



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY
DE TEMPLABILIDAD PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN
MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.**

AUTOR: MEJIA CADENA JORGE ARMANDO

DIRECTOR: MSC. IVÁN IGLESIAS

IBARRA-ECUADOR

2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040158281-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MEJÍA CADENA JORGE ARMANDO		
DIRECCIÓN:	CRISTOBAL TOBAR SUBIA 8-115 Y LUIS FERNANDO MADERA (EL OLIVO)		
EMAIL:	jorge_mejiacadena@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062974059	TELÉFONO MÓVIL:	0997112305
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY DE TEMPLABILIDAD PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"		
AUTOR:	MEJÍA CADENA JORGE ARMANDO		
FECHA:	JULIO 2016		
PROGRAMA:	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MECATRÓNICA		
DIRECTOR:	MSC. IVÁN IGLESIAS		

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.

Yo, Mejía Cadena Jorge Armando, con cédula de identidad Nro. 040158281-2, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.



.....
Firma

Nombre: Mejía Cadena Jorge Armando

Cédula: 040158281-2

Ibarra, Julio del 2016



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Mejía Cadena Jorge Armando, con cedula de identidad Nro.0401582812 , manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY DE TEMPLABILIDAD PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.”** que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO MECATRÓNICO en la Universidad Técnica Del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: Mejía Cadena Jorge Armando

Cédula: 040158281-2

Ibarra, Julio del 2016.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

El señor Jorge Armando Mejía Cadena ha trabajado en su totalidad en el desarrollo del proyecto de tesis "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY DE TEMPLABILIDAD PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE", previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, trabajo que lo realizo con interés profesional y responsabilidad, es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. Iván Iglesias

C.I.: 175585549-9

DIRECTOR DEL PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, JORGE ARMANDO MEJÍA CADENA, con cédula de identidad 040158281-2, declaro bajo juramento que ese trabajo es de autoría propia, ya que no ha sido presentado para ningún trabajo de grado o calificación profesional; y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte- Ibarra, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

.....
Firma

Nombre: Mejía Cadena Jorge Armando

Cédula: 040158281-2

Ibarra, Julio del 2016.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

A mis padres quienes siempre fueron un ejemplo de superación, jamás me faltó un pan, una muestra de cariño y su confianza, gracias por guiarme por el buen camino siempre. Porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta.

Y como olvidar a mis queridos amigos con quienes compartimos momentos de triunfos y derrotas durante nuestra carrera, en especial a aquellos que demostraron lealtad y cariño sinceros.

Jorge Armando Mejía Cadena



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial M. Sc. Iván Iglesias, director de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, pero sobre todo por el apoyo recibido a lo largo de estos años.

También me gustaría agradecer la ayuda recibida por el Ing. Fernando Echeverría quien fue mi primer director de tesis y que por razones profesionales ya no está con nosotros, él ha sacrificado sus horas de trabajo, por echarnos una mano desde el inicio de esta tesis.

A mí querida Universidad Técnica del Norte quien prestó toda la ayuda desde lo académico así como también las instalaciones y herramientas de la planta textil para poder culminar con la máquina de la mejor manera.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia y amigos.

A todos ellos, muchas gracias.

Jorge Armando Mejía Cadena

INDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	IV
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	V
DECLARACIÓN.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN.....	XVII
SUMMARY	XVIII
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS	1
1.1.1 PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO.....	2
1.1.2 PRINCIPALES TRATAMIENTOS TÉRMICOS	3
1.2 DEFINICIÓN DE TEMPLE	4
1.2.1 OBJETIVO DEL TEMPLE	4
1.2.2 FACTORES DEL TEMPLE	5
1.3 TRANSFORMACIÓN DE LA MARTENSITA	10
1.4 FASES DEL TEMPLE	11
1.5 DEFINICIÓN DE TEMPLABILIDAD	12
1.5.1 GENERALIDADES DE LA TEMPLABILIDAD.....	13
1.5.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPLABILIDAD	14
1.5.2.1 EXAMEN DE LAS FRACTURAS	14
1.5.2.2 POR ATAQUE QUÍMICO SOBRE SUPERFICIES PULIDAS, ARENADAS O SOBRE FRACTURAS.....	15
1.5.2.3 CURVAS DE DUREZA UTILIZANDO DISCOS DE ACERO	16
1.5.2.4 PENETRACIÓN DE TEMPLE SOBRE ACEROS DE FORMA CIRCULAR DE DIFERENTES DIÁMETROS CURVA U	17
1.5.2.5 ENSAYO JOMINY	18
	IX

1.5.2.6 BANDAS DE TEMPLABILIDAD	24
1.5.3 FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS	25
1.5.4 TEORÍA DE JOMINY. UTILIZACIÓN DEL ENSAYO JOMINY	32
1.5.5 SEVERIDAD DEL TEMPLE	38
CAPITULO II	40
2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE CONSTRUCCIÓN	40
2.1 INTRODUCCIÓN	40
2.2 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE PORTA PROBETAS	41
2.2.1 VOLUMEN DEL AGUA	42
2.2.2 ESPESOR DE PARED DEL TANQUE PORTA PROBETAS	43
2.2.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL TANQUE PORTA PROBETAS	44
2.3 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE ALIMENTADOR	48
2.3.1 VOLUMEN DEL AGUA	49
2.3.2 ESPESOR DE LA PARED DEL TANQUE ALIMENTADOR	49
2.3.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL TANQUE ALIMENTADOR	50
2.4 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE AUXILIAR DE ENFRIAMIENTO	52
2.4.1 VOLUMEN DEL AGUA	53
2.4.2 ESPESOR DE LA PARED DEL TANQUE	53
2.4.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA	54
2.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO	55
2.5.1 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA TUBERÍA	56
2.5.2 DIÁMETROS DE TUBERÍA DE SUCCIÓN Y DESCARGA	57
2.5.3 ALTURA DE LA BOMBA	59
2.5.3.1 ALTURA DE SUCCIÓN (H_s)	60
2.5.3.2 ALTURA DE DESCARGA	64
2.5.3.3 CABEZA DE SUCCIÓN POSITIVA NETA (NPSH)	67
2.5.3.4 POTENCIA DE LA BOMBA	69
2.6 CÁLCULO Y DISEÑO DE BOQUILLA	70
2.6.1 GRADO DE CONICIDAD DE LA BOQUILLA	70

2.6.2 ALTURA DEL CHORRO DEL FLUIDO (VER FIGURA 41)	71
CAPÍTULO III	73
3 ENSAMBLAJE, Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	73
3.1 ENSAMBLAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO	73
3.1.1 ACCESORIOS UTILIZADOS EN EL ENSAMBLAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO (VER TABLA 12)	73
3.1.2 ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN (VER TABLA 13)	73
3.1.3 ENSAMBLAJE DE LA LÍNEA DE SUCCIÓN	74
3.1.4 ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA LÍNEA DE DESCARGA TANQUE PORTA PROBETAS Y TANQUE AUXILIAR (VER TABLA 14).....	74
3.1.5 ENSAMBLAJE DE LÍNEA DE DESCARGA TANQUE PORTA PROBETAS Y TANQUE AUXILIAR	75
3.1.6 MÁQUINA JOMINY ENSAMBLADA (VER FIGURA 46).....	77
3.2 SISTEMA ELÉCTRICO	77
3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.....	78
3.3 PUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	78
3.4 PRUEBAS DEL ENSAYO JOMINY CON VALIDACION DE RESULTADOS	79
3.4.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL EQUIPO CONSTRUIDO	80
3.4.2 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS OBTENIDAS	83
3.4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	84
3.5 PROPUESTA DE PRACTICAS DE LABORATORIO	85
3.6 MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.....	89
3.6.1 ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD	90
3.6.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.....	92
3.6.3 OPERACIÓN DEL EQUIPO	92
3.6.4 FALLAS FRECUENTES DEL EQUIPO	92
CAPÍTULO IV	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES	94

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	95
LINKOGRAFÍA	96
ANEXOS.....	97
ANEXO A.....	98
ANEXO B.....	122
ANEXO C	127
ANEXO D	128
ANEXO E.....	131
ANEXO F.....	137
ANEXO G	138
ANEXO H	147
ANEXO I.....	149
ANEXO J.....	154
PLANOS	160

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Representación de un Tratamiento Térmico.....	1
FIGURA 2: Diagrama Hierro-Carbono del acero.....	3
FIGURA 3: Micro estructura martensítica en partículas de acero de 119 μm enfriada muy rápidamente.....	4
FIGURA 4: Efecto de la temperatura de temple sobre un acero al carbono.....	7
FIGURA 5: Curva típica de enfriamiento para un cilindro pequeño de acero templado en agua fría.....	8
FIGURA 6: Diagrama tiempo-temperatura-transformación (TTT) de un acero al carbono.....	10
FIGURA 7: Representación esquemática del porcentaje de martensita formada como función de la temperatura.....	11
FIGURA 8: 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 e de media, el C es de alta templabilidad.....	15
FIGURA 9: Probetas templadas, seccionadas atacadas con reactivo ácido.....	16
FIGURA 10: Variación de la dureza según un diámetro de un acero de forma circular de 70 mm templado-templado en agua-templado en aceite (acero semiduro).....	17
FIGURA 11: Curvas “U” de dos barras de diámetro 19 y 25 mm, de acero 0.45%C templado en agua.....	18
FIGURA 12: Probeta Jominy ASTM A255.....	19
FIGURA 13: Protecciones en el calentamiento de la probeta Jominy, para oxidación y descarbonación.....	20
FIGURA 14: Dispositivo de temple.....	20
FIGURA 15: Probeta Jominy normal.....	21
FIGURA 16: Curva de Jominy para un acero.....	22
FIGURA 17: Curva Jominy y durezas correspondientes a distintas velocidades de enfriamiento sobre la probeta y su ubicación con relación a la curva de enfriamiento continuo.....	23
FIGURA 18: Bandas de templabilidad de los aceros. 1) $C = 0.17 - 0.24, Mn = 1.5 - 2, Si = 0.20 - 0.35$ 2) $C = 0.27 - 0.34, Mn = 1.5 - 2, Si = 0.20 - 0.35$	24
FIGURA 19: Efecto del contenido de carbono sobre las curvas de Jominy. Acero: $C = \%$; $Mn = 0.7\%$; $Ni = 1.8\%$; $Mo = 0.5\%$	25

FIGURA 20: Dureza obtenida después del temple sobre los aceros al carbono y aleados. La curva superior corresponde sensiblemente a la dureza lograda a 1mm de la extremidad de la probeta Jominy.	26
FIGURA 21: Amplitud a temple de un acero e influencia ejercida sobre ella por la dimensión del grano austenítico (Bain y Daven port).....	27
FIGURA 22: Influencia de la masa en la templabilidad $V1$: Velocidad del núcleo, $V2$: Velocidad periférica.....	28
FIGURA 23: Influencia del tamaño del grano, incrementado por sobreelevación de temperatura.	31
FIGURA 24: Influencia del grosor del grano sobre la penetración a temple de una probeta de 20mm.....	31
FIGURA 25: Curva de Jominy indicando la velocidad de enfriamiento en °C/Seg a 704°C en diferentes puntos de la probeta y los valores de dureza y tensión de rotura correspondiente. ...	33
FIGURA 26: Probeta Jominy	34
FIGURA 27: Horno eléctrico tipo mufla	35
FIGURA 28: Enfriamiento de la probeta	35
FIGURA 29: Enfriamiento de la probeta en el tanque auxiliar.....	36
FIGURA 30: Probeta Jominy mecanizada.....	36
FIGURA 31: Lijado de la probeta.....	37
FIGURA 32: Pulido de la probeta hasta que tome un tono brillante.....	37
FIGURA 33: Durómetro portátil.....	38
FIGURA 34: Máquina Jominy	40
FIGURA 35: Tanque porta probetas.....	41
FIGURA 36: Volumen del Agua tanque porta probetas.	42
FIGURA 37: Soldadura tope o de ranura	44
FIGURA 38: Tanque Alimentador.....	48
FIGURA 39: Tanque auxiliar de enfriamiento.....	52
FIGURA 40: Sistema Hidráulico	55
FIGURA 41: Altura del chorro del fluido	71
FIGURA 42: Línea de succión	74
FIGURA 43: Línea de descarga.....	75

FIGURA 44: Ensamblaje de línea de descarga continuación	76
FIGURA 45: Ensamblaje tapa superior	76
FIGURA 46: Máquina Jominy	77
FIGURA 47: Elementos de calibración de parámetros para el ensayo	79
FIGURA 48: Película de agua en forma de hongo concéntrico.....	80
FIGURA 49: Componentes de la máquina	91

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: Temperatura de temple de aceros al carbono.....	6
TABLA 2: Tiempo total aproximado, requerido para calentar piezas entre 800-850°C en varios tipos de hornos para realizar el temple	8
TABLA 3: Velocidades de enfriamiento para varios medios de temple.....	9
TABLA 4: Influencia de la temperatura de austenización sobre el grosor del grano y la templabilidad.	30
TABLA 5: Severidad del temple (h) de diversos medios de enfriamiento.....	39
TABLA 6: Diámetro y longitud de tubería de succión	61
TABLA 7: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de Succión.	63
TABLA 8: Diámetro y longitud de tubería de descarga del tanque principal	64
TABLA 9: Diámetro y longitud de tubería de descarga tanque auxiliar de enfriamiento	64
TABLA 10: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de descarga tanque porta probetas.....	65
TABLA 11: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de descarga tanque auxiliar de enfriamiento.	66
TABLA 12: Bomba utilizada en la línea de succión	73
TABLA 13: Accesorios utilizados en la línea de succión	73
TABLA 14: Accesorios utilizados en la línea de descarga.....	74
TABLA 15: Comparación de resultados obtenidos	81
TABLA 16: Componentes de la máquina.....	91

RESUMEN

En el proyecto de tesis se presentan los resultados de una investigación realizada para determinar si el diseño y construcción de una máquina para ensayo Jominy garantiza la realización de prácticas de ensayo de tratamientos térmicos específicamente el de templabilidad de los aceros.

La máquina de ensayo Jominy fue construida para realizar el temple de probetas bajo la norma ASTM A255; en su estructura se utilizó materiales como ángulo estructural y plancha de acero ASTM A-36 y plancha de acero inoxidable AISI 305, con lo que se logra obtener una estructura sumamente apropiada para realizar prácticas de ensayo Jominy de templabilidad.

Además los elementos del sistema hidráulico utilizados son tubos en PVC y galvanizados de distintos diámetros y diferentes longitudes, asimismo utilizamos accesorios como: codos, uniones en T, válvulas, neoplos, válvula check y una bomba de $\frac{1}{2}$ Hp de potencia; esto en conjunto se encarga de inyectar el líquido para el ensayo y evacuarlo para su recirculación.

Dentro del sistema eléctrico los materiales utilizados son: disyuntor, contactor con bobina a 120V, relé térmico, temporizador multirango y cable eléctrico AWG número 18; todo esto provee el voltaje, protección de la bomba y el tiempo exacto de duración del ensayo Jominy.

SUMMARY

In the present thesis Project are presented the investigation results to determine if the design and construction of a tasting machine, Jominy guarantees the experiments testing the heat treatments specifically hardenability of steels.

The testing machine Jominy was built in order to perform the mettle of specimens under standard ASTM A255 , it was used materials like angle structural steel and iron ASTM A- 36 and stainless steel plate AISI 305 in its structure, with what is possible to get an extremely appropriate structure for testing practices Jominy of hardenability.

Moreover, the hydraulic system elements used are galvanized PVC pipes of different diameters and different lengths, also it was used accessories like: elbows, T-joints, valves, neplos, check valve and pump $\frac{1}{2}$ hp ; all of them working together are responsible for injecting the liquid for testing and for evacuating to recirculate.

The materials integrated inside the electric system are: contactor coil 120V, thermal relay , timer and power cord multispan number 18 AWG; this provides the voltage, pump protection and the precise time of duration of the Jominy test.

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos térmicos son una alternativa para conseguir variaciones en propiedades mecánicas específicas dependiendo del material, tiempos, temperaturas y tipo de tratamiento térmico.

En la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, en la escuela de Mecatrónica, existe la necesidad de implementar un equipo que facilite realizar prácticas de los conocimientos teóricos obtenidos en las aulas, por lo cual nos enfocamos en el área de tratamientos térmicos, específicamente la templabilidad de los aceros.

El presente proyecto surge de la necesidad de contar con un módulo didáctico que permita realizar ensayos de templabilidad de los aceros.

Para lograr este objetivo se construirá una máquina de ensayo Jominy que nos permite realizar el temple de las probetas, mediante un durómetro medir la dureza y obtener nuestros datos para la elaboración de la curva Jominy de un acero.

Con este fin se utilizó una bomba de rodete periférico de $\frac{1}{2}$ hp y tuberías para transportar el agua durante el proceso de temple. El sistema está diseñado para que el líquido utilizado en el temple este en constante recirculación mediante la duración del ensayo (10 minutos) de temple de las probetas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

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

La carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, implementará equipos e instrumentos de laboratorio para la materia de Ciencia De los Materiales; 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.

El propósito del uso de la máquina propuesta pretende dar un mayor enfoque a la materia de Ciencia 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 determinando su dureza.

Por lo cual esta investigación se propone el siguiente Objetivo General:

- Construir la máquina de ensayo Jominy para medir la dureza en los aceros sometidos a templabilidad.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se propone los siguientes Objetivos Específicos

- Aplicar la norma American Society for Testing and Materials (ASTM) "A255" de Ensayo Jominy.
- Determinar los parámetros necesarios para la construcción de la máquina de Ensayo Jominy.
- Evaluar y comprobar el correcto funcionamiento de la máquina de Ensayo Jominy construida.

- Comprobar la veracidad de los ensayos de templabilidad en los aceros.
- Elaborar un manual de usuario y de prácticas de laboratorio.

ALCANCE

La construcción de una máquina para ensayo Jominy se realizará de la siguiente manera:

1. La estructura de la máquina se elaborará de Acero ASTM A-36.
2. El tanque porta probetas se elaborará en plancha de Acero.
3. La boquilla de descarga será de cobre y se garantizará una salida uniforme y homogénea del fluido al momento del ensayo.
4. La porta probetas se elaborará de hierro fundido.
5. El material para la línea de succión y a línea de descarga será galvanizado y PVC.
6. Las probetas serán fabricadas de acero apto para temple.
7. Se implementara un tanque auxiliar de enfriamiento construido de Acero ASTM A-36.
8. En el sistema hidráulico se utilizara una electrobomba con rodete periférico, además varios accesorios como: Codos de 90°, uniones universales, válvulas, neoplos, uniones, codos de 45°.Se implementara un temporizador automático.
9. La máquina de Ensayo Jominy podrá realizar prácticas de templabilidad en el acero únicamente bajo la norma ASTM "A255".
10. La máquina de Ensayo Jominy será implementada en el laboratorio de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.
11. Se elaborará guías de prácticas de laboratorio.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente en la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica es necesario implementar equipos e instrumentos de laboratorio para las diferentes áreas; por lo cual los docentes de nuestra carrera pensando en el desarrollo de los estudiantes plantearon varios temas de tesis de los cuales se decidió realizar el tema anteriormente descrito.

Este equipo se lo construirá bajo designaciones de las normas para el Ensayo Jominy que permita obtener una máquina eficiente y capaz para evaluar y comprobar el comportamiento de los aceros sometidos al temple.

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.

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra las generalidades de los tratamientos térmicos de los aceros, presentando y detallando la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, estudiando los tratamientos térmicos existentes para los aceros teniendo en cuenta las instrucciones necesarias e idóneas para que el ensayo sea fiable.

1.1 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

Es una combinación de operaciones de calentamiento y enfriado necesarias para modificar la estructura cristalina de un acero, con el objetivo de otorgarle determinadas características y propiedades mecánicas o tecnológicas deseadas (ver figura 1). (Lucchesi, 1973, p. 9)

Según la figura un tratamiento térmico consiste en:

1. Calentamiento hasta una temperatura determinada.
2. La permanencia a dicha temperatura.
3. El enfriamiento hasta una temperatura ambiente en un medio determinado.

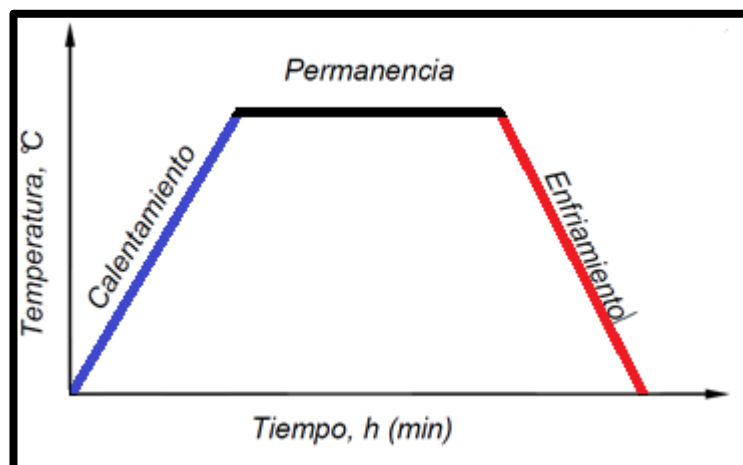


FIGURA 1: Representación de un Tratamiento Térmico.

1.1.1 PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Los parámetros que se deben controlar en todo tratamiento térmico del acero son:

- **La velocidad de calentamiento**, debe ser moderada, sobre todo si la pieza a tratar no es de espesor uniforme, para evitar desniveles térmicos, origen de peligrosas tensiones internas. (Lucchesi, 1973)
- **Temperatura de calentamiento**, para conseguir un buen temple es necesario calentar el acero, y mantenerlo durante un cierto tiempo, a una temperatura tal que provoque la austenización completa de la estructura. En consecuencia la temperatura de calentamiento depende del contenido de carbono: (Lucchesi, 1973).
- Para los aceros hipoeutectoides, es decir los aceros que según el diagrama hierro-carbono tienen un contenido en carbono inferior al 0,77 %, la temperatura es superior al punto crítico A_{c3} .
- Para los aceros hipereutectoides, es decir aquellos aceros que en su composición y de acuerdo con el diagrama hierro-carbono tienen un porcentaje de carbono entre el 0,77% y el 2%, la temperatura es superior al punto crítico A_{c1} .
- **Duración del calentamiento**, basándose en datos experimentales, se puede admitir que la duración del calentamiento ha de ser directamente proporcional al cuadrado del diámetro del espesor, o de la dimensión transversal media. (Lucchesi, 1973)
- **Velocidad de enfriamiento**, cuando el acero se enfría a velocidad superior a la crítica, la transformación de austenita en martensita es casi total y, por lo tanto, se alcanza la máxima dureza. (Lucchesi, 1973)

Para determinar estos parámetros se utiliza el diagrama Hierro-Carbono (Fe-C) de los aceros (ver figura 2).

