc.

ACERO SAE 1045 EN PLACA

Estado de suministro: Normalizado

Dureza de suministro: 175 - 200 HB

Acabados: Laminado en caliente (negro), premaquinado, rectificado

Cia. General de Aceros (C.G.A.) cuenta con una gama amplia de espesores de productos laminados en acero SAE 1045 que permite satisfacer sus necesidades de placas, discos, anillos y cortes especiales hasta espesores de 254 mm.

Para minimizar los sobrecostos de consumo de sus herramientas durante el mecanizado, C.G.A. realiza a los productos excortados en placa 1045 una homogenización de dureza (ya que el proceso de corte en caliente altera las propiedades en la zona afectada por el calor) garantizándole una adecuada maquinabilidad.

Con la filosofía de disminuir tiempos de fabricación en su taller y aumentar la competitividad de su negocio, C.G.A. ofrece productos excortados con servicio adicional de premaquinado (caras y cantos) y rectificado plano con tolerancias acordadas previamente. Consulte a nuestros asesores para definir su mejor alternativa.

SUCURSALES C.G.A.

BARRANQUILLA

Vía 40 No. 51 - 444 PBX: 2444 188/2730 222 Fax: 2443 228/2730 220

MEDELLÍN

Calle 22 No. 41 - 128 Itagüí PBX: 2724 500/2730 111 Fax: 2726 088

CALI

Cra. 51A No. 15 - 58 Acopi - Yumbo PBX: 6218 585 Call Center: 6218 586 Fax: 6258 593

BUCARAMANGA

Cra. 14 No. 23 - 02 PBX: 6337 706/6333 Fax: 6332 778

PRINCIPAL BOGOTÁ D.C.

Av. 68 No. 376 - 51 Sur PBX: 7700 560 Fax: 7700 530/550
Call Center: 7700 590 - Línea de Servicio al Cliente: 7700 540

www.cga.com.co - e-mail: aceros@cga.com.co

Anexo 9

GUIA DE PRÁCTICA

TEMA: Ensayo de templabilidad Jominy.

1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar la práctica del ensayo de templabilidad Jominy con el fin de conocer y visualizar el comportamiento del acero en el templado.

1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y comprender el ensayo Jominy.
- Realizar el temple del acero (AISI 1020/ AISI 1045) bajo los estándares de la norma ASTM A255.
- Visualizar la microestructura del acero.

2. MARCO TEÓRICO

El tratamiento térmico de temple consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada; mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar bruscamente en el medio correspondiente según el tipo de acero. La temperatura de temple para los aceros de diferente contenido de carbono y elementos aleantes está determinada por la posición de las líneas A1 y A3. Para los aceros al carbono la temperatura de temple puede determinarse por el diagrama Hierro-Carburo de hierro. Por lo general para el acero hipoeutectoide debe ser 30-50 °C más alta que AC3 y para el hipereutectoide, 30-50o C más alto que AC1. El calentamiento de temple se realiza en hornos de acción periódica y continua, generalmente en hornos eléctricos o que funcionan a base de combustible gaseoso o líquido. Se emplean ampliamente los hornos de baño, en los cuales la pieza se calienta en sales fundidas. Es deseable que el medio de enfriamiento para el temple enfríe con rapidez en la zona de temperaturas donde la austenita tiene poca estabilidad (600-500 °C) y con lentitud en la zona de temperaturas de la transformación martensítica (300-200 °C) para que no se originen esfuerzos muy elevados que puedan deformar o agrietar el material. Para templar las piezas hechas de acero al carbono, con alta velocidad crítica de temple, se utiliza corrientemente el agua; aunque otro medio de enfriamiento muy común es el aceite. Los mejores resultados se obtienen templando en baños de sal, los cuales tienen muchas ventajas sobre los medios de enfriamiento ya citados.

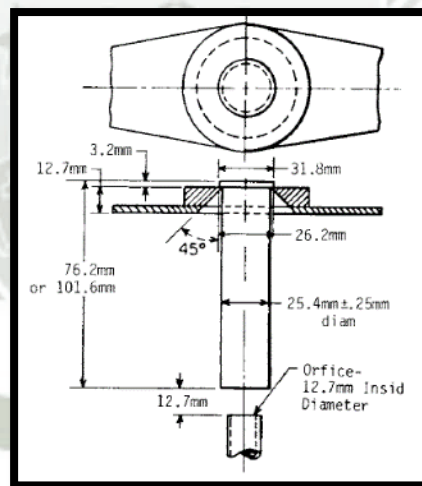
Cuando la composición del acero se desconoce, será necesaria una experimentación para determinar el rango de temperaturas de temple. El procedimiento a seguir es templar un determinado número de muestras del acero a diferentes temperaturas y medios de temple y observar los resultados mediante pruebas de dureza o al microscopio. La temperatura y medio de temple adecuados serán los que den como resultado el mayor aumento en la dureza y en otras propiedades sin ocasionar fracturas o deformaciones.

3. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Horno de resistencia.
- Módulo de Ensayo de Jominy
- Durómetro
- Vernier
- Máquina de Pulido
- Guantes para altas temperaturas.
- Pinza de trabajo para altas temperaturas.
- Cronometro.
- Lentes claros.
- Mandil.
- Zapato de Seguridad.
- Pipeta, beaker, etc
- Ácido Nítrico
- Algodón
- Lijar 150, 220, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 y 1200.

4. PROCEDIMIENTO

- Verificar que la probeta este en buenas condiciones y tenga las medidas según norma.



- Colocar y calentar la probeta en el horno de resistencia desde temperatura ambiente hasta los 925 °C, una vez que se alcance la temperatura indicada la probeta deberá permanecer 30 min más dentro del horno.
- Antes de sacar la probeta del horno, se deberá ajustar la altura del chorro desde la superficie del cono a 63.5 mm. El tiempo entre sacar la probeta del horno y colocar en el módulo no deberá ser mayor a 5 seg.
- Mantener el chorro de agua contra la cara inferior de la probeta durante 10 min.

- Pasado el tiempo requerido retirar la probeta y colocar en el tanque de enfriamiento, la cual estará llena de agua de tal manera la probeta es sumergida en su totalidad.
- Después de enfriar la probeta en su totalidad, se deberán maquinar 2 superficies planas a 180° con una profundidad mínima de 0.38mm
- Ambas superficies serán pulidas gradualmente hasta lograr acabados aptos para los ensayos de dureza.
- Se procederá a medir la dureza Rockwell C previo tratamiento en el durómetro a las siguientes distancias:

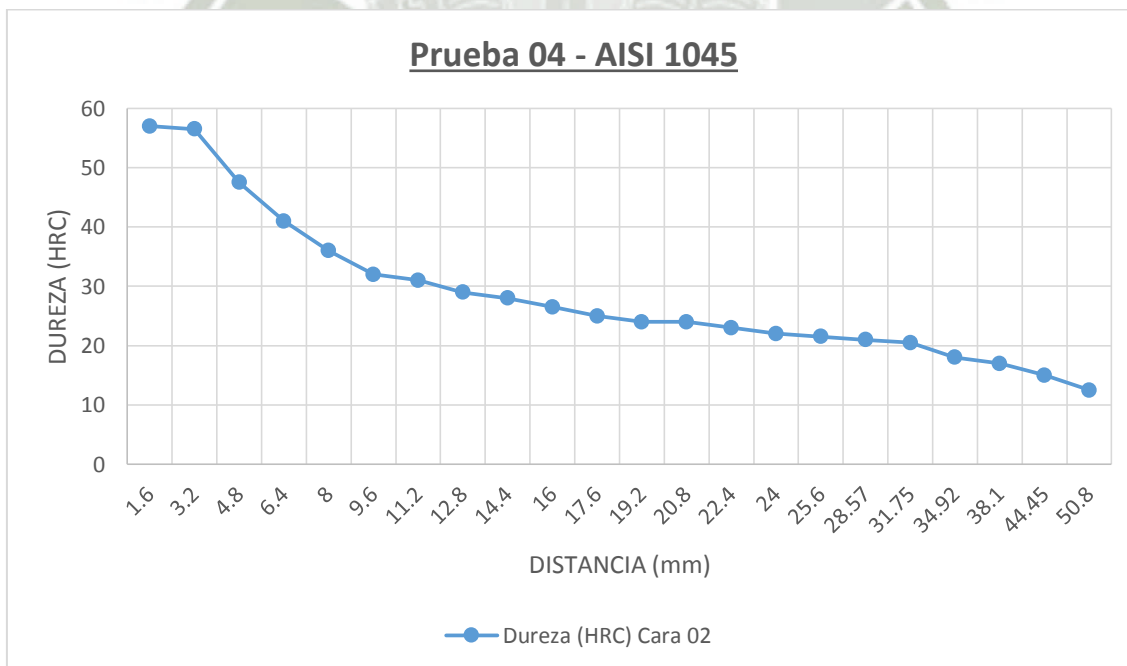
Distancia (mm)	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6	11.2	12.8	14.4	16	17.6
Dureza (HRC)											