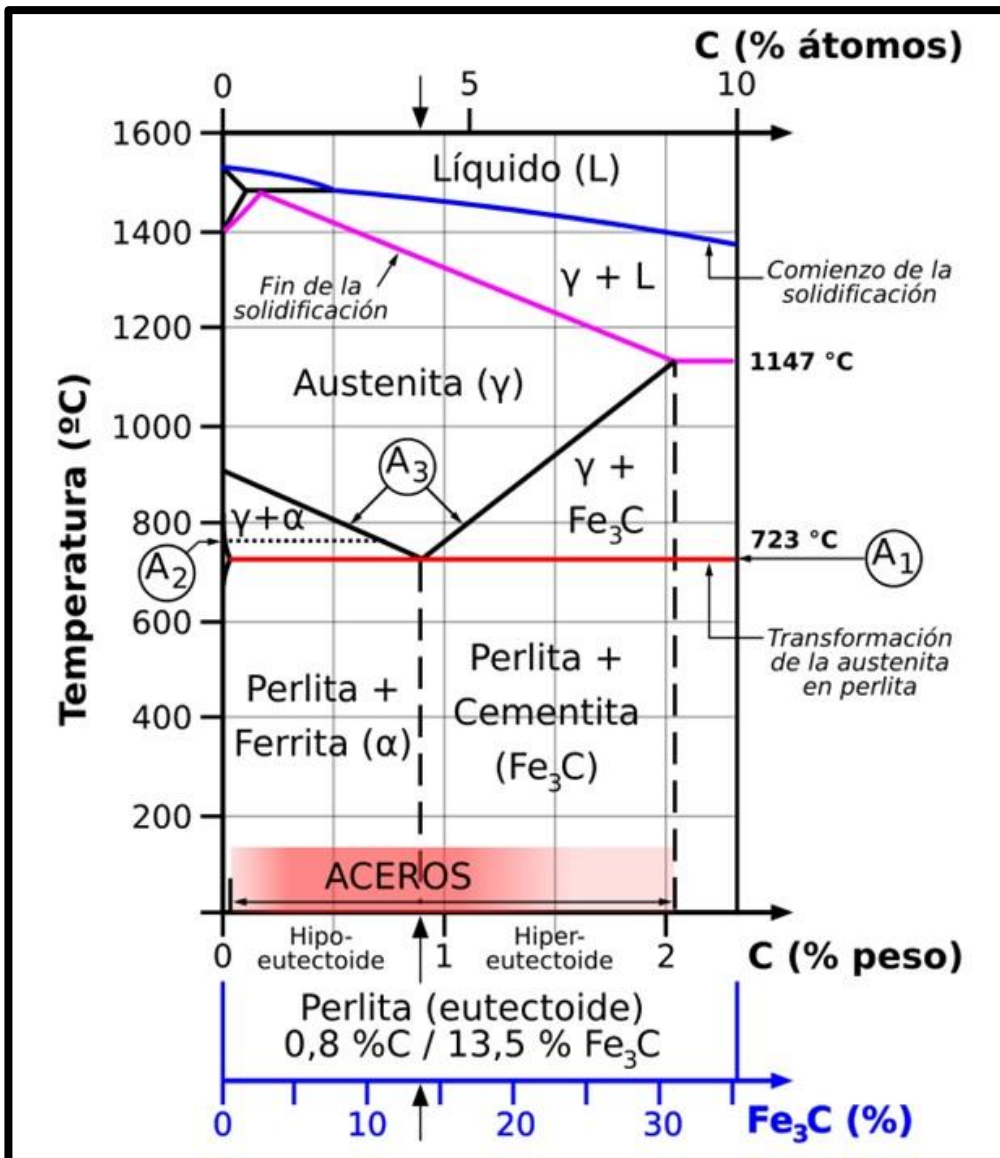


FIGURA 2: Diagrama Hierro-Carbono del acero
Fuente: (<http://enciclopedia.us.es/index.php/Acero>)

1.1.2 PRINCIPALES TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los principales tratamientos térmicos aplicables al acero son:

1. Temple
2. Revenido
3. Recocido
4. Normalizado

1.2 DEFINICIÓN DE TEMPLE

El temple es un tratamiento térmico que consiste en el calentamiento del acero, a una temperatura generalmente por encima del punto crítico superior y luego enfriarlo bruscamente en un medio líquido o gaseoso y a veces por contacto con un sólido. (Sturla, 2002, pág. 1)

1.2.1 OBJETIVO DEL TEMPLE

Según (Sturla, 2002), con el temple se persiguen distintos objetivos entre los cuales se encuentra obtener una estructura martensítica (ver figura 3) es decir, lograr la máxima dureza que modifica las distintas propiedades del acero de las siguientes formas:

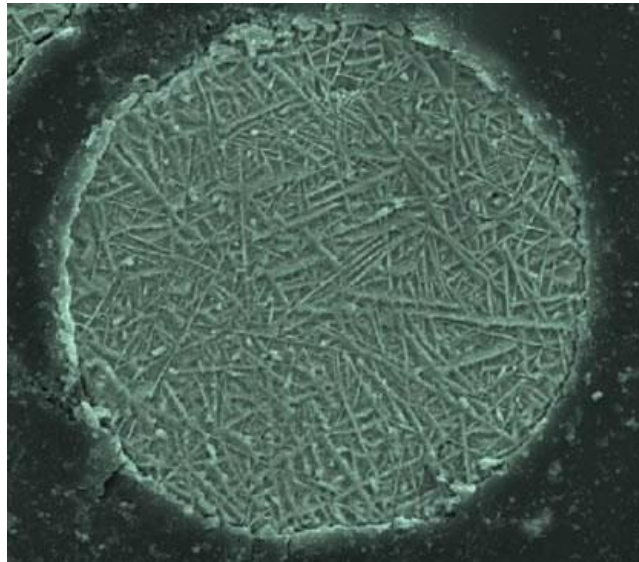


FIGURA 3: Micro estructura martensítica en partículas de acero de 119 μm enfriada muy rápidamente

Fuente: (<http://www.textoscientificos.com/quimica/acero>)

a) Propiedades Físicas

- Los aceros y hierros fundidos templados, aumentan de volumen y disminuyen su densidad por acción de dicho tratamiento, aumentando la resistencia eléctrica, por lo contrario la intensidad magnética y la sonoridad del acero disminuye.

b) Propiedades Mecánicas

Aumentan la tensión de rotura por tracción, el límite elástico y la dureza y disminuye el alargamiento, la estricción (adelgazamiento limitado a un área e una barra metálica sometida a grandes esfuerzos de tracción, justo antes de romperse en ese punto si se hubiera continuado estirándola) y la resistencia.

La probeta de acero al templearla, se hace más resistente y dura, pero más frágil y disminuye la ductilidad.

c) Propiedades Químicas

Aumenta la resistencia del ataque químico de ciertos ácidos con respecto al que poseen en estado recocido.

d) Físico-Químico

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

e) Tratamiento heterogéneo

El temple puede tener entre otros por finalidad principal, producir la máxima dureza en un acero o en un hierro fundido, propiedades que suele obtenerse para afectar solamente a la periferia, superficialmente o a determinada zona e integralmente, a toda la masa metálica.

1.2.2 FACTORES DEL TEMPLE

Según (Sturla, 2002), los factores que tienen relación directa con el temple son:

a) Composición y estado estructural del acero antes del temple

En igualdad de condiciones los productos siderúrgicos sufren, de acuerdo con su composición química, distintas modificaciones por temple. Los elementos que intervienen en la constitución del acero actúan de diferente forma sobre la velocidad de enfriamiento.

b) Temperatura del temple

Se debe calentar el material a una temperatura de (30 a 50) °C por encima del intervalo crítico para formar austenita. Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. De acuerdo al tipo de tratamiento térmico que se va a realizar al acero y a su contenido de carbono se establecerán estas temperaturas de calentamiento con la ayuda del diagrama Hierro-Carbono

En la tabla 1 se indican los valores más convenientes de temperatura, para el temple de aceros al carbono

TABLA 1: Temperatura de temple de aceros al carbono

°C	Temperatura °C
0,1	925
0,2	900
0,3	870
0,4	840
0,5	830
0,6	810
0,7	780
0,8	770
0,9	770
1	760
1,1	760
1,2	760
1,3	760
1,4	760

Fuente: (Sturla, 2002, pág. 61)

c) Tiempo de calentamiento.

Una vez que el acero ha alcanzado la temperatura conveniente debe permanecer esta temperatura una hora por cada pulgada de espesor o diámetro, si son probetas de una pulgada de diámetro entonces debe permanecer una hora a dicha temperatura.

El calentamiento de una pieza no se realiza de manera uniforme, las superficies externas alcanzan mayores temperaturas, esto implica que se debe esperar un determinado tiempo para que la temperatura de calentamiento sea uniforme en toda pieza, y se produzca la transformación de la perlita en austenita, tanto en el centro, como en la superficie de la pieza.

Es necesario que la permanencia a temperatura no sea excesiva, para evitar el engrosamiento del grano y la descarburación superficial, el sobrecalentamiento produce una martensita de agujas más grandes y una reducción de la proporción de carburos libres (ver figura 4).

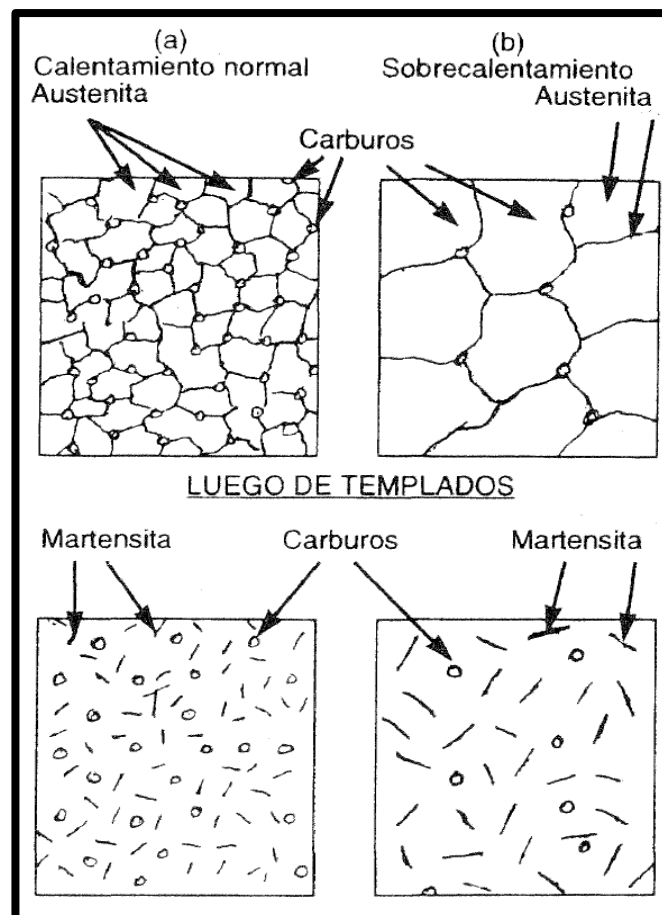


FIGURA 4: Efecto de la temperatura de temple sobre un acero al carbono

Fuente: (Sturla, 2002, pág. 63)

El tiempo total de calentamiento en varios tipos de hornos, para obtener la concentración requerida del carbono y de los elementos de aleación de la austenita se observan en la tabla 2.

TABLA 2: Tiempo total aproximado, requerido para calentar piezas entre 800-850°C en varios tipos de hornos para realizar el temple

Tipos de horno	Tiempo de calentamiento, t(minutos) , por milímetro de la sección o espesor de la pieza		
	Redonda	Cuadrada	Rectangular
Horno eléctrico	40 a 50	50 a 60	60 a 75
Calentamiento interno con llama	35 a 40	45 a 50	55 a 60
Baño de sales	12 a 15	15 a 18	18 a 22
Baño de plomo	6 a 8	8 a 10	10 a 12

Fuente: (Sturla, 2002, pág. 64)

d) 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). Si la rapidez de enfriamiento real excede a la rapidez crítica de enfriamiento, solo se obtendrá martensita; si la rapidez de enfriamiento real es menor que la rapidez crítica de enfriamiento, la pieza no endurecerá completamente. El rango de temperatura T_{Ms} (temperatura de inicio) hasta T_{Mf} (temperatura final) es conveniente un enfriamiento lento para disminuir las tensiones internas.

Se distinguen tres etapas durante el enfriamiento:

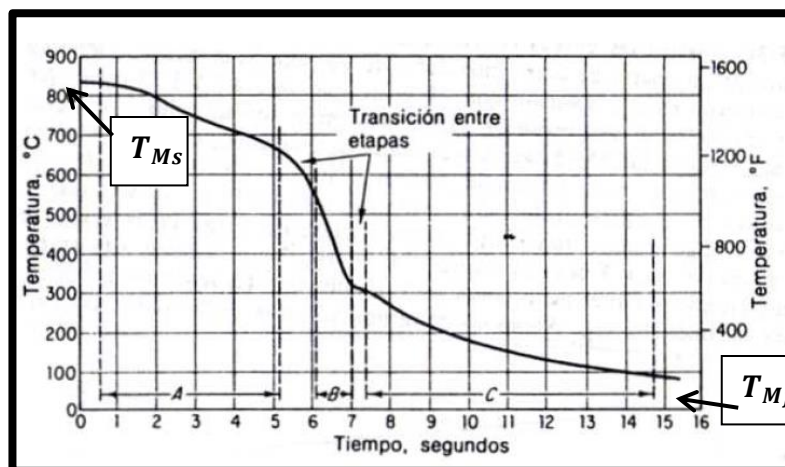


FIGURA 5: Curva típica de enfriamiento para un cilindro pequeño de acero templado en agua fría.

Fuente: (Avner, 1998, pág. 285)

Etapa A: Enfriamiento por medio de una capa de vapor

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. El enfriamiento se efectúa por conducción y radiación a través de la película gaseosa y, como las películas de vapor son pobres conductoras de calor, la rapidez de enfriamiento es relativamente lenta a través de esta etapa.

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. La parte humedecida de la superficie del metal produce una violenta ebullición. El calor se elimina del metal muy rápidamente como calor latente de vaporización. Esta etapa es la más rápida del enfriamiento.

Etapa C: Enfriamiento por medio líquido

La superficie del metal alcanza el punto de ebullición del medio de temple. Ya no se forma más vapor, de modo que el enfriamiento se efectúa por conducción y convección a través del líquido, en la tabla 3 citamos varios medios de temple.

TABLA 3: Velocidades de enfriamiento para varios medios de temple.

MEDIO DE TEMPLE	Velocidades a 704°C (°C/seg)		Velocidades a 649°C (°C/seg)		Velocidades a 676-482°C (°C/seg)	
	24°C	51°C	24°C	51°C	24°C	51°C
Sal muera 10%	212	164,4	212	180	292,1	159
Agua	112	25,5	124	65	122	97,7
Aceite	20	17,8	16,7	14,4	21,6	24,4
Aire en reposo	2,8	-	2,2	-	1,6	-

Fuente: (Avner, 1998)

1.3 TRANSFORMACIÓN DE LA MARTENSITA

Según (Sturla, 2002), la martensita se obtiene durante el enfriamiento y cesa si este se interrumpe; por tanto, la transformación depende solo de la disminución en temperatura y es independiente del tiempo. La cantidad de martensita formada con la disminución de temperatura es no lineal (ver figura 6). El número de agujas de la martensita (ver figura 3) producidas al principio es pequeño, después aumenta y finalmente disminuye (Ver figura 7).

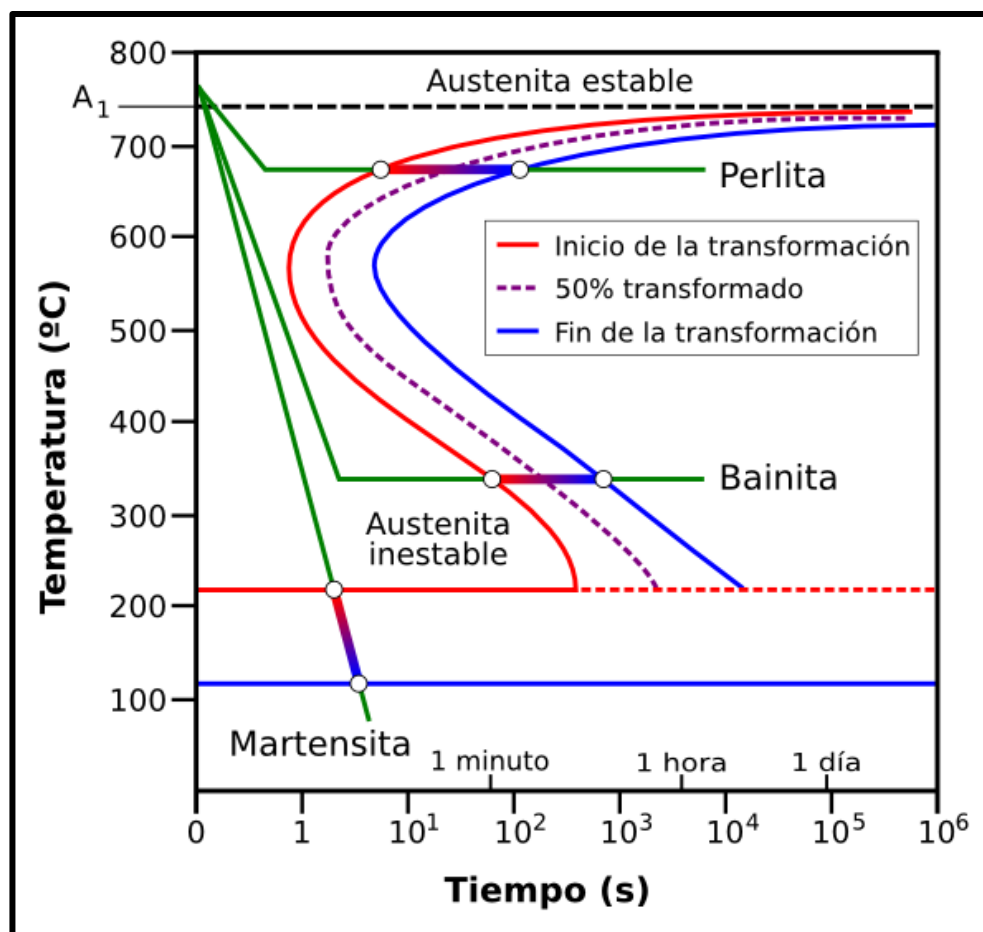


FIGURA 6: Diagrama tiempo-temperatura-transformación (TTT) de un acero al carbono.

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

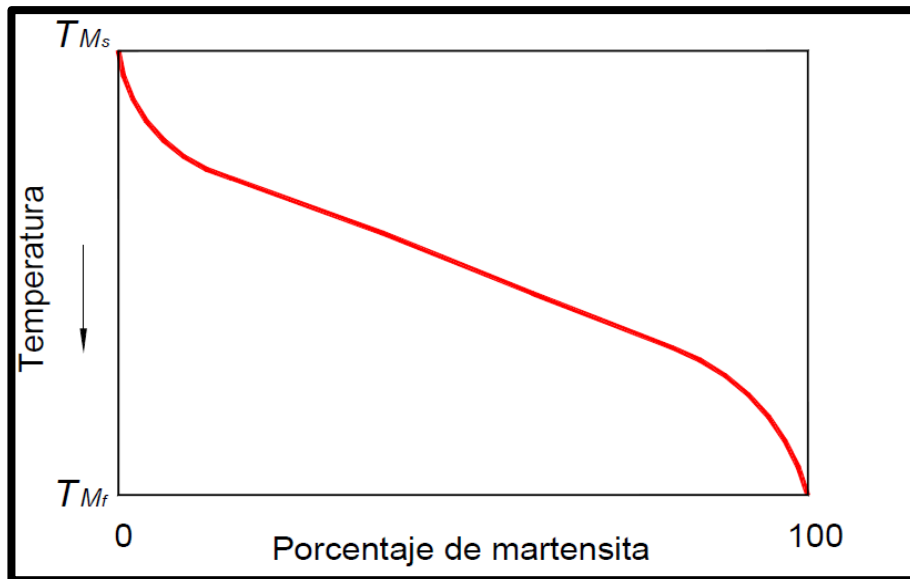


FIGURA 7: Representación esquemática del porcentaje de martensita formada como función de la temperatura.

La temperatura de inicio de la transformación de la martensita se conoce como temperatura T_{Ms} y la del final de transformación de la martensita como temperatura T_{Mf} . Si el acero se mantiene a cualquier temperatura por debajo de la T_{Ms} , la transformación de la martensita se detendrá y no avanzará nuevamente, a menos que la temperatura disminuya.

La propiedad más significativa de la martensita es su alta dureza. Aunque la martensita es siempre más dura que la austenita de la cual se forma, sólo es posible obtener durezas extremas en aceros que contienen suficiente carbono, la dureza de la martensita fluctúa entre 60-65 HRC.

1.4 FASES DEL TEMPLE

Según (Sturla, 2002), el proceso de realización del temple comprende dos fases, de la siguiente forma:

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

➤ **Calentamiento**

Para obtener el estado austenítico, necesario e imprescindible para practicar el temple, en la etapa de calentamiento la transformación de los distintos constituyentes estructurales, comienza a temperaturas cada vez más elevadas, a medida que aumenta la velocidad de calentamiento.

Calentamientos más rápidos producen un moderado aumento de la temperatura a la que se solubilizan los distintos componentes estructurales (temple superficial selectivo, por inducción eléctrica). Los aceros de mayor contenido de carbono y aleados, requieren una velocidad de calentamiento menor (por ser de menor conductividad térmica). El calentamiento debe ser rápido, para lograr mayor rendimiento del horno, menor consumo de energía, reducir la oxidación y descarburación y reducir los tiempos del tratamiento.

➤ **Enfriamiento**

En el temple, de los aceros al carbono, la totalidad de la masa metálica debe encontrarse formando el estado austenítico homogéneo y uniforme, en el momento de comenzar el enfriamiento rápido. El metal, luego de un tiempo adquiere gran dureza.