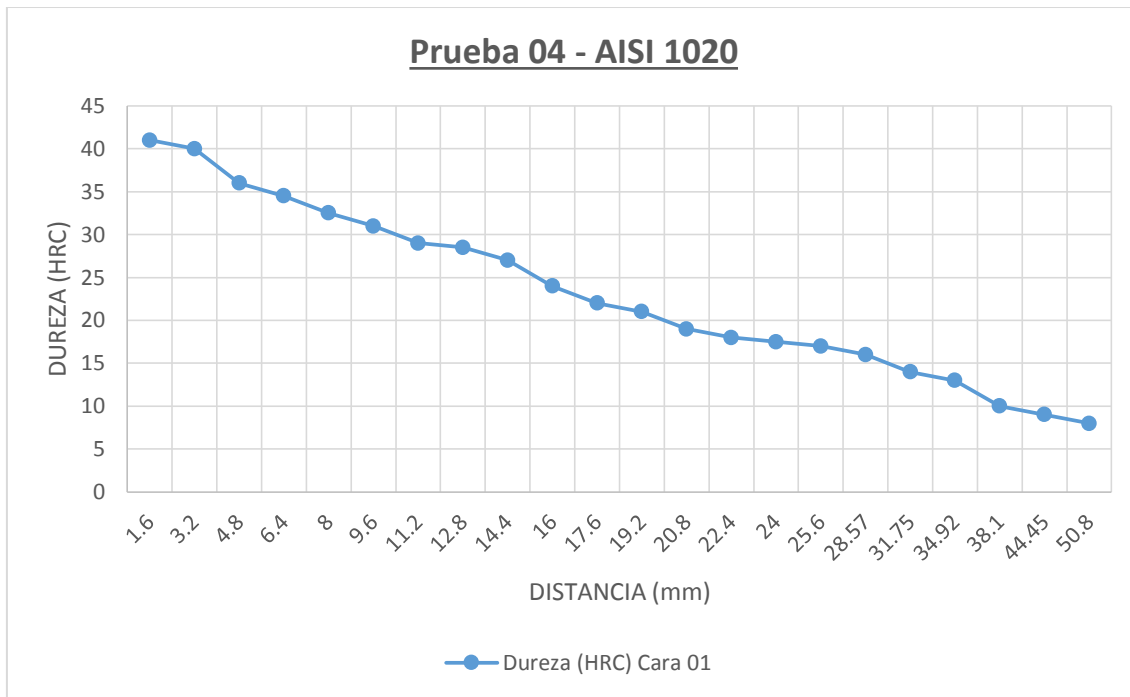
Distancia (mm)	19.2	20.8	22.4	24	25.6	28.57	31.75	34.92	38.1	44.45	50.8
Dureza (HRC)											

En caso las mediciones de las 2 caras variaran en 4HRC se deberá preparar nuevas superficies a 90° y volver a tomar las medidas. En caso los valores sean menores a 20 HRC no serán anotados.

5. RESULTADOS

- Realizar una gráfica dureza VS distancia y comparar resultado con las siguientes gráficas.





6. CUESTIONARIO

- a) ¿Qué es un tratamiento térmico?
- b) ¿Qué es el templado?
- c) ¿Cuál es el objetivo del templado?
- d) ¿Cuál es la diferencia de un templado completo y un templado incompleto?
- e) ¿Cuáles son los medios de enfriamiento que se emplean en el templado y cuáles son los factores que i?
- f) ¿Qué factores influyen en la elección de enfriamiento del templado?
- g) Para la mayoría de los propósitos donde el acero al carbono debe ser endurecido. ¿Cuál es el rango de contenido de carbono que es utilizado? ¿Por qué?
- h) En el templado ¿Qué determina la máxima dureza que puede obtenerse en una pieza de acero?
- i) ¿Por qué no debe calentarse el acero demasiado arriba de su temperatura crítica superior antes de ser enfriado?
- j) ¿Qué es la velocidad crítica de enfriamiento?
- k) ¿Para qué se adicionan elementos aleantes a los aceros?
- l) Explique por qué no es deseable la oxidación en un tratamiento térmico.
- m) Explique por qué no es deseable la decarburación en un tratamiento térmico.

7. CONCLUSIONES