El temple puede realizarse de dos formas:

1. Con enfriamiento continuo tomando como parámetros la temperatura de calentamiento y la velocidad de enfriamiento (estado austenítico) hasta la correspondiente a la temperatura ambiente.
2. Realizando la descomposición de la austenita fuera de equilibrio en función del tiempo, a distintas temperaturas por debajo de A_{c1} (ver figura 2).

1.5 DEFINICIÓN DE TEMPLABILIDAD

Según (Sturla, 2002), la templabilidad, es la capacidad o aptitud que tiene un producto siderúrgico de endurecerse en profundidad. Propiedad que determina la profundidad y distribución de la dureza producida por temple, o sea, la facilidad para formar martensita a una mayor profundidad.

1.5.1 GENERALIDADES DE LA TEMPLABILIDAD

Desde el punto de vista científico, en el temple uno de los fenómenos que ocurre es la descomposición de la austenita y puede ser representado mediante un gráfico de las curvas características del temple, partiendo 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.

Desde otro punto de vista, las curvas obtenidas para un tipo de acero, son válidas exclusivamente para el mismo y no pueden hacerse extensivas a otros muy similares, dada la dependencia que en ellos tienen las condiciones de fabricación, sobre todo la elaboración, de la colada y presencia de elementos residuales.

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 fundamentalmente del contenido de carbono que se encuentran en solución sólida sobresaturada, en la martensita, cuya dureza a partir de 0.60% de carbono se mantiene prácticamente constante.
- Los elementos de aleación en el acero con cierto contenido de carbono, permiten obtener una máxima dureza, una mayor profundidad de temple y mayor templabilidad mediante menor temperatura de austenización (con lo cual se elimina el riesgo de sobrecalentamiento), 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 más conductibilidad) se obtiene si se transforma el metal completamente a martensita durante el tratamiento térmico del temple.

No debe confundirse el concepto de dureza con el de templabilidad; ya que para este, implica definir que es el valor máximo de la resistencia a la penetración que adquiere un producto siderúrgico como consecuencia del temple. (Sturla, 2002, págs. 92-95)

1.5.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPLABILIDAD

En la determinación de la aparición de la martensita, se deben en general tener en cuenta las siguientes variables:

- Variedad de temperaturas, con condiciones de enfriamiento exterior semejantes.
- Variedad de velocidades de enfriamiento, con una misma temperatura de calentamiento.
- En fin, se pueden combinar las dos, es decir examinar una gama de velocidades obtenidas a partir de una serie de temperaturas escalonadas.

De una manera general la determinación de la templabilidad de un producto siderúrgico puede realizarse por medio de varios métodos: (Sturla, 2002, p. 99).

1.5.2.1 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 o con arranque (deformación ante de rotura) caracteriza los estados no templados con la presencia de los constituyentes: 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 8, 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. (Sturla, 2002, pág. 99),

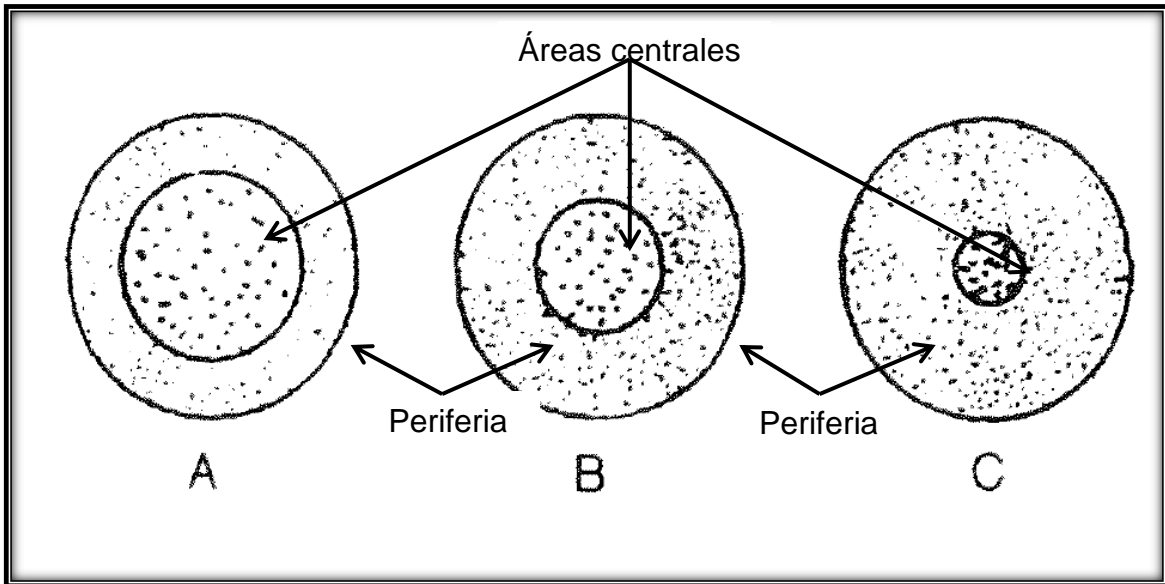


FIGURA 8: Determinación de la templabilidad por examen de la fractura de probetas templadas. Las áreas centrales de grano gruesa indican que no han sido templadas. El acero A es de baja templabilidad, el B e de media, el C es de alta templabilidad.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 99)

1.5.2.2 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, que colorea las zonas no templadas.

Aclarando lo dicho, el ataque químico se traduce sobre la sección pulida, en zonas de distinta coloración; las dos barras (ver figura 9), de menor diámetro han quedado de un solo color como consecuencia de haber templado toda la sección, mientras que las mayores causan dos zonas bien definidas: una banda periférica clara (parte templada) y el centro una coloración más oscura.

- c) Ataque por oxidación, obtenida en 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).

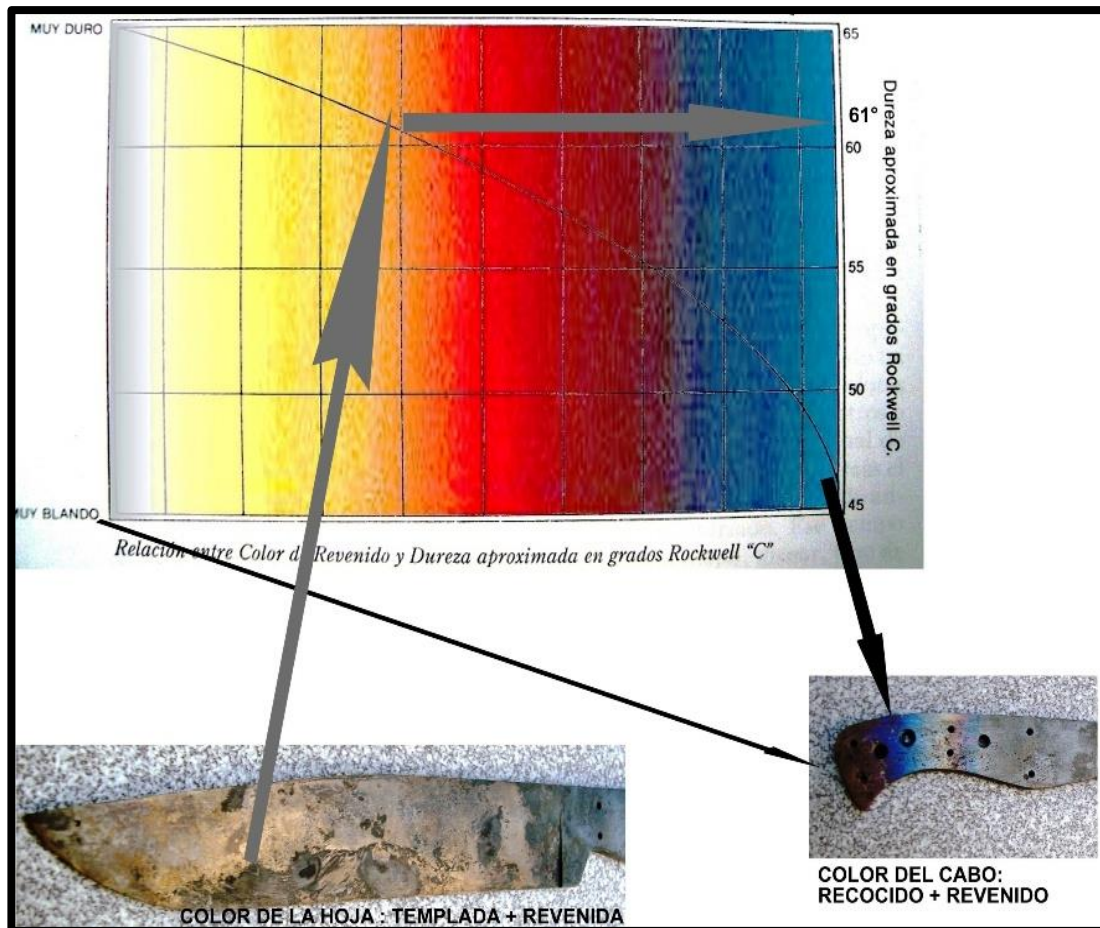


FIGURA 9: Probetas templadas, seccionadas atacadas con reactivo ácido

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

1.5.2.3 CURVAS DE DUREZA UTILIZANDO DISCOS DE ACERO

- a) Mediante el uso de cilindros de acero, bastante largos con respecto al diámetro ($R \geq 5$ diámetros) para evitar la influencia refrigerante de las extremidades, se puede medir la penetración del temple.
- b) Se calienta el conjunto a temperatura adecuada para el temple y se enfría en agua o aceite según la velocidad de enfriamiento adoptada para el acero que se está estudiando. En la figura 10, se han trazado las curvas de variación diametral de la distribución de la dureza, para dos medios de enfriamientos distintos.

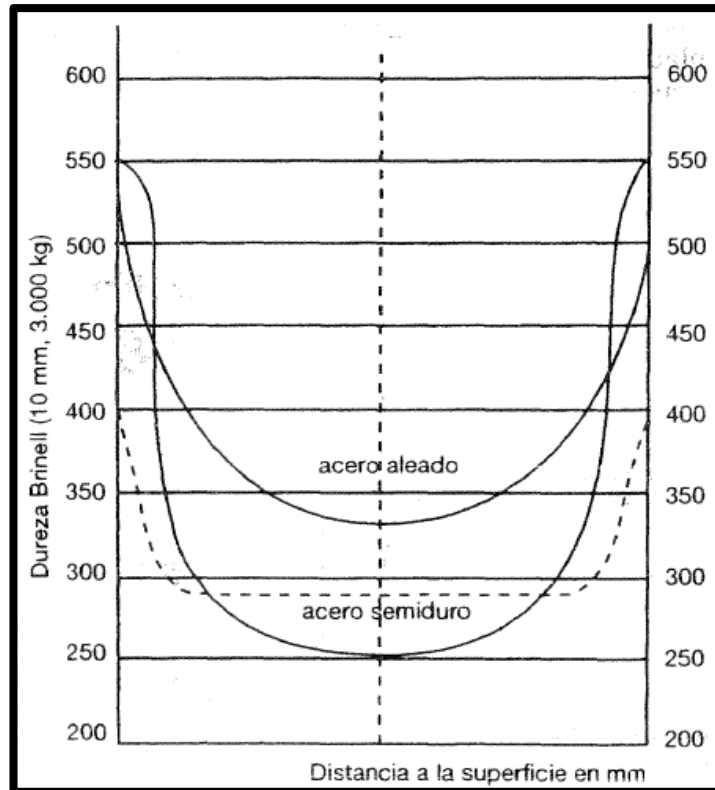


FIGURA 10: Variación de la dureza según un diámetro de un acero de forma circular de 70 mm templado-templado en agua-templado en aceite (acero semiduro)

Fuente: (Sturla, 2002, p. 100)

1.5.2.4 PENETRACIÓN DE TEMPLE SOBRE ACEROS DE FORMA CIRCULAR DE DIFERENTES DIÁMETROS CURVA U

- a) El método consiste en tomar varias barras cilíndricas, de distintos diámetros, de acero laminado y de igual composición. Se tornean hasta medidas determinadas y luego de austenizadas a la misma temperatura se templan en agua, dado que en este caso (ver figura 11), se trata de un acero al carbono con 0.45%.
- b) Se cortan en forma transversal en la parte central de la barra (equidistantes de los extremos), se aplanan y pulen; luego se atacan con nital, pudiendo apreciarse luego del ataque químico, (ver figura 9), que las probetas 1 y 2 tienen la misma coloración en toda su sección, lo que implica decir que han endurecido totalmente, mientras que a partir de la probeta 3, a medida que el diámetro aumenta se aprecia una región clara en forma de anillo y su espesor va creciendo, lo que implica decir que no han endurecido en su totalidad.

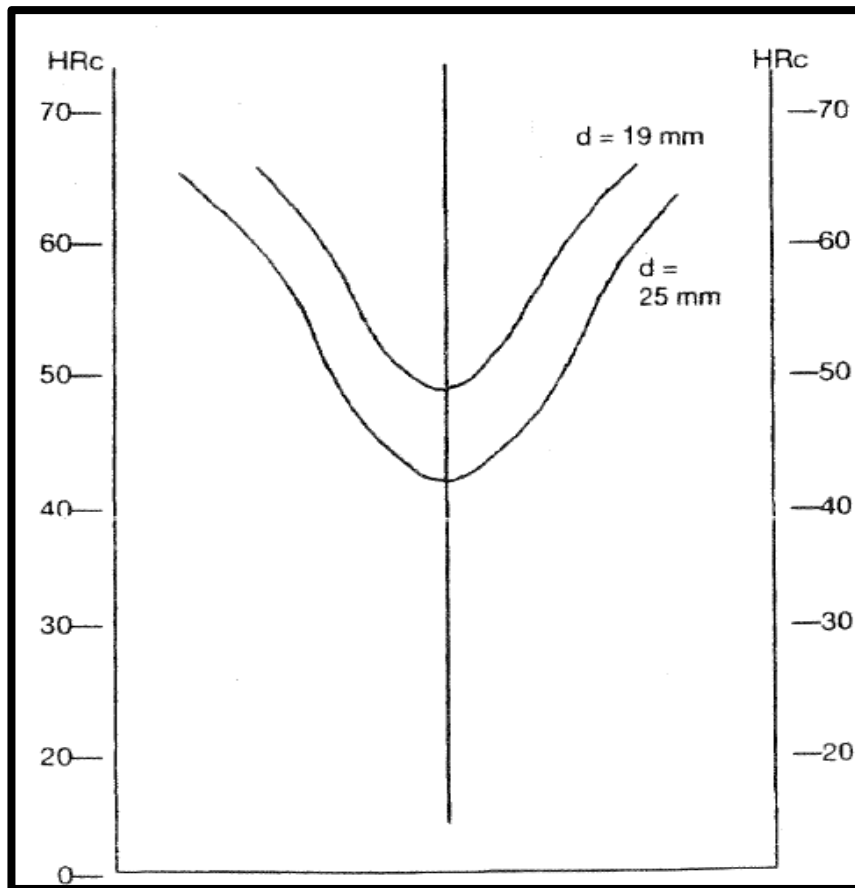


FIGURA 11: Curvas “U” de dos barras de diámetro 19 y 25 mm, de acero 0.45%C templado en agua

Fuente: (Sturla, 2002, p. 101)

- c) Se determina la dureza en la sección transversal de cada probeta y se construyen las curvas “U”, que de acuerdo con lo señalado en la figura 11, indica la distribución de la dureza acorde con la templabilidad.
- d) El mismo ensayo podría repetirse enfriando en aceite; los valores de penetración de temple serían menos pronunciados; como consecuencia de ser menos eficaz el medio de enfriamiento. (Sturla, 2002, pp. 101-102)

1.5.2.5 ENSAYO JOMINY

El ensayo Jominy consiste en templar una probeta cilíndrica de las dimensiones y formas indicadas en la figura 12, por medio de un chorro de agua que enfría solamente la cara de la base inferior. La probeta debe de obtenerse de una barra de acero forjada de más de 28 mm de diámetro, para que por mecanizado puedan eliminarse las zonas oxidadas y descarbonadas.

Previo al mecanizado el material tiene que ser normalizado, a una temperatura de $Ac_3 + 80^{\circ}C$ (ver figura 2). Si después de normalizado, el acero adquiere mucha dureza, se puede practicar un revenido a aproximadamente $55^{\circ}C$ por debajo de Ac_1 (ver figura 2), para facilitar el mecanizado. (Sturla, 2002, pp. 101-102)

Donde:

- Ac_1 : Temperatura del punto crítico inferior al calentamiento
- Ac_3 : Temperatura del punto crítico superior al calentamiento.(ver figura 2)

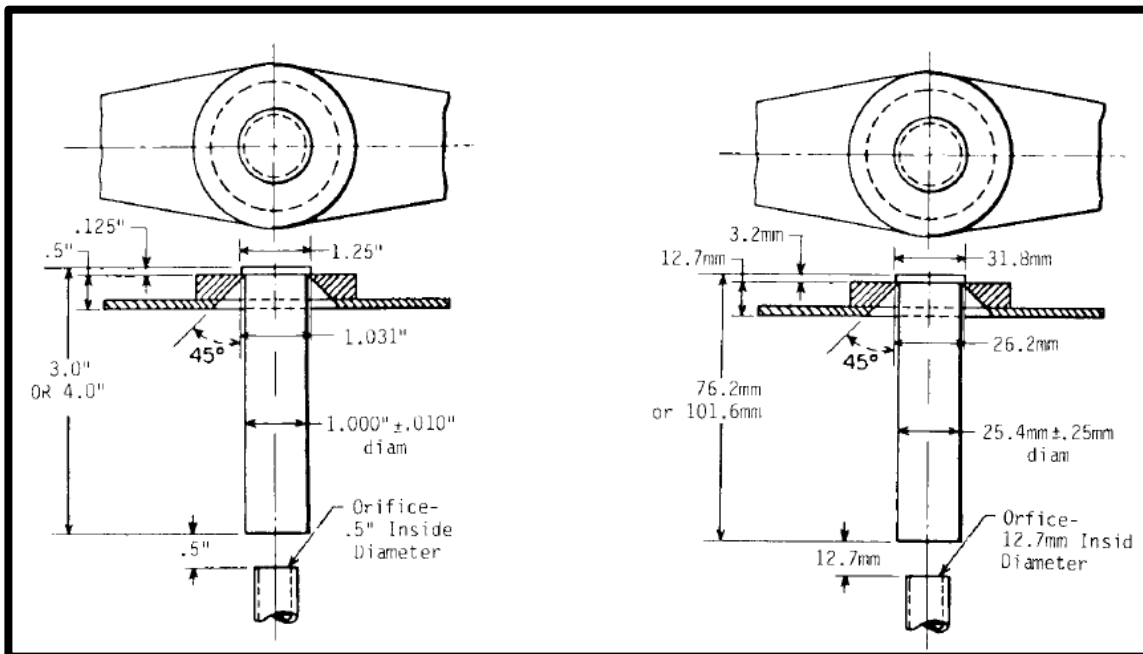


FIGURA 12: Probeta Jominy ASTM A255

Fuente: Norma ASTM A255

Mecanizada la probeta se la calienta para el temple, a una temperatura de $AC_3 + 50^{\circ}C$, protegiendo todo el frente a templar de posibles descarbonaciones u oxidaciones rodeándola en una caja con viruta de fundición o aplicando una cubierta o cápsula de grafito adaptada al extremo. (Figura 13.) (Sturla, 2002, pág. 103)

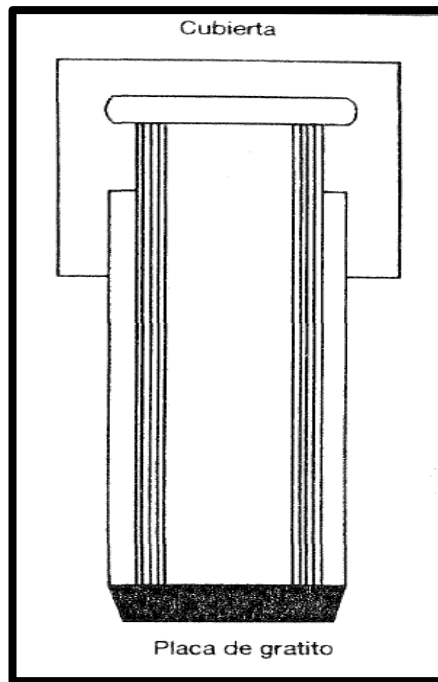


FIGURA 13: Protecciones en el calentamiento de la probeta Jominy, para oxidación y descarbonación.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 103)

El acero permanece a la temperatura de austenización durante 30 minutos. La probeta caliente se coloca en un soporte de tal forma que una columna de agua a una temperatura ambiente choca contra el extremo libre. El agua pasa por un orificio de 12,7 mm de diámetro y alcanza una altura de 63.5 mm aproximadamente (ver figura 14), sobre el extremo libre del tubo, el sistema debe estar seco al iniciar el ensayo.

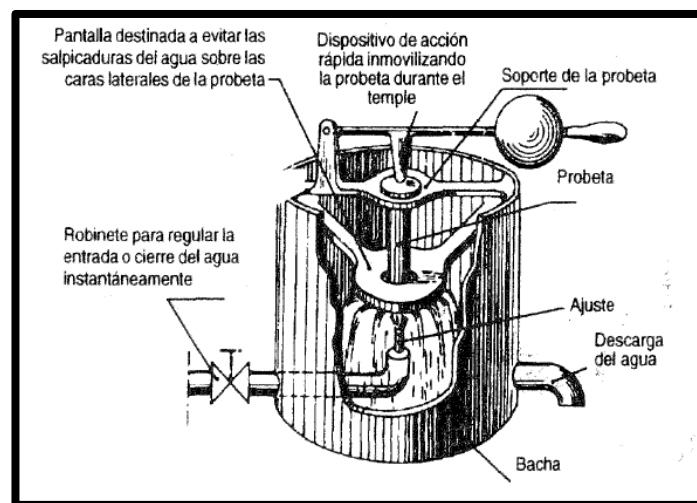


FIGURA 14: Dispositivo de temple.

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 213)

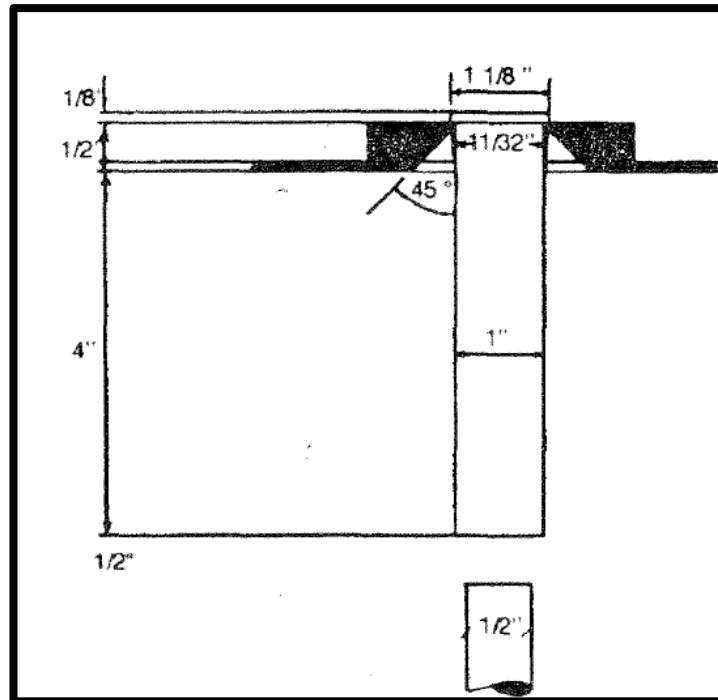


FIGURA 15: Probeta Jominy normal

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 213)

En la figura 15 se observa que en el soporte tiene un chaflán de 45°, cuya finalidad estriba en eliminar la acción refrigerante de las partes frías del metal del apoyo y permitir además una condición de enfriamiento similar a lo largo de toda la probeta.

La regulación del chorro de agua se efectúa con una llave o robinete de apertura rápida.

La probeta austenizada se dispone en el soporte quedando su extremo libre a 12.7 mm del orificio de salida del agua. Inmediatamente de colocada la probeta se acciona la llave o robinete para dar paso al chorro de agua. El tiempo transcurrido desde el retiro de la probeta del horno y el comienzo del temple no debe ser mayor de cinco segundos.

La probeta permanece en el soporte, bajo la acción permanente del chorro de agua, como mínimo diez minutos, y mientras dure el ensayo es necesario mantener la condición de aire calmo en torno a la misma; luego de este tiempo la probeta se puede enfriar completamente en agua, sin temor a introducir variables en el resultado final del ensayo.

Para medir la dureza se forma a lo largo de toda la probeta dos caras planas separadas de 180° y de una profundidad de aproximadamente 0,4 mm. 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.

La probeta así separada se coloca sobre un bloque en V que tendrá un ángulo de 120° y estará con su vértice exactamente debajo de la punta del penetrador de diamante, del equipo de medir la dureza.

Mediante un tornillo micrométrico, se desplaza la probeta horizontalmente y se practican las mediciones de dureza en la primera pulgada cada 1,59 mm. (1/16") y en las dos siguiente a criterio del experimentador, en general cada 1/8".

Con los valores obtenidos se construyen gráfico en papel normal llevando en ordenadas las durezas en Rockwell C y en abscisas las distancias desde el extremo templado (ver figura 16). Las lecturas realizadas a distancias iguales se promedian y los valores obtenidos, se usan en representación gráfica. (Sturla, 2002, pp. 27-28)

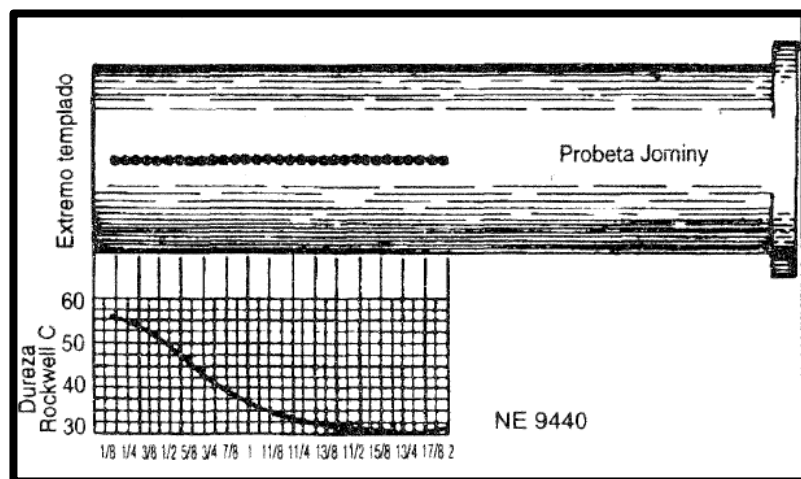


FIGURA 16: Curva de Jominy para un acero.

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 214)

En la figura 17, se ha dibujado una curva obtenida a partir del ensayo Jominy y sobre el diagrama Temperatura, Tiempo, Transformación (TTT), que corresponde con algunos puntos de la probeta, se han trazado distintas curvas de velocidad de enfriamiento en los citados lugares y su ubicación con relación a la curva de enfriamiento continuo.

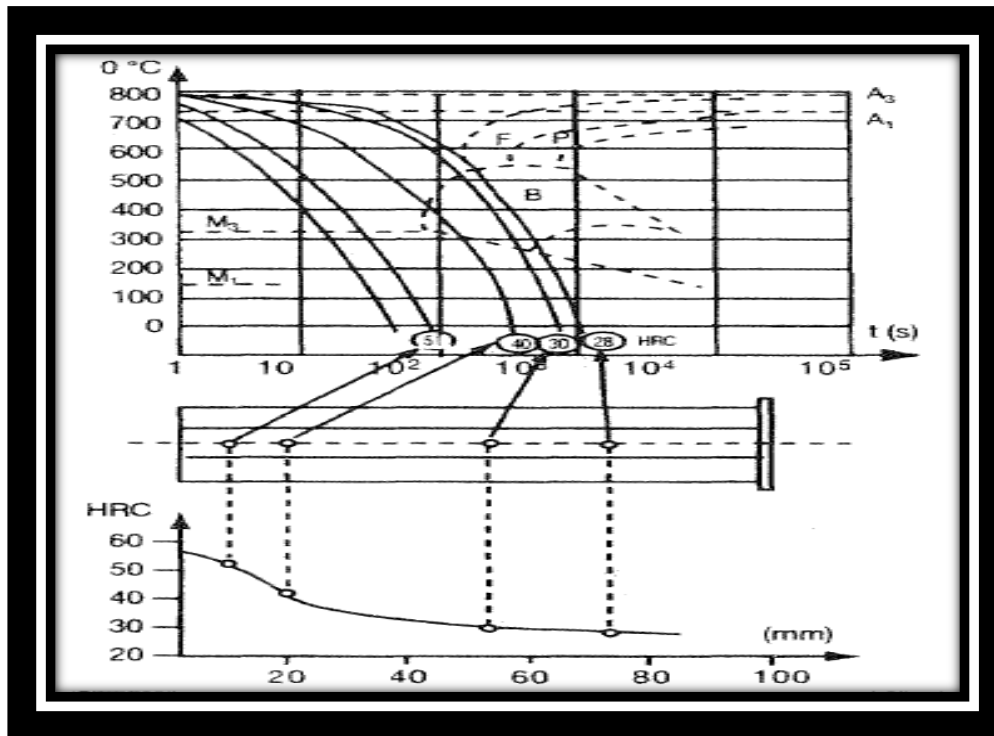


FIGURA 17: Curva Jominy y durezas correspondientes a distintas velocidades de enfriamiento sobre la probeta y su ubicación con relación a la curva de enfriamiento continuo.

Fuente: (Sturla, 2002, pág. 105)

Para aceros de baja templabilidad, cuando la velocidad crítica de temple es superior a 50° C/seg., la velocidad que se obtiene sobre la probeta Jominy es insuficiente, las variaciones de la dureza a lo largo de la probeta solo se nota cada 2 a 3 mm. (Sturla, 2002, pág. 104)

Según los diferentes índices Jominy se interpretan de la siguiente manera:

- J_{25}^{38} Expresa que a 25mm del extremo templado la dureza es de 38 HRc.
- J_{14-20}^{45} Expresa que entre 14 y 20mm. Del extremo templado el valor de la dureza es de 45HRc.
- J_{20}^{42-50} Expresa la distancia de 20mm del extremo templado la dureza esta comprendida entre 42 y 50 HRc.

1.5.2.6 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, con lo que se establecen los límites extremos dentro de los cuales puedan estar comprendidas las curvas Jominy de cada acero.

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 18, las curvas de máxima y mínima templabilidad difieren considerablemente, este hecho se atribuye a que, las distintas coladas de un acero del mismo tipo, presentan diferencias en la 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.

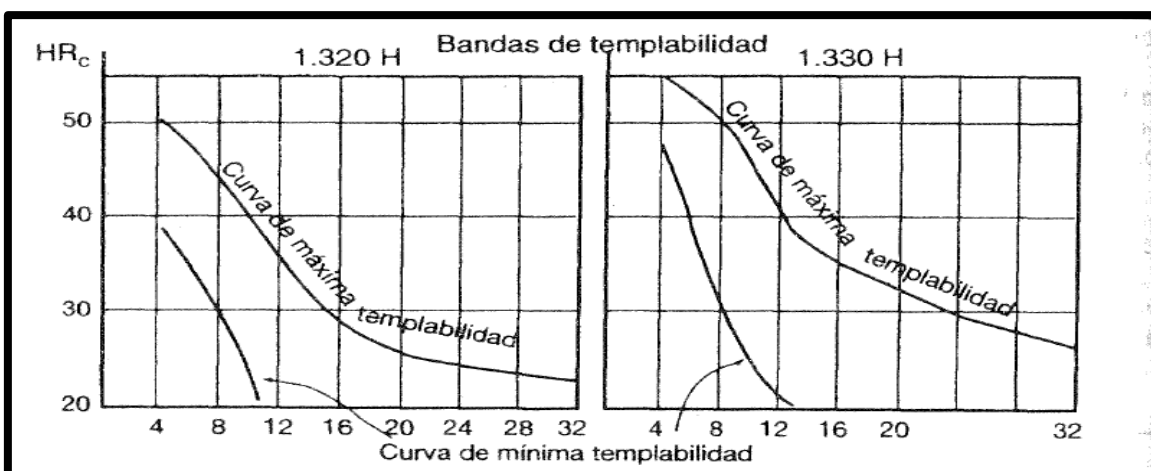


FIGURA 18: Bandas de templabilidad de los aceros. 1) $C = 0.17 - 0.24, Mn = 1.5 - 2, Si = 0.20 - 0.35$ 2) $C = 0.27 - 0.34, Mn = 1.5 - 2, Si = 0.20 - 0.35$

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 217)

1.5.3 FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS

Los principales factores que tienden a poner en peligro los resultados de la templabilidad de los aceros son:

a) Composición química (% de elementos disueltos en la austenita)

Todo elemento químico adicional en el acero, influye sobre su templabilidad. El grado de influencia varía con el elemento en cuestión; de los elementos de aleación comunes añadidos al acero, el único que baja la templabilidad es el cobalto aumentando la velocidad crítica de temple.

La curva Jominy se ve modificada notoriamente en primer término, por el contenido de carbono (Figura 19), vale decir que la penetración de temple así como la dureza del extremo templado aumenta (Figura 20). (Esto responde al hecho de que la martensita es una solución sólida en inserción, cuya distorsión de la red aumenta con la cantidad de carbono inserto en la misma). (Villacis, 2007, pp. 31-32)

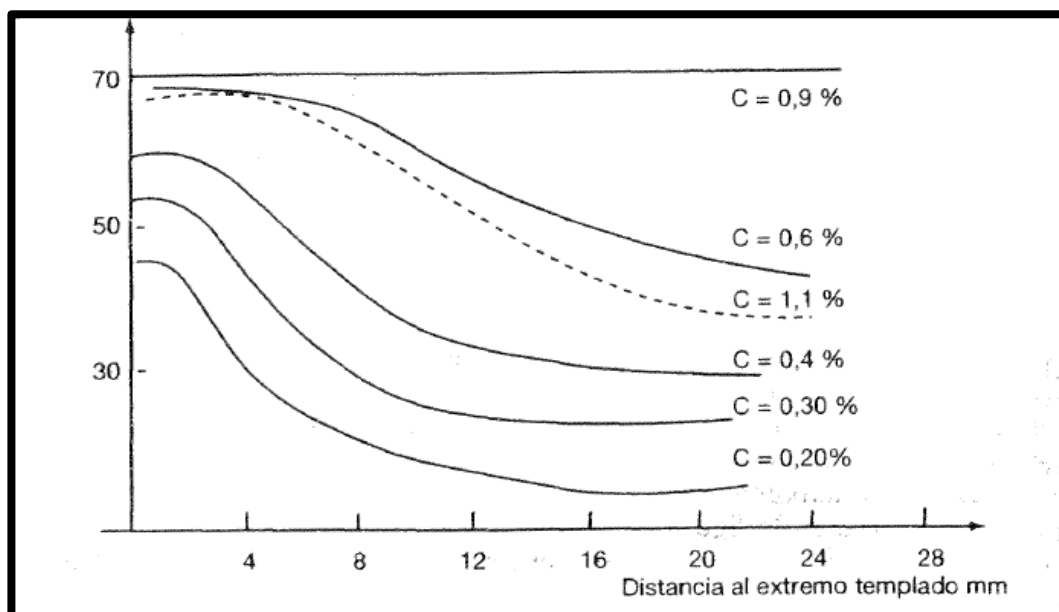


FIGURA 19: Efecto del contenido de carbono sobre las curvas de Jominy. Acero: $C = \%$; $Mn = 0.7\%$; $Ni = 1.8\%$; $Mo = 0.5\%$.

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 216)

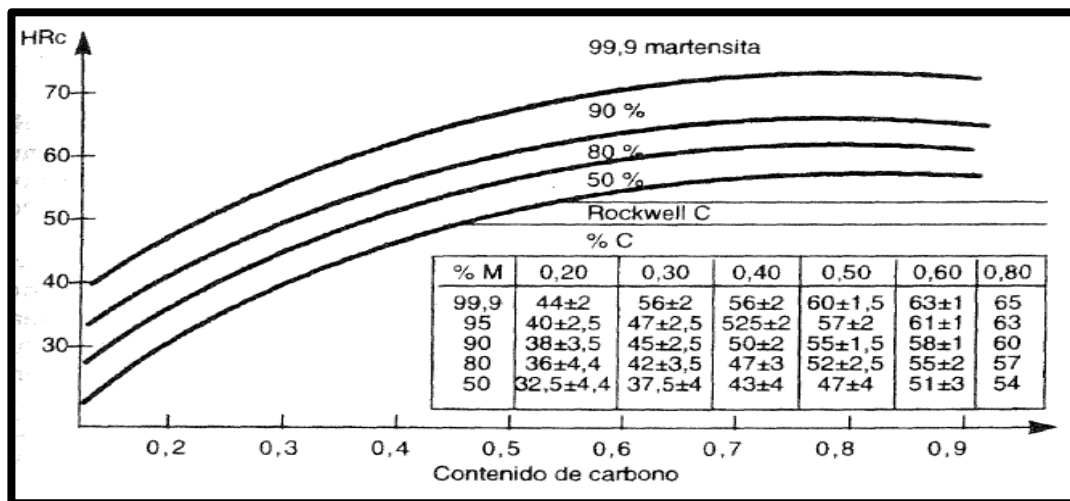


FIGURA 20: Dureza obtenida después del temple sobre los aceros al carbono y aleados. La curva superior corresponde sensiblemente a la dureza lograda a 1mm de la extremidad de la probeta Jominy.

Fuente: (Villacis, 2007, p. 32)

La velocidad crítica de temple disminuye cuando los elementos de aleación están disueltos en la austenita, de no ser así y encontrarse 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.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta en el calentamiento previo al temple de los aceros aleados, es el tiempo, así por ejemplo el níquel es un elemento que entra en solución con rapidez, mientras que el cromo, vanadio, molibdeno y boro necesitan un mayor tiempo de calentamiento.

b) Tamaño de grano Austenítico.

El aumento de tamaño del grano retarda la transformación estructural, dado que los comienzos de nucleación se producen preferentemente en el borde de los granos y como 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.

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, los aceros de grano grueso tienen por consiguiente una velocidad crítica de nucleación o germinación menor (ver figura 21), vale decir que los núcleos de perlita se forman en menor cantidad

Como consecuencia de lo expuesto los aceros de grano grueso tienden a producir en el enfriamiento, estructura martensítica más fácilmente que los de grano fino; en otras palabras, el comienzo y el fin de la transformación se produce con mayor retraso, lo que equivale a expresar que cuando mayor es el tamaño del grano austenítico, menos elevada es la velocidad crítica del temple.

En si el aumento del tamaño de grano, aumenta la profundidad del temple (vale decir mayor es el espesor endurecido a partir de la superficie) por otra parte disminución del tamaño del grano austenítico, se traduce en una reducción del espesor endurecido, por lo tanto se logra una penetración de temple menor y por ende una menor templabilidad del acero.

Además al elevar la temperatura y/o aumentar el tiempo de calentamiento, favorece el incremento de la templabilidad. (Sturla, 2002, pp. 108-115)

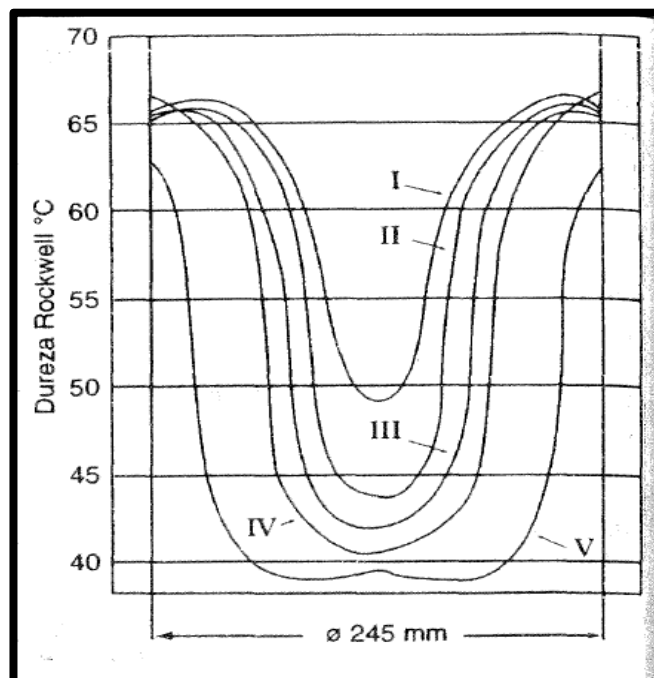


FIGURA 21: Amplitud a temple de un acero e influencia ejercida sobre ella por la dimensión del grano austenítico (Bain y Davenport).

Fuente: (Sturla, 2002, p. 114)

c) Efecto de masa

La masa o dimensiones del acero influyen en la penetración del temple. En igualdad de condiciones de calentamiento y enfriamiento, un mismo acero atribuirá mayor banda de dureza superficial cuando menor sea su diámetro o espesor (ver figura 22).

La velocidad de enfriamiento disminuye desde la superficie hasta el centro de la pieza, de aquí que la penetración del temple está limitada para determinados aceros a ciertas dimensiones.

A modo de síntesis se puede decir que a medida que aumentan las dimensiones de las piezas, el calor disipado desde el interior al exterior es tal, que produce una fuerte relajación de la velocidad de enfriamiento de los capas periféricas. (Sturla, 2002, p. 113)

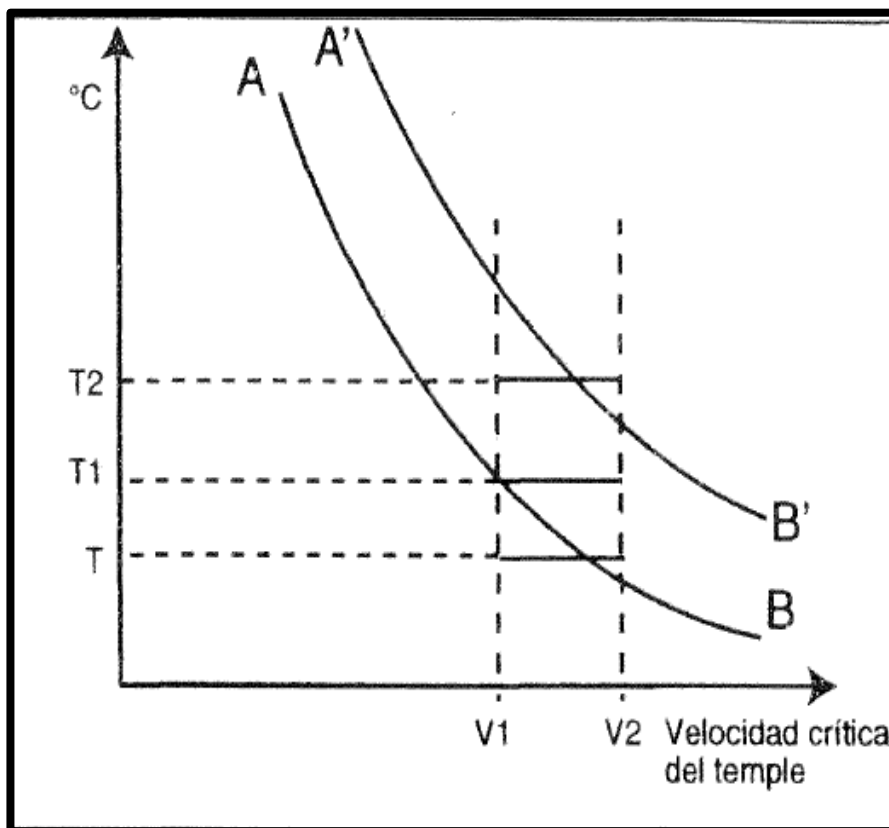


FIGURA 22: Influencia de la masa en la templabilidad V1: Velocidad del núcleo, V2: Velocidad periférica.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 115)

d) 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 hipoeutectoide o a carburos (aceros aleados) o también de los cristales de ferrita libre que no han entrado en solución, en los aceros hipoeutectoide.

Tanto la ferrita como los carburos o cementita no disueltos en la austenita, constituyen fases cuyas presencias favorecen las reacciones isotérmicas 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. (Villacis, 2007, pp. 35-36)

e) Temperatura de Autenización

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:

En la tabla 4 se puede apreciar que cuando mayor es la diferencia entre la temperatura de austenización y el medio de temple, la velocidad de enfriamiento aumenta, vale decir que una sobreelevación de 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.

TABLA 4: Influencia de la temperatura de austenización sobre el grosor del grano y la templabilidad.

Número	Temperatura de Calentamiento (°C)	Índice de grosor del grano
I	980	2
II	925	3
III	855	3.5
IV	785	4
V	745	5

Fuente: (Sturla, 2002, p. 114)

En el supuesto caso de lo dicho al considerar la heterogeneidad de la austenita, una sobreelevación de la temperatura permite homogenizar la estructura, es decir poner en solución sólida los elementos libres, para favorecer la templabilidad.

La influencia del tamaño del grano, cuando mas aumenta, sea por acción de temperatura o tiempo de calentamiento o por ambos factores simultáneos, provoca que los centros de precipitación sean menos numerosos, es decir que la austenita será más estable. (Villacis, 2007, p. 36)

En la figura 23 se puede apreciar la acción de una sobreelevación de temperatura sobre la forma de la curva Jominy. En la figura 24 es bien notable la influencia de la dimensión del grano de metal sobre la templabilidad de una probeta de acero al cromo de 20 mm de diámetro.

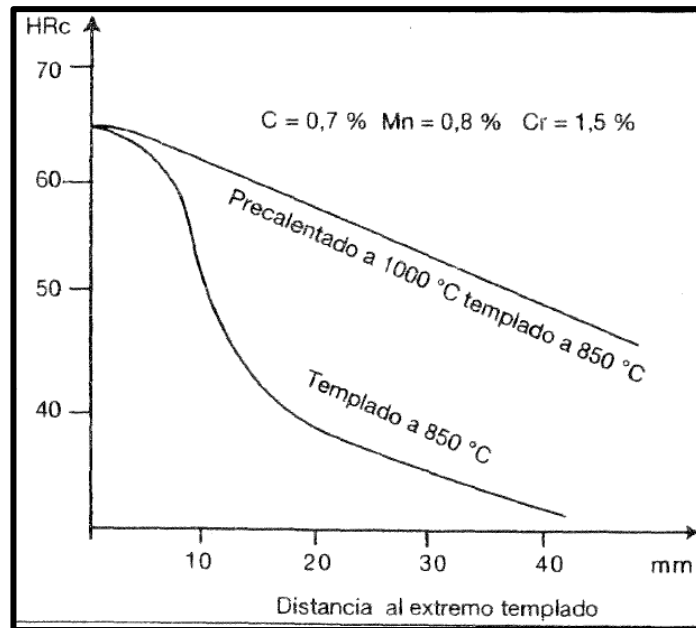


FIGURA 23: Influencia del tamaño del grano, incrementado por sobre elevación de temperatura.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 116)

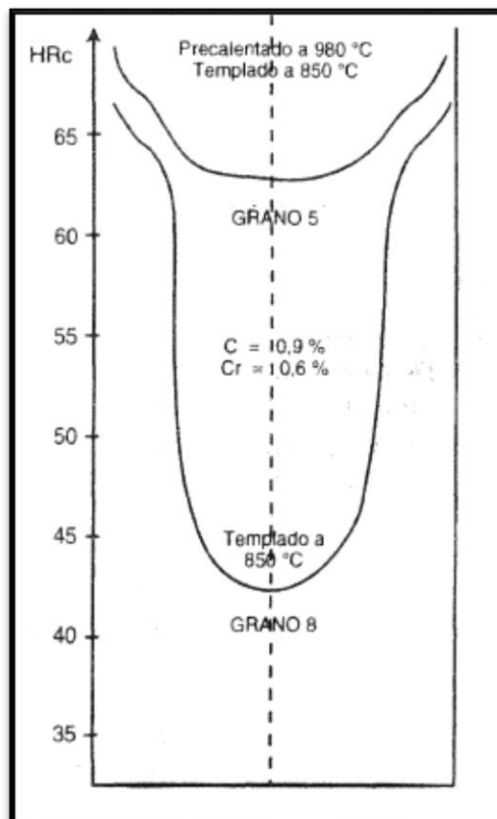


FIGURA 24: Influencia del grosor del grano sobre la penetración a temple de una probeta de 20mm

Fuente: (Sturla, 2002, p. 117)

f) Partículas insolubles (Inclusiones, carburos)

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. (Villacis, 2007, p. 37)

g) 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 sirerúrgico 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)

1.5.4 TEORÍA DE JOMINY. UTILIZACIÓN DEL ENSAYO JOMINY

El método ideado por Jominy no solo permite determinar la templabilidad de un acero sino también características, tales como tensión de rotura, límite elástico, estricción, alargamiento, etc., que están vinculados a la dureza y está a su vez a la microestructura, lo que en general permite relacionarlos, con piezas, barras, perfiles, etc, de distintas formas y dimensiones .

Según la teoría de Jominy se determina:

- a)** La máxima dureza se consigue con el temple, en función del contenido de carbono; mientras mas lejos este del extremo templado la dureza, es mínima (ver figura 25).

- b) La presencia de elementos de aleación en los aceros, permite lograr, después del temple, durezas elevadas y mayor penetración del temple, aún empleándose bajas velocidades de enfriamiento.
- c) La sumatoria de pequeñas cantidades de algunos elementos de aleación, ejercen una acción más efectiva sobre la templabilidad, que le da un solo elemento aleante en mayor proporción. (Sturla, 2002, p. 118)

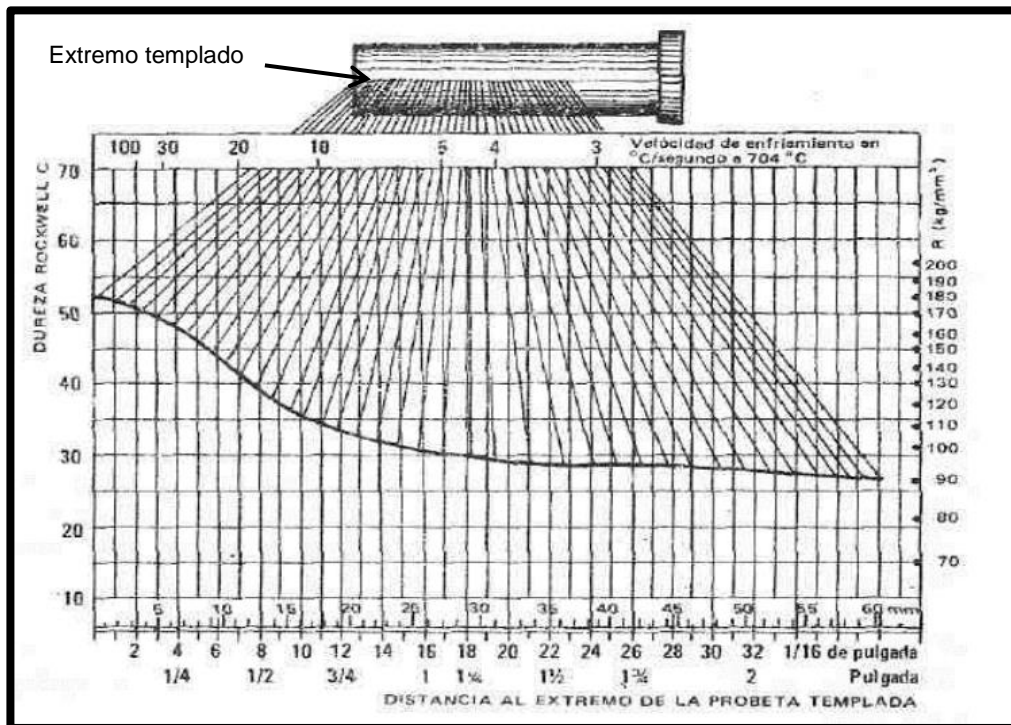


FIGURA 25: Curva de Jominy indicando la velocidad de enfriamiento en °C/Seg a 704°C en diferentes puntos de la probeta y los valores de dureza y tensión de rotura correspondiente.

Fuente: (Sturla, 2002, p. 119)

1.5.5 Generalidades del ensayo Jominy

El ensayo Jominy a partir de su aplicación ha adquirido resultados extraordinarios de aceptación, por ser un método cómodo, y fácil para la selección de un acero.

Este ensayo ha facilitado notablemente el conocimiento, de ciertas propiedades que existían sobre la utilidad de determinados elementos de aleación y sobre la eficiencia e ciertas combinaciones de elementos aleantes.

El método de cubrir el procesamiento más adecuado para la terminación de la templabilidad del acero es el ensayo Jominy. Con este ensayo se determina la capacidad de temple de un acero, para diversas velocidades de enfriamiento, y esto permite deducir la penetración del temple e cualquier pieza o elemento.

Preparación de la probeta

La probeta a analizar de cualquier tipo de acero se obtiene a partir de una barra de 1 ¼" de diámetro por 4 ½" de longitud, para que por mecanizado puedan eliminarse las zonas oxidadas y descarbonadas, hasta las dimensiones permitidas por la norma (ver figura 26).

Nota: Obtener una pequeña muestra del material, antes de ser mecanizada la probeta para el análisis metalográfico de la estructura.



FIGURA 26: Probeta Jominy

Procedimiento del ensayo

1.- Una vez mecanizada la probeta, se calienta en el horno (ver figura 27), hasta que alcance la temperatura de austenización, que depende del tipo del acero, una vez alcanzada dicha temperatura, se mantiene durante treinta minutos para luego ser retirada del horno.



FIGURA 27: Horno eléctrico tipo mufla

2.- La probeta caliente se coloca en el soporte del tanque porta probetas (ver figura 28), de tal forma que la columna de agua a una temperatura de alrededor de 15°C choque contra el extremo inferior. El tiempo transcurrido desde el retiro de la probeta del horno y el comienzo del temple no debe ser mayor de cinco segundos.

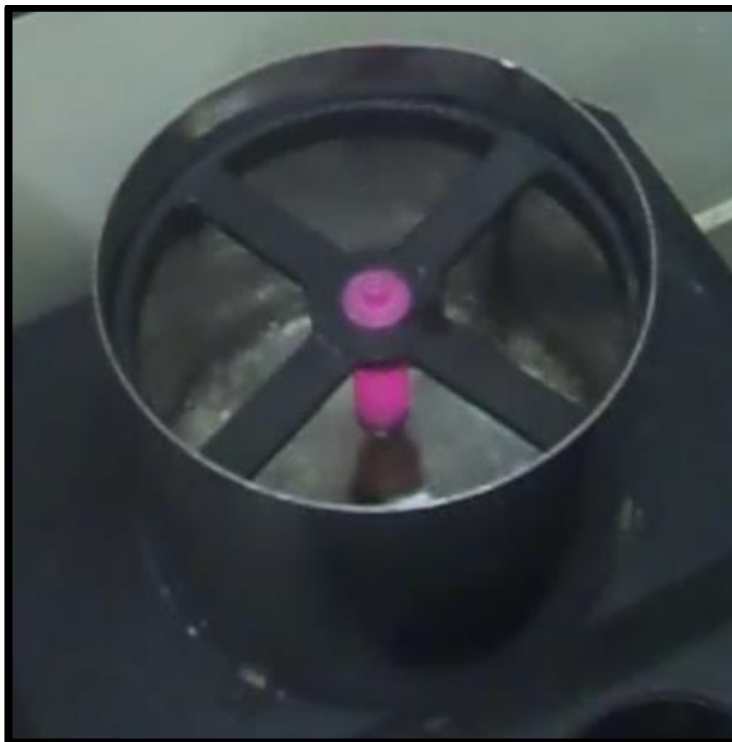


FIGURA 28: Enfriamiento de la probeta

3.- El enfriamiento de la probeta se realiza de forma continua (ver figura 28), durante 10 minutos

4.- Luego de este tiempo la probeta se puede enfriar totalmente (ver figura 29) en agua, sin temor a introducir variables en el resultado final del ensayo, el cual se lo realiza en el tanque auxiliar de enfriamiento



FIGURA 29: Enfriamiento de la probeta en el tanque auxiliar

5.- Para medir la dureza, y realizar el análisis de la microestructura de la probeta templada, mediante mecanizados se forma a lo largo de toda la probeta dos caras planas separadas por 180 grados y de una profundidad de aproximadamente 0.4 mm (ver figura 30). Estos dos planos deben ser paralelos; el esmerilado es necesario realizarlo bajo abundante chorro de agua, para no modificar la estructura obtenida por el temple del extremo.



FIGURA 30: Probeta Jominy mecanizada

6.- Una vez formadas las dos caras planas, se escoge una de ellas para el análisis de microestructuras, la cual se la prepara de la siguiente manera:

6.1.- Realizar un esmerilado muy esmerado, y secuencial iniciando con lija número 240, 320, 400, y 600 respectivamente (ver figura 31), hasta obtener una superficie muy lisa y libre de rayaduras y asperezas.

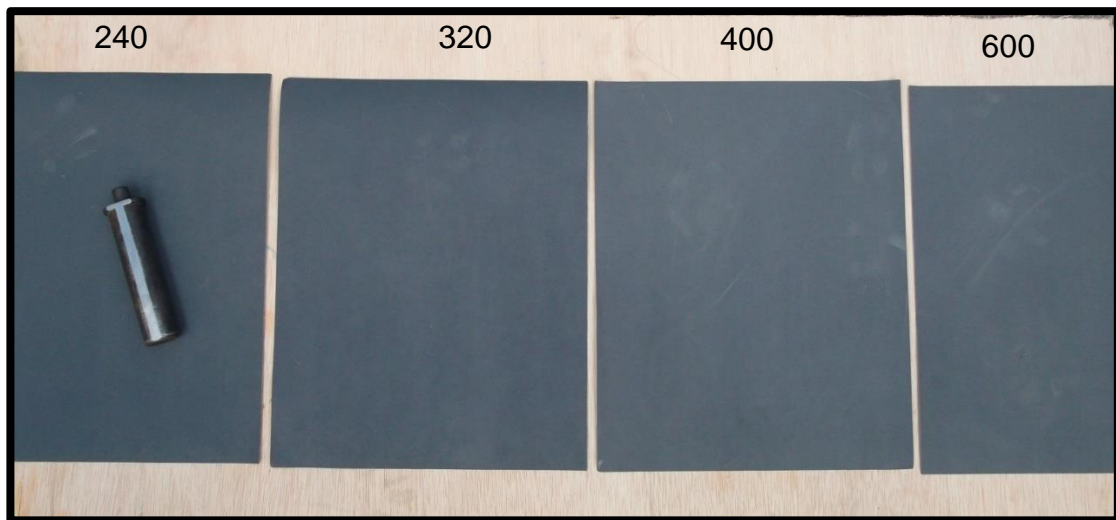


FIGURA 31: Lijado de la probeta

6.2.- Seguidamente, se realiza el pulido (ver figura 32), hasta que la superficie, adquiera un tono muy brillante.



FIGURA 32: Pulido de la probeta hasta que tome un tono brillante

6.3.- La probeta ya pulida se lava en agua, luego se realiza un secado completo.

7.- la probeta después de todo el proceso anterior, se apoya sobre un bloque en V que tendrá un Angulo de 120 grados y estará con su vértice exactamente debajo de la punta del penetrador de diamante, de la máquina de medir la dureza (ver figura 33).

8.- Mediante un tornillo micrométrico, se desplaza la probeta horizontalmente y se practican las medidas de dureza en la primera pulgada cada 1.59 mm (1/16") y las dos siguientes a criterio del experimentador, en general cada 1/8" Estos valores se han tabulado en el siguiente formato.



FIGURA 33: Durómetro portátil

1.5.5 SEVERIDAD DEL TEMPLE

Todo medio de enfriamiento tiene velocidades de enfriamiento diferentes (ver tabla 5). La medida de esta velocidad de enfriamiento por medio de un número conocido como su valor "H", se lo denomina severidad del temple. (Villacis, 2007, p. 40)

TABLA 5: Severidad del temple (h) de diversos medios de enfriamiento.

CLASE DE ENFRIAMIENTO	AIRE	ACEITE	AGUA	AGUA SALADA
Pieza y medio de enfriamiento tranquilo	0,02	0,3	1,0	2,2
Pieza movida moderadamente y medio de enfriamiento tranquilo	-	0,4 / 0,6	1,5 / 3,0	-
Pieza agitada fuertemente y medio de enfriamiento tranquilo	-	0.6/0.8	3,0 / 6,0	7,5
Gran movimiento de la pieza o ducha de líquido	-	1,0 / 1,7	6 / 12	-

Fuente: (Sturla, 2002, p. 125)

CAPITULO II

2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE CONSTRUCCIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

Luego de analizar las referencias teóricas, se determinan los parámetros de construcción que permitan desarrollar el sistema para el ensayo Jominy, al momento de afrontar el diseño se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones: dimensiones de los componentes para así conocer las propiedades físicas, y mecánicas del acero. La máquina requiere los siguientes componentes (ver figura 34):

1. Tanque porta probetas
2. Tanque alimentador
3. Tanque auxiliar de enfriamiento
4. Sistema hidráulico
5. Boquilla
6. Porta probetas

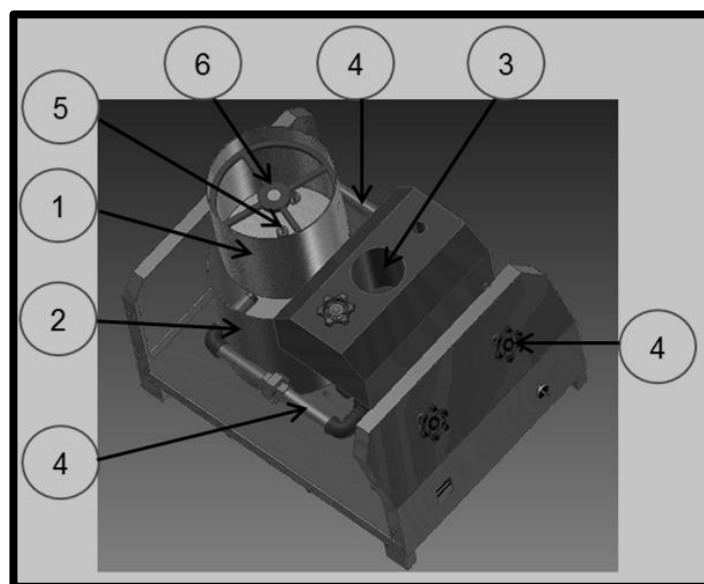


FIGURA 34: Máquina Jominy

2.2 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE PORTA PROBETAS

El tanque porta probetas debe estar diseñado de tal manera que durante el ensayo, la probeta este en las medidas exactas como es la altura entre la base de ella y la salida del chorro de agua de acuerdo con la norma ASTM A-255, debe de tener el suficiente espacio para que al momento del ensayo la, película de agua en forma e hongo no choque con las paredes del tanque, también debe contar de un tubo para que evacue el fluido de forma rápida para su recirculación (ver figura 35).

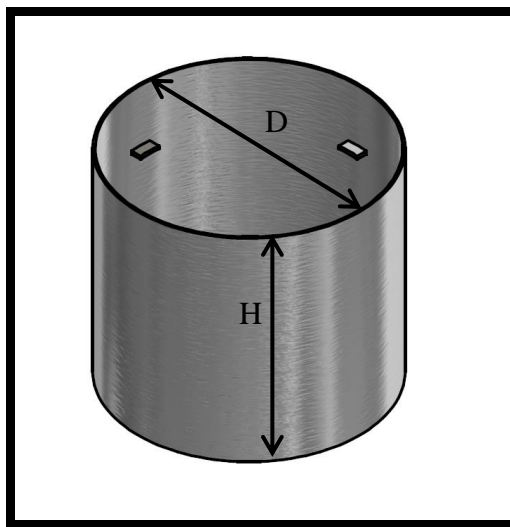


FIGURA 35: Tanque porta probetas.

D = Diámetro H = Altura

Para el cálculo del diámetro del tanque porta probetas se realizó mediante pruebas, a partir del diámetro que alcanza el hongo del fluido durante el ensayo que es de aproximadamente 20 cm, por lo que se ha considerado conveniente que el tanque tenga un diámetro $D=24$ cm, de igual manera para determinar la altura del mismo, se ha tomado en cuenta todos los elementos que estarán durante el ensayo, como la altura en que se encuentra la boquilla, la altura a la que estará suspendida la probeta, la altura que se encontrara el porta probetas, por lo que es recomendable que la altura del tanque sea $H=21$ cm, para cumplir con las medidas exactas que exige la norma ASTM A-255 de ensayo Jominy.

2.2.1 VOLUMEN DEL AGUA

Durante el ensayo Jominy el fluido está en constante recirculación por lo que el volumen de este será mínimo, sin poder alcanzar más de 2 cm o 20 mm de altura; el cual se necesita evacuarlo rápidamente, para lo cual se utiliza una tubería de $\frac{3}{4}$ " de diámetro (ver figura 36), se calcula el volumen del agua mediante la ecuación (1).

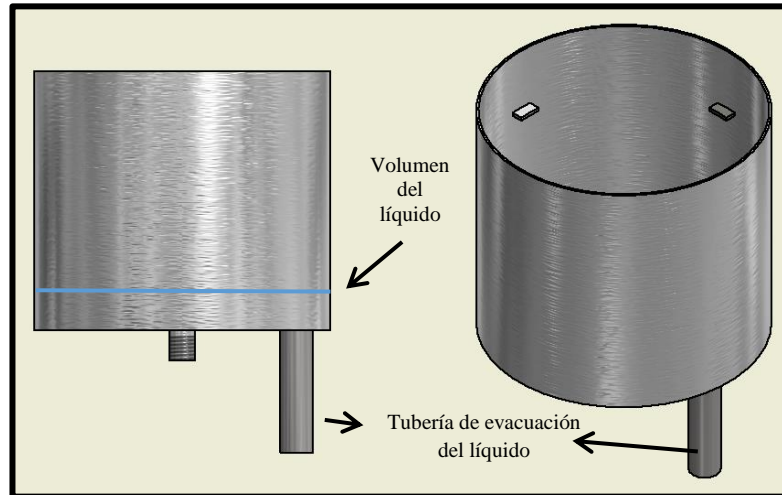


FIGURA 36: Volumen del Agua tanque porta probetas.

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

Donde:

r : Radio del cilindro (Tanque porta probetas)

h : Altura del nivel del Agua

Reemplazando los valores en la ecuación (1) tenemos:

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

$$V = 904,77cm^3$$

$$V = 0,9047 lt \approx 1lt$$

2.2.2 ESPESOR DE PARED DEL TANQUE PORTA PROBETAS

Debido a que el tanque porta probetas es pequeño, el espesor de la pared también será pequeño, entonces; las tensiones normales, en el fondo del tanque porta probetas se distribuyen uniformemente en la pared del tanque. Además la condición de resistencia, y según la hipótesis de recipientes cilíndricos de pared delgada, el esfuerzo permisible se calcula mediante la ecuación (2).

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

Dónde:

P : Presión en la base del recipiente

r : Radio del cilindro

e : Espesor de la pared

La presión interna producida en la base del recipiente por un fluido sobre la pared es proporcional a la distancia libre del mismo, y se calcula mediante la ecuación (3)

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

Donde:

γ : Peso específico del fluido (Kg/m^3)

H : Altura del tanque.

El peso específico del fluido está relacionado con la altitud y la temperatura del medio ambiente, al usar agua como medio de enfriamiento y la temperatura ambiente en nuestro medio es 15 °C el peso específico es de 1000 kg/m^3 . (Shigley, 2008)

Reemplazando en la ecuación (3) tenemos:

$$P = \frac{1000kg}{m^3} * 0,02m$$

$$P = \frac{20kg}{m^2}$$

El esfuerzo permisible de la presión interna se calcula mediante la ecuación (4), para un acero estructural y/o acero para maquinaria, es de (σ_p : 1400 kg/cm^2) sin tomar en cuenta la clase de composición del acero. (Shigley, 2008)

Datos que nos permite calcular el espesor de la pared del cilindro.

$$e = \frac{P \cdot r}{\sigma_p} \quad (4)$$

Reemplazando el valor de la presión interna del fluido P en la ecuación (4) tenemos:

$$e = \frac{0,021 \text{ kg/cm}^2 \cdot 12 \text{ cm}}{1400 \text{ kg/cm}^2}$$

$$e = 1,8E - 4 \text{ cm}$$

Tomando en cuenta parámetros como, corrosión, soldabilidad y seguridad, y referenciándonos en el catálogo (Otero) el tanque se construirá, en plancha de acero inoxidable AISI 304 de 2 mm de espesor. (Anexo B, Figura B1)

2.2.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL TANQUE PORTA PROBETAS

Para el tanque porta probetas utilizaremos soldadura tope o de ranura (ver figura 37), ya que es la recomendada para recipientes cilíndricos sometidos a cualquier presión, debido la carga de tensión F , producida por el fluido.

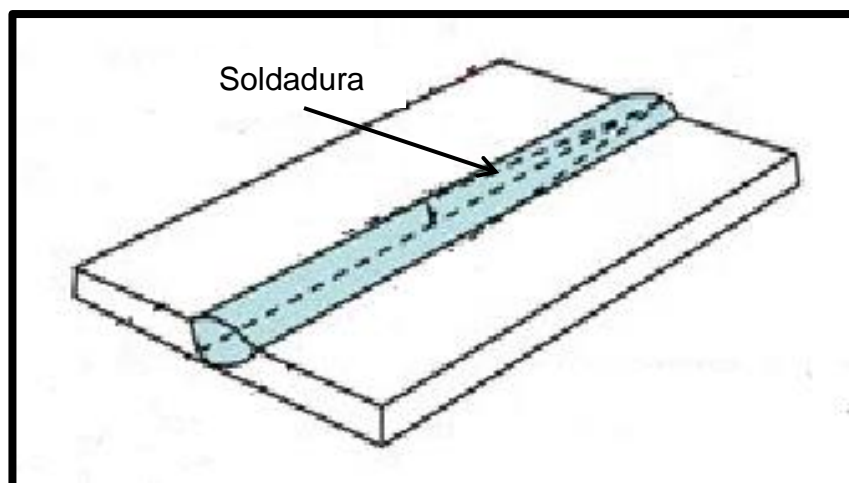


FIGURA 37: Soldadura tope o de ranura

Por lo cual necesitamos calcular el esfuerzo normal medio en cargas de tensión o de compresión y se obtiene de la ecuación (5).

$$\sigma = \frac{F}{h * l} \quad (5)$$

Dónde:

h : Medida de la garganta o espesor del material.

l : Longitud de la soldadura.

Para resolver la ecuación (5), antes necesitamos calcular la fuerza ejercida por el fluido sobre la superficie lateral del cilindro, esto lo hacemos mediante la ecuación (6).

$$F = P * A \quad (6)$$

Donde:

P : Presión del fluido sobre el fondo.

A : Área de la superficie lateral del cilindro.

Entonces:

$$F = 20 \frac{kg}{m^2} * 2\pi * 0,12m * 0,21m$$

$$F = 3,16kg$$

Remplazando la fuerza ejercida por el fluido sobre la superficie lateral F del cilindro en la ecuación (5) tenemos:

$$\sigma = \frac{3,16kg}{0,2cm * 21cm}$$

$$\sigma = 0,75/cm^2$$

Para obtener el esfuerzo permisible real multiplicamos la fuerza ejercida por el fluido sobre la superficie lateral por los factores de seguridad utilizados en el reglamento de soldadura y son de: ($n=1,67$) para tensión y ($n= 1,44$) para cortante.

$$\sigma_{real} = \frac{7,92kg}{cm^2} * n$$

$$\sigma_{real} = \frac{7,92kg}{cm^2} * 1,67$$

$$\sigma_{real} = \frac{13,23kg}{cm^2}$$

Sera considerado el mismo esfuerzo, tanto del metal soldante como para el metal principal según el código AISIC, y el American Welding Society (AWS) (Anexo, Figura B2). (Shigley, 2008, pp. 471-472)

El catálogo INDURA, determina que el acero a utilizar en la construcción del tanque porta probetas, tiene mayor compatibilidad de soldadura, con electrodo AWS E6011 el mismo que tiene una resistencia a la tensión (S_u), de 4340 kg/cm².

Resistencia de fluencia se calcula mediante la ecuación (6)

$$S_y = 0,5 * S_u \quad (6)$$

Esfuerzo Permisible se calcula mediante la ecuación (7).

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

Donde:

S_u : Resistencia ultima a la tensión.

Reemplazando en las ecuaciones (6) y la ecuación (7) tenemos:

$$S_y = 0,5 * 4340kg/cm^2$$

$$S_y = 2170kg/cm^2$$

$$\sigma_{per} : 0,6 * 2170kg/cm^2$$

$$\sigma_{per} : 1302kg/cm^2$$

Comparando:

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

$$1302 \frac{kg}{cm^2} > 13,23 \frac{kg}{cm^2}$$

Esfuerzo normal medio en carga cortante se calcula mediante la ecuación (8).

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

Donde:

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

Para encontrar la fuerza aplicamos la fórmula (6) con la presión en el fondo y el área inferior del cilindro.

$$F = \frac{20kg}{m^2} * \pi * (0,12m)^2$$

$$F = 0,9kg$$

Remplazando en la ecuación (8) tenemos.

$$\tau = \frac{0,9kg}{0,2cm * 75,38cm}$$

$$\tau = 0,06kg/cm^2$$

Para calcular el esfuerzo normal real (τ_{real}) se aplica el factor de seguridad:

$$\tau_{real} = \frac{0,06kg}{cm^2} * n$$

$$\tau_{real} = \frac{0,06kg}{cm^2} * 1,44$$

$$\tau_{real} = 0,086kg/cm^2$$

Tensión Permisible se calcula mediante la fórmula (9).

$$\tau_{per} = 0,4 * S_y \text{ (Cortante)} \quad (9)$$

Tenemos:

$$\tau_{per} = 0,4 * 2170 \text{kg/cm}^2$$

$$\tau_{per} = 868 \text{kg/cm}^2$$

Como:

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

$$868 \text{kg/cm}^2 > 0,086 \text{kg/cm}^2$$

Al comprobar, teórica o numéricamente que los esfuerzos tanto de tensión y corte permisibles en la soldadura son mucho mayores a los reales, determinamos que la soldadura nos facilita un amplio margen de seguridad y confiabilidad, ante cualquier carga que actúe directa o indirectamente.

2.3 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE ALIMENTADOR

El tanque alimentador (ver figura 38) deberá estar diseñado de tal manera que durante el ensayo, el líquido, mantenga un caudal constante de 0,15 litros/segundo o 9 litros/minuto, para garantizar que el temple de la probeta cumpla la norma ASTM A-255 de ensayo Jominy.

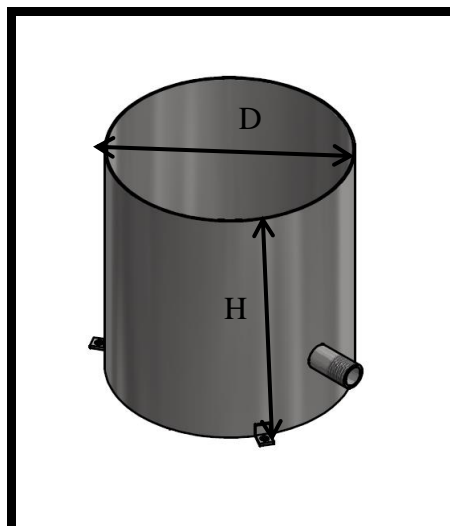


FIGURA 38: Tanque Alimentador.

D = Diámetro H = Altura

Para dimensionar las medidas del tanque alimentador se impone los siguientes criterios, como es el volumen del líquido necesario que es de 14 litros aproximadamente, necesarios para el ensayo, garantizando un caudal constante, cumpliendo con los parámetros de la norma ASTM A-255, también debe de ser de dimensiones similares a las del tanque porta probetas, de lo cual partimos inicialmente, el diámetro del tanque alimentador será $D=26$ cm y la altura $H=27$ cm, lo cual cumple con los parámetros requeridos.

2.3.1 VOLUMEN DEL AGUA

Como el fluido va a estar en constante recirculación durante el ensayo, el volumen del agua en el recipiente siempre será constante.

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \pi * (13)^2 * 27cm$$

$$V = 143395,08cm^3$$

$$V = 14,3lt$$

2.3.2 ESPESOR DE LA PARED DEL TANQUE ALIMENTADOR

Debido a las pequeñas dimensiones del recipiente, se va a obtener un espesor de pared también pequeño. Para este caso, se considera que en las paredes aparecen solamente tensiones normales y que estas tensiones se distribuyen uniformemente dentro del espesor de la pared.

Reemplazando en la ecuación (3) tenemos:

$$P = 1000kg/m^3 * 0,27m$$

$$P = 270kg/m^2$$

El reglamento de construcción mediante el manual AISIC, determinando que el esfuerzo permisible, para un acero estructural y/o acero para maquinaria es de ($\sigma_p: 1400kg/cm^2$), sin tomar en cuenta la clase de composición del acero. (Shigley, 2008)

Reemplazando en la ecuación (4) tenemos:

$$e = \frac{0,027kg/cm^2 * 13cm}{1400kg/cm^2}$$

$$e = 2,50E - 4cm$$

Como se puede dar cuenta el espesor de pared es demasiado pequeño, por tanto la construcción tomando en cuenta, corrosión, soldabilidad y seguridad, y de acuerdo con el catalogo IPAC se realizara, en plancha de acero laminado en caliente, ASTM A-36 de 2 mm de espesor. (Anexo B, Figura 2)

2.3.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL TANQUE ALIMENTADOR

La soldadura de este tanque se diseña bajo las mismas condiciones y parámetros del tanque del recipiente, ya que de igual forma su diseño se basa en recipientes de presión.

Reemplazando en la ecuación (6) tenemos:

$$F = 270 \frac{kg}{m^2} * 2\pi * 0,13m * 0,27m$$

$$F = 59,5kg$$

Reemplazando en la ecuación (5) tenemos:

$$\sigma_{real} = \frac{59,5kg}{0,2cm * 27cm}$$

$$\sigma_{real} = 11 \frac{kg^2}{cm}$$

Los factores de seguridad utilizados por el reglamento de soldadura son de (n=1,67) para tensión y (n= 1,44) para corte.

$$\sigma_{real} = 11 \frac{kg}{cm^2} * 1,67$$

$$\sigma_{real} = 18,37 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazando en la ecuación (6) y (7) respectivamente tenemos:

$$S_y = 0,5 * 4340 \text{kg/cm}^2$$

$$S_y = 2170 \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{per} : 0,6 * 2170 \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{per} : 1320 \text{kg/cm}^2$$

Comparando:

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

$$\frac{1320 \text{kg}}{\text{cm}^2} > 18,37 \text{kg/cm}^2$$

Para encontrar la fuerza aplicamos la ecuación (6) con la presión en el fondo y el área inferior del cilindro.

$$F = \frac{270 \text{kg}}{\text{m}^2} * \pi * (0,13 \text{m})^2$$

$$F = 14,33$$

Reemplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$\tau = \frac{14,33 \text{kg}}{0,2 \text{cm} * 80,11 \text{cm}}$$

$$\tau = 0,89 \text{kg/cm}^2$$

Aplicando el factor de seguridad:

$$\tau = \frac{0,89 \text{kg}}{\text{cm}^2} * 1,44$$

$$\tau_{real} = 1,28 \text{kg/cm}^2$$

Aplicando las mismas condiciones anteriores para tensión; en la ecuación (9) tenemos:

$$\tau_{per} = 0,4 * 2170kg/cm^2$$

$$\tau_{per} = 868kg/cm^2$$

Como:

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

$$868kg/cm^2 > 1,28kg/cm^2$$

Al comprobar, teórica o numéricamente que los esfuerzos tanto de tensión y corte permisibles en la soldadura son mucho mayores a los reales, determinamos que la soldadura nos facilita un amplio margen de seguridad y confiabilidad, ante cualquier carga que actúe directa o indirectamente.

2.4 CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE AUXILIAR DE ENFRIAMIENTO

El tanque auxiliar de enfriamiento (ver figura 39) deberá estar diseñado de tal manera que durante el ensayo mantenga un caudal constante para evitar tener altas presiones en las tuberías y permitiendo una libre circulación del líquido utilizado en el ensayo. Además tener suficiente espacio para enfriar por completo a la probeta luego del ensayo .

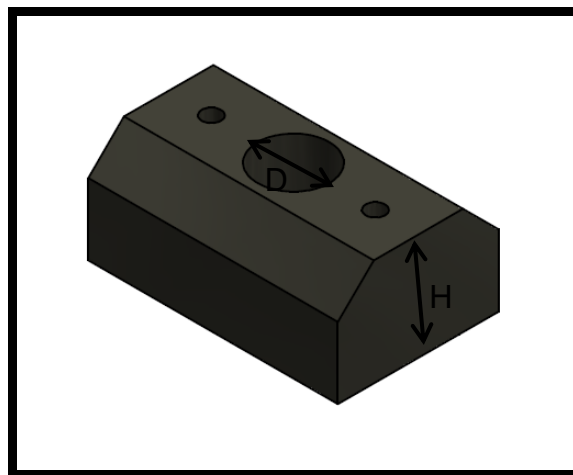


FIGURA 39: Tanque auxiliar de enfriamiento.

D = Diámetro H = Altura

Para dimensionar se parte de las dimensiones de la probeta, para calcular su altura, y el diámetro del suficiente espacio para poder manipularla, por lo que se impone las siguientes dimensiones $D= 10 \text{ cm}$ y $H= 15 \text{ cm}$.

2.4.1 VOLUMEN DEL AGUA

El fluido en este tanque se ira llenando durante el ensayo hasta alcanzar el volumen deseado para sumergir la probeta.

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos:

$$V = \pi * (5)^2 * 15\text{cm}$$

$$V = 1178,1\text{cm}^3$$

$$V = 1,18\text{lt}$$

2.4.2 ESPESOR DE LA PARED DEL TANQUE

Debido a las pequeñas dimensiones del recipiente, se va a obtener un espesor de pared también será pequeño. Por facilidad de construcción se utilizará un corte de tubo de material AISI A-36. Para este caso, se considera que en las paredes aparecen solamente tensiones normales y que estas tensiones se distribuyen uniformemente dentro del espesor de la pared.

Reemplazando en la ecuación (3) tenemos:

$$P = 1000\text{kg}/\text{m}^3 * 0,15\text{m}$$

$$P = 150\text{kg}/\text{m}^2$$

Según el reglamento de construcción y el manual AISIC, se determina que el esfuerzo permisible, para un acero estructural y/o acero para maquinaria es de ($\sigma_p: 1400\text{kg}/\text{cm}^2$), sin tomar en cuenta la clase de composición del acero. (Shigley, 2008)

Reemplazando en la ecuación (4) tenemos:

$$e = \frac{0.015kg/cm^2 * 5cm}{1400kg/cm^2}$$

$$e = 5,35E - 5cm$$

Como podemos apreciar el espesor de pared es demasiado pequeño, por tanto la construcción tomando en cuenta, corrosión, soldabilidad y seguridad, y de acuerdo con el catalogo IPAC se realizara, en tubo de acero, ASTM A36 de 2mm de espesor.

2.4.3 CÁLCULO DE LA SOLDADURA

De igual manera como en el diseño del tanque porta probetas y el tanque principal a soldadura de este tanque se diseña bajo las mismas condiciones y parámetros del tanque del recipiente, ya que de igual forma su diseño se basa en recipientes de presión. Para encontrar la fuerza usamos la ecuación (6) con la presión en el fondo y el área inferior del cilindro.

Reemplazando en la ecuación (6) tenemos:

$$F = \frac{150kg}{m^2} * \pi * (0,05m)^2$$

$$F = 1,17kg$$

Remplazando en la ecuación (8) tenemos:

$$\tau = \frac{1,17kg}{0,2cm * \pi * 5cm}$$

$$\tau = \frac{1,17kg}{0,2cm * 15,71}$$

$$\tau = 0,37kg/cm^2$$

Aplicando el factor de seguridad:

$$\tau = \frac{0,37kg}{cm^2} * 1,44$$

$$\tau_{real} = 0,53kg/cm^2$$

Aplicando las mismas condiciones anteriores para tensión; en la ecuación (9) tenemos:

$$\tau_{per} = 0,4 * 2170kg/cm^2$$

$$\tau_{per} = 868kg/cm^2$$

Como:

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

$$868kg/cm^2 > 0,53kg/cm^2$$

La soldadura nos facilita un amplio margen de seguridad y confiabilidad, ante cualquier carga que actúe directa o indirectamente.

2.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico (ver figura 40) deberá estar calculado de acuerdo a la norma que estamos realizando el diseño, ya que debe de ser lo más exacto posible, este es el diseño que vamos a dimensionar.

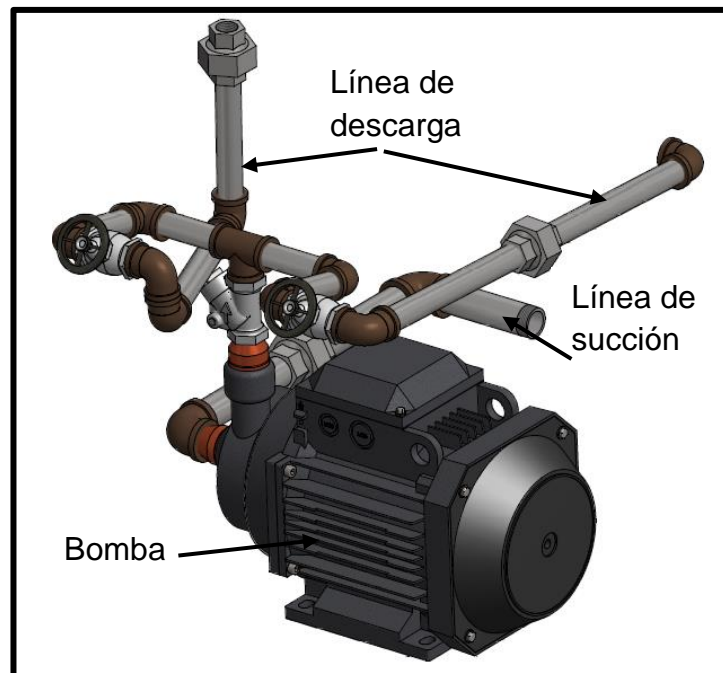


FIGURA 40: Sistema Hidráulico

2.5.1 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA TUBERÍA

De acuerdo con la Norma, a la cual se rige, el caudal aproximadamente, necesario y suficiente para realizar el ensayo Jominy es de $150\text{cm}^3/\text{s}$ ($0,15 * 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$).

Según BUDSCH: la determinación del diámetro nominal de la tubería para un sistema hidráulico con alturas menores a 100 metros ($H_f < 100\text{m}$) se da por la ecuación (10):

$$d = \sqrt[7]{0,052 * Q^3} \quad (10)$$

Donde:

d : Diámetro nominal de la tubería (m)

Q : Gasto máximo alimentado o Caudal (m^3/s)

Remplazando en la ecuación (10) tenemos:

$$d = \sqrt[7]{0,052 * (0,15 * 10^{-3}\text{m}^3/\text{s})^3}$$

$$d = 0,015\text{m}$$

$$d = 15\text{mm} \approx 3/4 \text{ plg}$$

Con ese valor de diámetro nominal, mediante tablas de tuberías comerciales (ANEXO C, Figura C1), se determina:

Diámetro Exterior: 1,050 pulgadas = 26,67mm

Diámetro Interior: 0,824 pulgadas = 20,9mm

Espesor de pared: 0,113 pulgadas = 2,87mm

Con los datos obtenidos calcularemos el caudal que circulara por la tubería durante el ensayo mediante la ecuación (11):

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

Donde:

Q : Caudal

A : Área interior de la tubería

v : Velocidad del fluido

Despejando la velocidad en la ecuación (11) tenemos:

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

Remplazando los valores de caudal y área tenemos;

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

$$V_s = \frac{0,15 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,0209\text{m})^2}{4}}$$

$$V_s = 0,43 \text{ m/s}$$

2.5.2 DIÁMETROS DE TUBERÍA DE SUCCIÓN Y DESCARGA

Según (Mott, 2006): en un sistema hidráulico la línea de succión, debe ser siempre de mayor diámetro que la línea de descarga, por tanto:

Diámetro de succión se da por la ecuación (12).

$$d_s = \sqrt{14 * Q} \quad (12)$$

Diámetro de descarga se da por la ecuación (13).

$$d_d = \sqrt{10 * Q} \quad (13)$$

Donde:

d_s : Diámetro interno de la tubería de succión o aspiración en (cm)

d_d : Diámetro interno de la tubería de descarga o impulsión en (cm)

Q : Caudal del fluido (Lt/s)

Remplazando el caudal en las ecuaciones (12) y (13), tenemos:

Diámetro de succión

$$d_s = \sqrt{14 * 0,15Lt/s}$$

$$d_s = 1,45cm = 0,57plg$$

Tomando como referencia el catálogo de IPAC (ANEXO C, Figura C1), determinamos el diámetro aproximado equivalente normalizado; y las características para la tubería de succión y descarga respectivamente.

Diámetro nominal: $\frac{3}{4}$ "

Diámetro Exterior: 1,050 pulgadas = 26,67mm

Diámetro Interior: 0,824 pulgadas = 20,9mm

Espesor de pared: 0,113 pulgadas = 2,87mm

Diámetro de Descarga:

$$d_d = \sqrt{10 * 0,15Lt/s}$$

$$d_d = 1,22cm = 0,48plg$$

Diámetro nominal: $\frac{1}{2}$ "

Diámetro Exterior: 0,840 pulgadas = 21,33mm

Diámetro Interior: 0,622 pulgadas = 15,79mm

Espesor de pared: 0,109 pulgadas = 2,76mm

2.5.3 Velocidades de Succión y Descarga

Según (Mataix, 1986): la velocidad del fluido en la línea de succión se determina por la ecuación (14):

$$V_s = \frac{Q}{A} \quad (14)$$

Reemplazando el caudal y el área tenemos:

$$V_s = \frac{0.15 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.0209\text{m})^2}{4}}$$

$$V_s = 0.43 \text{ m/s}$$

Según (Mataix, 1986): la velocidad del fluido en la línea de descarga se determina por la ecuación (15):

$$V_d = \frac{Q}{A} \quad (15)$$

Reemplazando el caudal y el área tenemos:

$$V_d = \frac{0.15 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0.01579\text{m})^2}{4}}$$

$$V_d = 0.77 \text{ m/s}$$

2.5.3 ALTURA DE LA BOMBA

Según (Mataix, 1986): la altura de la bomba se determina por la ecuación (16):

$$H_B = H_s + H_d + \Delta_z \quad (16)$$

Donde:

H_s : Altura de succión

H_d : Altura de descarga

Δ_z : Diferencia de altura entre el nivel de depósito de succión y de descarga (m).

Para poder calcular la altura de la bomba primero necesitamos calcular la altura de succión, la altura de descarga y Diferencia de altura entre el nivel de depósito de succión y de descarga

2.5.3.1 ALTURA DE SUCCIÓN (H_s)

Según (Mataix, 1986): la altura de succión se determina por la ecuación (17):

$$H_s = H_{rp} + H_{rs} \quad (17)$$

Donde:

H_{rp} : Pérdidas de carga primaria (en la tubería)

H_{rs} : Pérdidas de carga secundaria (en accesorios)

Para calcular la altura de succión primero debemos de calcular los valores de H_{rp} y H_{rs} .

Según (Mott, 2006): las **pérdidas primarias** ocasionadas por fricción en la tubería se determinan mediante la ecuación (18), de Darcy para calcular la pérdida de energía.

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{V_s^2}{2 * g} \quad (18)$$

Donde:

λ : Coeficiente de fricción en la tubería

L : Longitud de la tubería (m)

d : Diámetro interior de la tubería (m)

V_s : Velocidad del fluido en la succión

g : Aceleración de la gravedad

Para calcular las pérdidas primarias debemos de resolver todos los coeficientes que intervienen, como es (λ) el cual esta obtenido en factor de número de Reynolds, de la rugosidad de la tubería y de las características del fluido.

En la tabla 6 se da a conocer el diámetro y longitud de la tubería de succión.

TABLA 6: Diámetro y longitud de tubería de succión

Accesorio	Diámetro	Cantidad	Longitud Unitario (cm)	Total (cm)
Neplo largo	¾ x 5"	2	12,7	25,4
Neplo corto	¾ x 2"	1	5,08	5,08
TOTAL				30,48

Fuente: Autor

Según (Mataix, 1986): El número de reynolds está dado por la ecuación (19):

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (19)$$

Donde:

V : Velocidad del fluido en la succión

d : Diámetro interior de la tubería

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad Dinámica

Por medio del (Anexo D, Figura D1), se encuentra:

$$\mu: 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$$

$$\rho: 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\varepsilon: \text{Rugosidad: } 4,6 \cdot 10^{-5}$$

Reemplazando en la ecuación (19) tenemos:

$$Re = \frac{Vs * ds * \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{\frac{0,43m^2}{s} * 0,0209m * \frac{1000kg^2}{m}}{1,15 * 10^{-3}N \cdot \frac{s^2}{m}}$$

$$Re = 7814,78$$

El diagrama de Moody (Anexo D, Figura D2), ayuda a determinar el valor del factor (λ) por medio del número de Reynolds y de la relación:

$$\frac{d}{\varepsilon} = \frac{0,0209}{4,6 * 10^{-5}} = 454,34$$

Con estos valores proyectados en el diagrama, tenemos un factor de fricción en la línea de succión igual a ($\lambda = 0,026$) para diámetros de $\frac{3}{4}$ "

Remplazando, λ en la ecuación (18) tenemos:

$$H_{rp} = (0,026) \frac{0,305m}{0,0209m} * \frac{(0,43m/s)^2}{2 * 9,8m/s^2}$$

$$H_{rp} = 0,036m$$

Perdidas secundarias

Según (Mott, 2006): las **pérdidas secundarias** se dan en los accesorios, como codos, reducciones, uniones, válvulas, etc., que componen el circuito hidráulico (ver tabla 7).

El factor de fricción (λ) para zonas de turbulencia completa, o en accesorios; es de 0,025 para diámetros $\frac{3}{4}$ "

TABLA 7: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de Succión.

Accesorio	Diámetro	Cantidad	Coeficiente "K"	Total
Codos de 90°	¾	2	0,75	1,5
Unión Universal	¾	1	0,5	0,5
TOTAL				2

Perdidas secundarias en la succión se calcula mediante la ecuación (19).

$$H_{rs} = K_c \frac{V^2}{2g} + K_u \frac{V^2}{2g} \quad (19)$$

Donde:

K_c : Coeficiente de pérdidas en los Codos

K_u : Coeficiente de pérdidas en Uniones

Remplazando, tenemos:

$$H_{rs} = (K_c + K_u) \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H_{rs} = (1,5 + 0,5) \frac{(0,43m/s)^2}{2 * 9,8m/s^2}$$

$$H_{rs} = 0,2m$$

Al remplazar los valores H_{rp} y H_{rs} , respectivamente, en la ecuación (17), tenemos la altura de succión:

$$H_s = 0,05m + 0,02m$$

$$H_s = 0,07m$$

2.5.3.2 ALTURA DE DESCARGA

Aplicando los mismos parámetros que en la succión, se analizara;

Altura de descarga se calcula mediante la ecuación (20).

$$H_d = H_{rp} + H_{rs} \quad (20.)$$

Donde:

H_{rp} : Perdidas de carga primaria

H_{rs} : Perdidas de carga secundaria

Perdidas primarias

En la tabla 8 se da a conocer el diámetro y longitud de la tubería de descarga del tanque principal, y en la tabla 9 del tanque auxiliar de enfriamiento.

TABLA 8: Diámetro y longitud de tubería de descarga del tanque principal

Accesorio	Diámetro	Cantidad	Longitud Unitario (cm)	Total (cm)
Neplo corto	½" x 3"	2	7,62	15,24
Neplo largo	½" x 7,5"	2	19,05	38,1
Neplo largo	½" x 5"	1	12,7	12,7
Neplo corto	½" x 2"	1	5,08	5,08
TOTAL 1				71,12

TABLA 9: Diámetro y longitud de tubería de descarga tanque auxiliar de enfriamiento

Accesorio	Diámetro	Cantidad	Longitud Unitario (cm)	Total (cm)
Neplo corto	½" x 3"	2	7,62	15,24
Neplo largo	½" x 5,5"	2	13,97	27,94
Neplo largo	½" x 2"	1	2,54	5,08
TOTAL 2				48,28
TOTAL 1 + TOTAL 2				119,4

Reemplazando en la ecuación (19) tenemos:

$$Re = \frac{V_d * d_d * \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,77m/s * 0,01579m * 1000kg/m^3}{1,15 * 10^{-3}N.s/m^2}$$

$$Re = 10572,43$$

El diagrama de Moody (Anexo D, Figura D2), ayuda a determinar el valor del factor (λ) por medio del número de Reynolds y de la relación:

$$\frac{d}{\varepsilon} = \frac{0,01579}{4,6 * 10^{-5}} = 343,26$$

El factor de fricción (λ) da un valor de; 0,030

Remplazando, λ en la ecuación (18) tenemos:

$$H_{rp} = (0,030) \frac{1,194m}{0,01579m} * \frac{(0,77m/s)^2}{2 * 9,8m/s^2}$$

$$H_{rp} = 0,07m$$

Perdidas Secundarias

En la tabla 10 y en la tabla 11 encontramos los respectivos coeficientes de pérdidas en los accesorios utilizados en la descarga del fluido, en tanque principal y en tanque auxiliar de enfriamiento respectivamente.

TABLA 10: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de descarga tanque porta probetas.

Cantidad	Accesorio	Coeficiente "K"	Total
5	Codos de 90°	0,81	4,05
1	Unión Universal	0,5	0,5
1	Válvula Check	2,7	2,7
1	Válvula de Compuerta	0,216	0,216
1	Unión TIPO "T"	1,62	1,62
TOTAL 1			9,1

TABLA 11: Accesorios y respectivos coeficientes utilizados en la línea de descarga tanque auxiliar de enfriamiento.

Cantidad	Accesorio	Coeficiente "K"	Total
6	Codos de 90°	0,81	4,86
1	Unión Universal	0,5	0,5
1	Válvula de Compuerta	0,216	0,216
TOTAL 2			5,6
TOTAL 1 + TOTAL 2			14,6

Por tanto:

Según (Mataix, 1986): las pérdidas secundarias en la descarga se determinan por la ecuación (21) .

$$H_{rs} = (K_c + K_u + K_v) \frac{V_d^2}{2 * g} \quad (21)$$

Donde:

K_c : Coeficiente de pérdidas en los Codos

K_v : Coeficiente de pérdidas en válvulas

K_u : Coeficiente de pérdidas en uniones

Remplazando tenemos:

$$h_{rs} = (\Sigma K) \frac{V_d^2}{2 * g}$$

$$h_{rs} = (146) \frac{(0,77m/s^2)^2}{2 * 9,8m/s^2}$$

$$h_{rs} = 0,44m$$

Al remplazar los valores h_{rp} y h_{rs} , para la descarga, en la ecuación (20), tenemos la altura de descarga:

$$H_d = 0,7m + 0,44m$$

$$H_d = 1,14m$$

Finalmente al remplazar las alturas de succión, y descarga en la ecuación (16), se obtiene la altura de la Bomba:

$$H_B = 0,07m + 1,14m + 0,07m$$

$$H_B = 1,28m$$

Nota: Los valores de coeficientes de perdidas, longitudes de tuberías, y lista de accesorios; utilizados se encuentran, en el (Anexo E).

2.5.3.3 CABEZA DE SUCCIÓN POSITIVA NETA (NPSH)

Según (Mott, 2006): el NPSH, disponible en una bomba depende de la naturaleza del fluido que se esté bombeando, la tubería de succión, la ubicación del depósito del fluido y la presión aplicada al fluido en el depósito, se da por la ecuación (21).

$$NPSH = h_{sp} \pm h_s + h_f - h_{vp} \quad (21)$$

Donde:

h_{sp} : Cabeza de presión estática absoluta (Metros del líquido)

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel fluido hacia la entrada de la bomba.
(m)

h_f : Perdidas por fricción en la tubería de succión. (m)

h_{vp} : Presión del vapor del líquido a temperatura de bombeo. (m)

Estos se pueden encontrar, aplicando la siguiente relación:

$$(P_{abs}) \text{ Presión Absoluta} = \text{Presión Atmosférica} - \text{Presión en el Tanque}$$

La presión atmosférica para nuestro medio es de 74,8 KPa, y la presión ejerce el fluido sobre el recipiente es ($270\text{Kg}/\text{m}^2 = 2,9\text{KPa}$) (Anexo D, Figura D3).

$$P_{abs} = 74,8\text{Kpa} - 2,9\text{Kpa}$$

$$P_{abs} = 71,86\text{Kpa}$$

La cabeza de presión estática absoluta se determina por la ecuación (22):

$$h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma} \quad (22)$$

Donde

P_{abs} : Presión absoluta

h_{sp} : Cabeza de presión estatica absoluta (Metros del líquido)

γ : Peso Especifico (N/m^3)

Reemplazando:

$$h_{sp} = \frac{71,86 * 10^{-3}\text{N}/\text{m}^2}{9810\text{N}/\text{m}^3}$$

$$h_{sp} = 7,33\text{m}$$

Nuestro sistema tiene una diferencia de altura " h_s " de 0,32m

De manera similar la presión de vapor " h_{vp} " del líquido se halla mediante el (Anexo D, Figura D4).

Reemplazando todos los valores de los términos en la ecuación (21) tenemos:

$$NPSH = 7,33\text{m} + 0,32\text{m} - 0,07\text{m} - 0,8\text{m}$$

$$NPSH = 6,98\text{m}$$

Por tanto sobre la bomba que se va a operar en este sistema debe tener una NPSH requerida, menor a 6,88m.

2.5.3.4 POTENCIA DE LA BOMBA

Según (Mataix, 1986) : la potencia necesaria en el sistema hidráulico está dado por la ecuación (23).

$$P = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H_b}{\eta} \quad (23)$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

γ : Peso Especifico (N/m^3)

H_b : Altura de la bomba(m)

η : Rendimiento total de la bomba

Al no existir curvas de funcionamiento de bombas de características similares a las necesarias que son de una potencia demasiado baja, que requiere el sistema hidráulico, se asume que la bomba tendrá un rendimiento del 75%.

$$P = \frac{\left(\frac{0,15 * 10^{-3} m^3}{s}\right) * 9810 \frac{N}{m^3} * 1,28m}{0,75}$$

$$P = 25W$$

$$P = 25W \frac{HP}{745,7W}$$

$$P = 0,034HP$$

Se puede observar que la potencia requerida por el sistema es muy pequeña en comparación con la bomba de menor capacidad disponible en el mercado, por la cual se utiliza la de potencia mínima existente en el mercado, que de acuerdo con el catálogo de Myers es de ½ HP. (Anexo F)

Por lo que para utilizar dicha bomba se realiza el diseño con bypass o retorno del caudal al recipiente principal, por medio del tanque auxiliar de enfriamiento y una válvula de compuerta, ya que permite regular el caudal necesario para realizar el ensayo.

2.6 CÁLCULO Y DISEÑO DE BOQUILLA

La finalidad de la boquilla es permitir una salida uniforme del fluido durante el ensayo, la cual deberá ser diseñada tomando en cuenta la altura del chorro, la contracción brusca, la conicidad, la fricción, etc.

Los datos iniciales de cálculo que se toman son:

- $D = 0,655 \text{ plg} = 15,79\text{mm}$: Diámetro interno de la tubería de descarga; según tablas de tubería. (Anexo C)
- $d = 0,5 \text{ plg} = 12,7\text{mm}$: Diámetro a la salida de la boquilla; según Norma "ASTM A255". (Anexo A)

2.6.1 GRADO DE CONICIDAD DE LA BOQUILLA

Para el diseño a la boquilla se analiza como un conducto con contracción suave, para lo cual el grado de conicidad se determina por la ecuación (24):

$$K = \frac{L}{(D-d)} = \frac{1}{2 * \text{Tg}\theta} \quad (24)$$

Donde:

K : Grado de conicidad de la boquilla

θ : Abertura del cono.

L : Longitud de la boquilla (30mm)

Entonces:

Despejando $\text{Tg}\theta$ de la ecuación (24), la apertura del cono se determina por:

$$Tg\theta = \frac{D-d}{2*L} \quad (25)$$

$$Tg\theta = \frac{(15,97mm - 12,7mm)}{2 * 30mm}$$

$$\theta = 3^\circ$$

Reemplazando θ en la ecuación (24), se obtiene el grado de conicidad de la boquilla.

$$K = \frac{1}{2 * Tg3^\circ}$$

$$K = 9.54^\circ$$

2.6.2 ALTURA DEL CHORRO DEL FLUIDO (VER FIGURA 41)

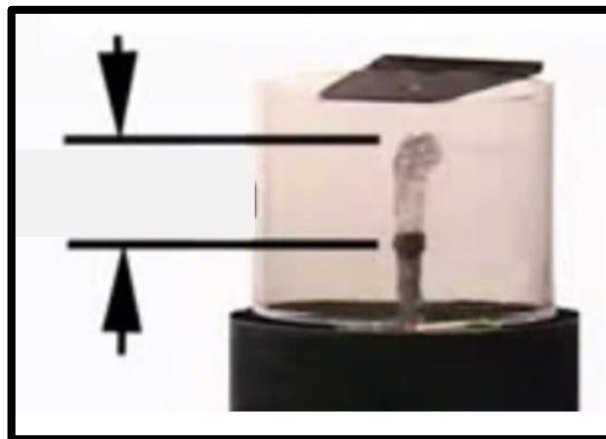


FIGURA 41: Altura del chorro del fluido

Según la norma ASTM A-255, la boquilla permite que el chorro del fluido al ser expulsado por el orificio alcance una altura, la misma que se calcula a partir de la ecuación (26):

$$V = C_c \sqrt{2gh} \quad (26)$$

Despejando h , tenemos:

$$h = \frac{V^2}{C_c^2 * 2 * g}$$

Donde:

h : Altura del chorro

C_c : Coeficiente de contracción

V = Velocidad del fluido a la salida de la boquilla

Según (Mott, 2006) aplicando la ley de la continuidad se determina:

$$Q_e = Q_{sal} \quad (27)$$

$$A_d * V_d = A_{sal} * V_{sal}$$

Donde:

A_d : Area interior de la tubería de descarga

V_d : Velocidad del fluido en la tubería de descarga

A_{sal} : Area interior de salida de la boquilla

V_{sal} : Velocidad a salida de la boquilla

Despejando V_{sal} de la ecuación (27) tenemos:

$$V_{sal} = \frac{A_d}{A_{sal}} * V_d$$

$$V_{sal} = \left(\frac{D_d}{D_{sal}}\right)^2 * V_d$$

$$V_{sal} = \left(\frac{0,01579}{0,0127}\right)^2 * 0,77$$

$$V_{sal} = 1,19m/s^2$$

Con el valor de la velocidad, y el coeficiente de contracción encontrado en (Anexos E, Figura E6), reemplazamos en la ecuación (26).

$$h = \frac{(1.19m/s^2)^2}{0.98^2 * 2 * 9.81}$$

$$h = 0.085m = 8.5cm$$

CAPÍTULO III

3 ENSAMBLAJE, Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

La estructura de la máquina Jominy está construida en material ASTM A-36 y en material AISI 305, en la cual seguidamente procedemos a ensamblar el sistema hidráulico el cual consta de varios accesorios que se encuentran detallados en tablas según la utilización requerida

3.1 ENSAMBLAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Para el ensamblaje del sistema hidráulico, en la línea de succión y de descarga se utiliza materiales que fácilmente se puede encontrar en el mercado, para que en caso de que requieran ser remplazados no haya ningún inconveniente.

3.1.1 ACCESORIOS UTILIZADOS EN EL ENSAMBLAJE DEL SISTEMA HIDRÁULICO (VER TABLA 12)

TABLA 12: Bomba utilizada en la línea de succión

N°-	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	POTENCIA
1	Bomba	1	Hierro Fundido	½ HP a 120V

Fuente: Autor

3.1.2 ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN (VER TABLA 13)

TABLA 13: Accesorios utilizados en la línea de succión

N°-	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIÓN
1	Neplo perdido	1	PVC	1"
2	Neplo Reductor	1	Galvanizado	1" a ¾"
3	Neplo Perdido	1	PVC	¾"
4	Codo 90°	2	Galvanizado	¾"
5	Neplo Largo	2	PVC	¾" x 5"
6	Unión Universal	1	Galvanizado	¾"
7	Neplo corto	1	Galvanizado	¾" x 2"

3.1.3 ENSAMBLAJE DE LA LÍNEA DE SUCCIÓN

En el ensamblaje de la línea de succión del sistema hidráulico, los accesorios detallados en las tablas 12 y 13 deben ir conectados de tal manera que quede de igual manera cómo podemos apreciar en la siguiente figura (ver figura 42)

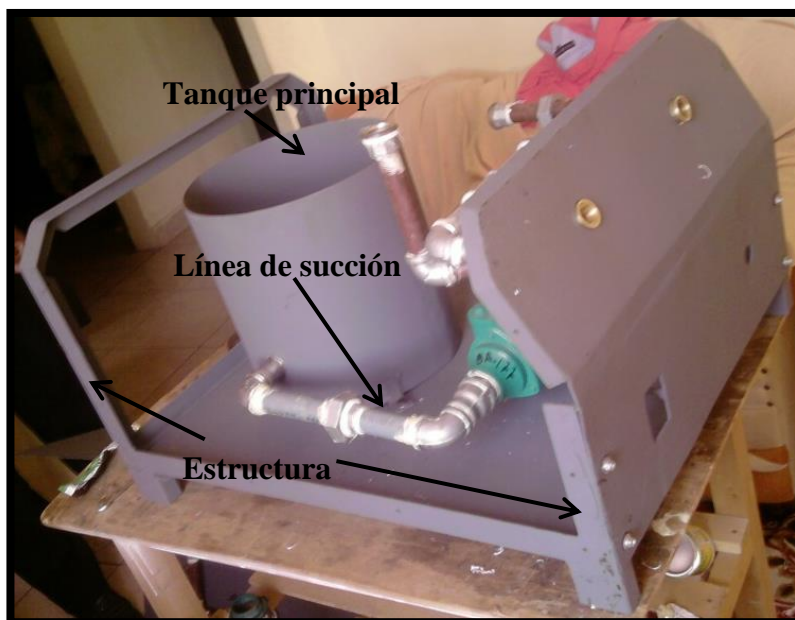


FIGURA 42: Línea de succión

Nota: ajustar cada uno de los componentes y elementos hasta que queden en la posición requerida, y no tener fugas de líquido al momento del funcionamiento

3.1.4 ACCESORIOS UTILIZADOS EN LA LÍNEA DE DESCARGA TANQUE PORTA PROBETAS Y TANQUE AUXILIAR (VER TABLA 14)

TABLA 14: Accesorios utilizados en la línea de descarga

N°-	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIÓN
1	Neplo perdido	1	PVC	1"
2	Neplo Reductor	1	Galvanizado	1" a 1/2"
3	Neplo Perdido	9	Galvanizado	1/2"
4	Válvula Check	1	Hierro fundido	1/2"
5	Unión tipo T	1	Galvanizado	1/2"
6	Neplo Corto	4	Galvanizado	1/2" x 3"

7	Codo 90°	10	Galvanizado	½"
8	Válvula de compuerta	3	Hierro fundido	½"
9	Neplo largo	2	PVC	½" x 7,5"
10	Neplo largo	1	PVC	½" x 5"
11	Unión Universal	2	Galvanizado	½"
12	Neplo corto	2	Galvanizado	½" x 2"
13	Boquilla	1	Bronce	½"
14	Neplo largo	2	PVC	½" x 5,5"

3.1.5 ENSAMBLAJE DE LÍNEA DE DESCARGA TANQUE PORTA PROBETAS Y TANQUE AUXILIAR

En el ensamblaje de la línea de descarga del sistema hidráulico, los accesorios detallados en la tabla 14 deben ir conectados de tal manera que quede de igual manera cómo podemos apreciar en la siguientes figuras, la línea de descarga que sale desde la bomba (ver figura 43), y la línea de descarga en la tapa superior (ver figura 44), para luego ser ensambladas en un solo sistema acoplando las tuberías por medio de uniones universales (ver figura 45)

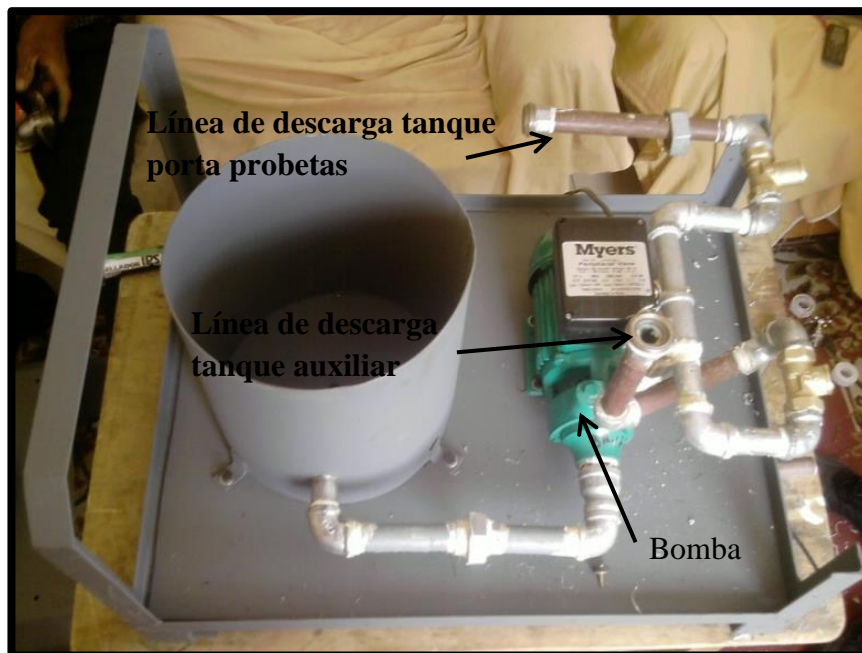


FIGURA 43: Línea de descarga



FIGURA 44: Ensamblaje de línea de descarga continuación



FIGURA 45: Ensamblaje tapa superior

Nota: ajustar cada uno de los componentes y elementos hasta que queden en la posición requerida, y no tener fugas de líquido al momento del funcionamiento

3.1.6 MÁQUINA JOMINY ENSAMBLADA (VER FIGURA 46)



FIGURA 46: Máquina Jominy

3.2 SISTEMA ELÉCTRICO

Las especificaciones de la bomba están en el anexo F

Cálculo de los componentes con $V=120V$ según catálogo LS:

- El cable a utilizar es un bipolar Número 18 de acuerdo al (ANEXO G, Figura G1)
- **Disyuntor C. 10** = $1,4 \cdot I = 10 A$ (ANEXO G, Figura G2)
- **Contactora AF09** = 35 A con bobina a 120V (ANEXO G, Figura G3)
- **Rele termico TF42** – 5,7 = 5,7 A (4,2 – 5,7)A (ANEXO G, Figura G4)

- **Temporizador multirango digital ASY – 3D = 999 segundos** (ANEXO G Figura G5)

El diagrama de conexiones se encuentra en el (ANEXO G, Figura G6)

3.2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO.

- Dimensiones: Ancho= 50 cm Alto =50 cm Profundidad=65 cm
- Potencia = 372,85W
- Alimentación = 120V
- Amperaje = 3,1 A
- Numero de fases = 1
- Controlador de tiempo = 999 segundos
- Peso = 37 Kg

3.3 PUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Para las pruebas de funcionamiento de la maquina Jominy se procede:

- Llenar de fluido el tanque principal en la medida recomendada 14 litros,
- Encender la maquina Jominy posicionando el selector en posición On.
- Con ayuda de las válvulas de control de caudal de la línea de descarga del tanque porta probetas y el tanque auxiliar nivelar la altura del chorro de agua (63.5 mm) y el caudal que circulara por el tanque auxiliar de enfriamiento (ver figura 47).

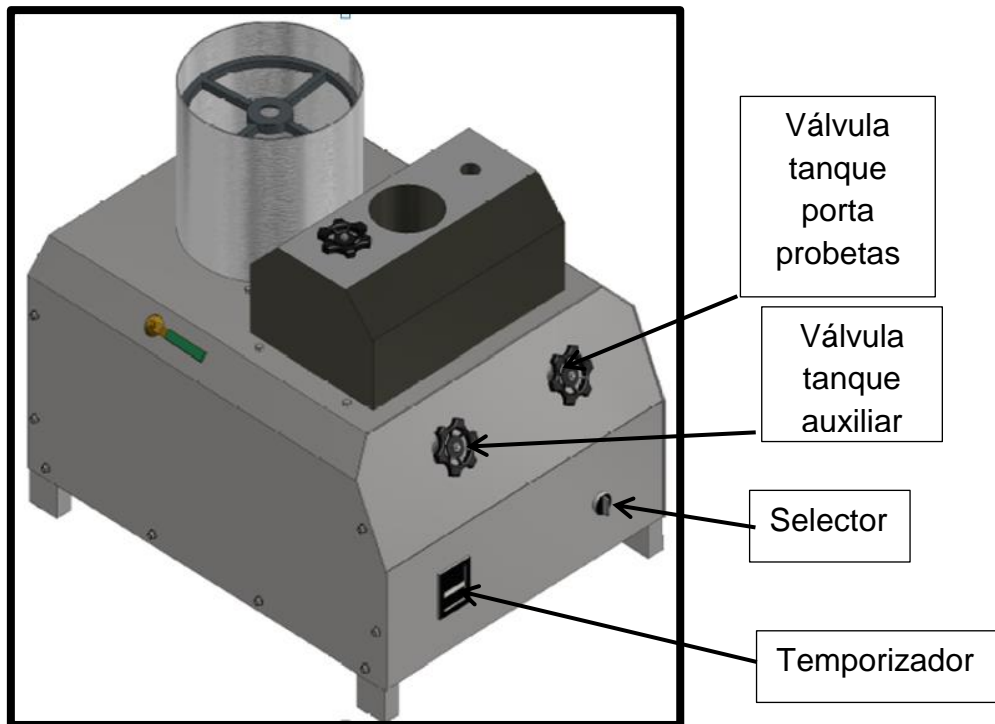


FIGURA 47: Elementos de calibración de parámetros para el ensayo

- El temporizador digital ajustar con el rango de tiempo que permanece encendido el sistema que es de 10 minutos, en este caso se ajusta en 600 segundos tiempo en el que el dura el ensayo luego se apagara de forma automática cortando el caudal del fluido.

3.4 PRUEBAS DEL ENSAYO JOMINY CON VALIDACION DE RESULTADOS

- Colocando la probeta del ensayo previamente calentada hasta temperatura de austenización se procede a encender la máquina anteriormente calibrada a los parámetros requeridos por la norma ASTM A 2-55, podemos observar que el fluido al chocar con la parte inferior de la probeta forma una película de agua en forma de hongo totalmente concéntrico realizando un temple uniforme (ver figura 48).



FIGURA 48: Película de agua en forma de hongo concéntrico

3.4.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON EL EQUIPO CONSTRUIDO

En la tabla 15 se presenta una comparación de la dureza obtenida en el ensayo de templabilidad para los aceros AISI 4340 y AISI 4140. Y para estos mismos aceros según (Villacis, 2007), con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del equipo construido.

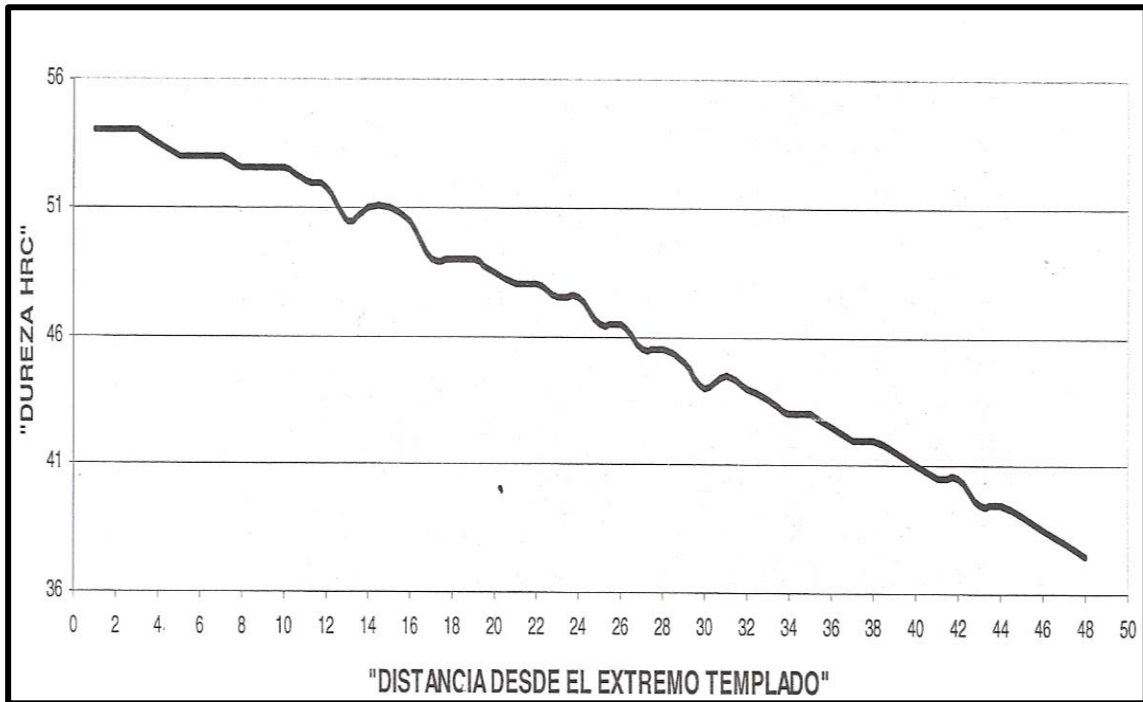
TABLA 15: Comparación de resultados obtenidos

DISTANCIAS		DUREZA RKWELL C (HRC)			
A 1/16"	PUNTOS PARA LA GRÁFICA	ACERO AISI 4340		ACERO AISI 4140	
		DUREZA SEGÚN (Villacis, 2007)	DUREZA OBTENIDA	DUREZA SEGÚN (Villacis, 2007)	DUREZA OBTENIDA
1/16	1	54	54	53	53
1/8	2	54	54	52,5	52,5
3/16	3	54	54	51,5	52,25
¼	4	53,5	53,5	51	52
5/16	5	53	53,3	50,5	51,5
3/8	6	53	53,1	50,5	51,25
7/16	7	53	53	50,5	51
½	8	52,5	52,5	49,5	50,75
9/16	9	52,5	52,4	49,5	50,25
5/8	10	52,5	52,2	49	49,75
11/16	11	52	52	49	49,25
¾	12	51,75	51,75	48,5	49
13/16	13	50,5	51,5	48	49,4
7/8	14	51	51,25	47,5	48,75
15/16	15	51	51	46	48
1	16	50,5	50,8	45	48,25
1 1/16	17	49	50,6	44,5	47,5
1 1/8	18	49	50,3	43	46,75
1 3/16	19	49	49	43	46,5
1 ¼	20	48,5	48,5	41,5	45,5
1 5/16	21	48	48,2	40,5	45,5
1 3/8	22	48	48	39,75	44,5
1 7/16	23	47,5	47,5	39,6	43,5
1 ½	24	46,5	46,9	39,5	42,5

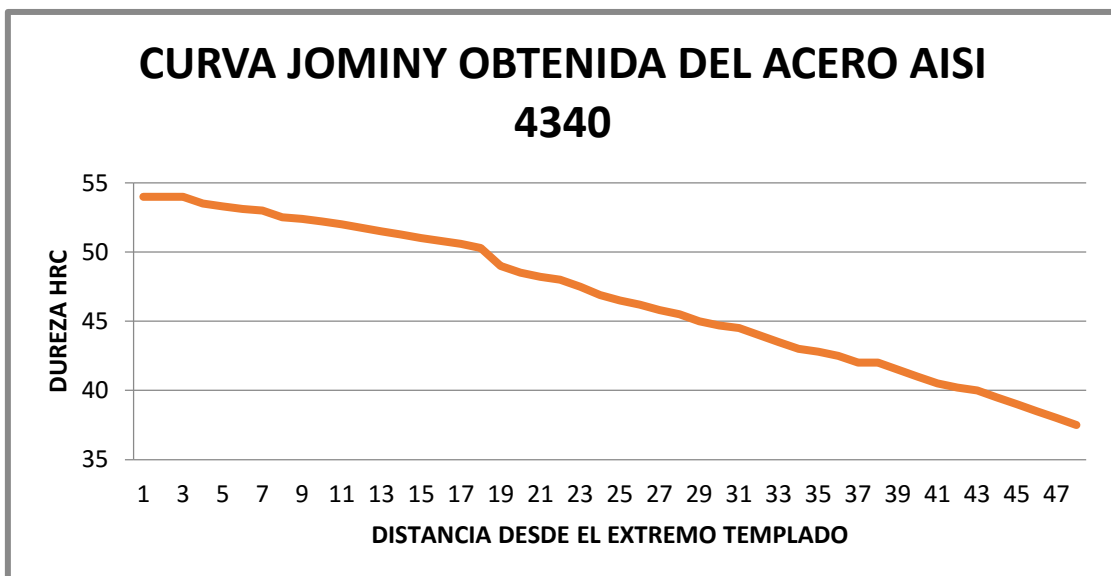
1 9/16	25	46,5	46,5	38,75	41,5
1 5/8	26	45,5	46,2	38	40,5
1 11/16	27	45,5	45,8	37,5	39,5
1 3/4	28	45,5	45,5	36,9	38,5
1 13/16	29	45	45	36	37,5
1 7/8	30	44	44,7	35,5	36,75
1 15/16	31	44,5	44,5	34,5	34,5
2	32	44	44	33,4	33,4
2 1/16	33	43,5	43,5	32,5	32,5
2 1/8	34	43	43	32,75	32,75
2 3/16	35	43	42,8	31,5	31,5
2 1/4	36	42,5	42,5	31	31
2 5/16	37	42	42	30,9	30,9
2 3/8	38	42	42	30,5	30,5
2 7/16	39	41,5	41,5	30,5	30,5
2 1/2	40	41	41	30,5	30,5
2 9/16	41	40,5	40,5	30	30
2 5/8	42	40,5	40,2	29,5	29,5
2 11/16	43	39,5	40	29,5	29,5
2 3/4	44	39,5	39,5	29,25	29,25
2 13/16	45	39	39	28,75	28,75
2 7/8	46	38,5	38,5	28,75	28,75
2 15/16	47	38	38	28,5	28,5
3	48	37,5	37,5	28,5	28,5

3.4.2 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS OBTENIDAS

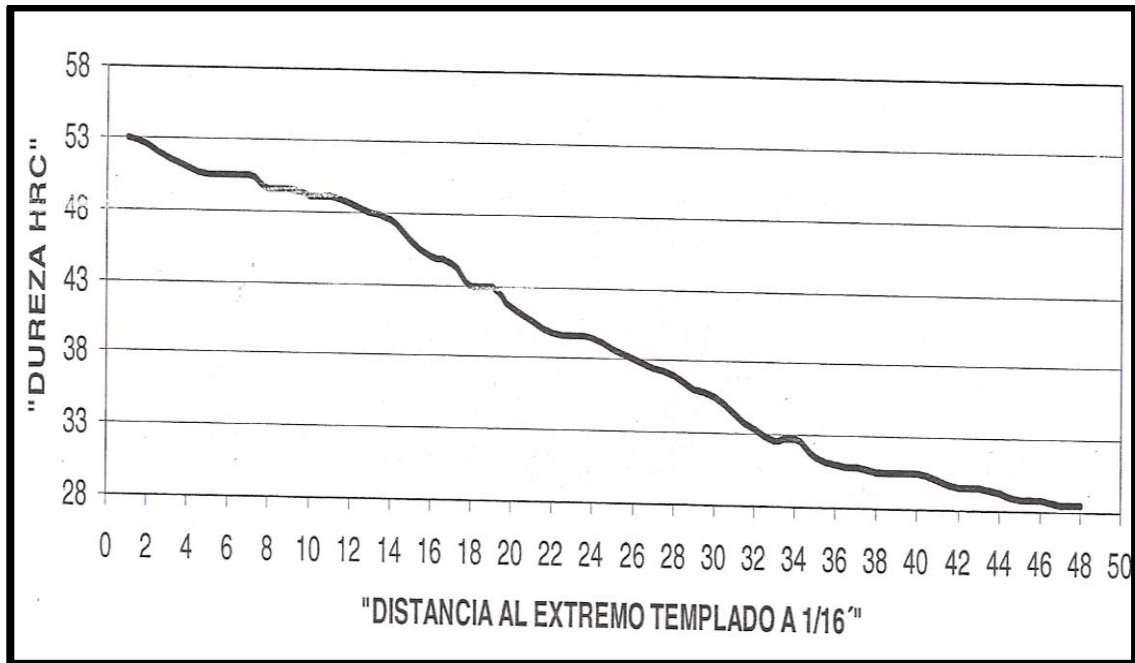
ACERO AISI 4340



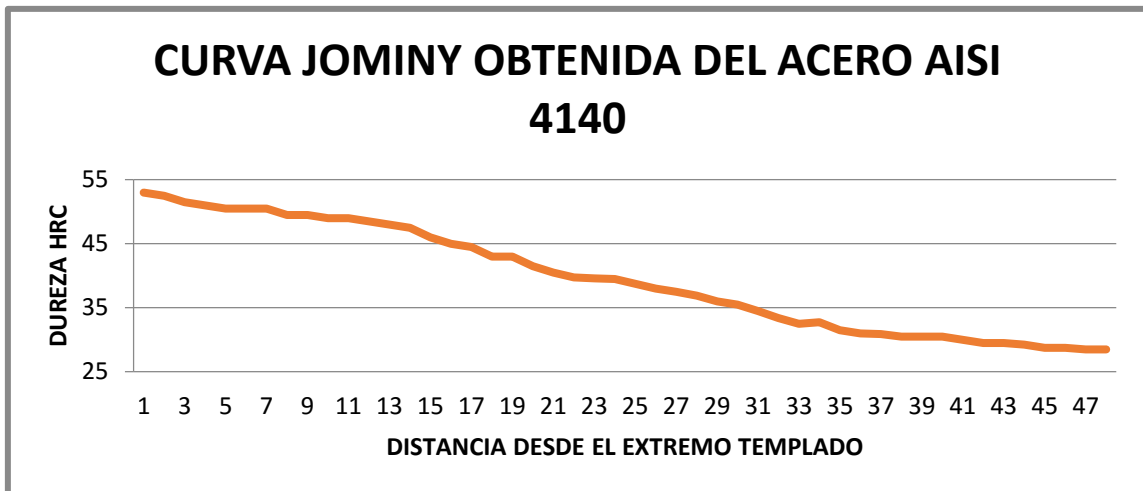
Fuete: (Villacis, 2007)



ACERO AISI 4140



Fuete: (Villacis, 2007)



3.4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En las figuras de arriba se puede observar que la curva obtenida con nuestro equipo de ensayo Jominy, es similar a la curva que hemos tomado como referencia de (Villacis, 2007) para validar nuestros resultados; por lo tanto las pruebas realizadas en la maquina Jominy demuestran su correcto funcionamiento, así que el equipo en su totalidad es un diseño dinámico y fácil de usar.

3.5 PROPUESTA DE PRACTICAS DE LABORATORIO

PRUEBA DE TEMPLABILIDAD JOMINY

PRACTICA N° 1

OBJETIVOS

1. Conocer y realizar la prueba Jominy, para determinar la templabilidad del acero _____.
2. Determinar y comparar la dureza a lo largo de la probeta de Jominy de acuerdo a diversas velocidades de enfriamiento.
3. Realizar la curva Jominy de templabilidad.

INTRODUCCIÓN

La prueba de Jominy es un procedimiento de laboratorio para medir la templabilidad de un acero. Se prepara una probeta estándar con las especificaciones de la norma ASTM A255 y se austenitiza en la manera normal para el acero dado.

El enfriamiento brusco, sin embargo se hace sólo en uno de los extremos de la probeta, por medio de un chorro estándar de agua. Así, la intensidad de enfriamiento variará a lo largo de la barra desde un máximo cerca del extremo enfriado hasta un mínimo en el otro extremo.

La medición de la dureza Rockwell C sobre una zona plana rectificada a lo largo de toda la probeta enfriada, da una indicación fidedigna de la estructura.

El diagrama de todos los valores de dureza conforma la curva de Jominy para la muestra de acero que se prueba. Debido a las inevitables variaciones de composición que ocurre durante la producción industrial de un tipo de acero específico, las curvas de Jominy varían considerablemente de una colada a otra.

La dureza mayor se encuentra en el extremo templado, (donde se tiene contacto con el agua) es en esta zona donde se forma martensita, y la dureza disminuye a medida que las mediciones se alejan de dicho extremo.

Con estos datos de algunas curvas de Jominy, para los aceros más importantes, se puede elegir el acero apropiado para una pieza determinada.

EQUIPO Y MATERIALES

- Probetas de acero que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM A255
- Hornos
- Dispositivo para ensayo Jominy
- Durómetro Rockwell.
- Guantes, pinzas y elementos de seguridad.

PROCEDIMIENTO

1.- La barra de acero que va a ensayarse tiene 4 pulgadas de longitud y una pulgada de diámetro, tiene un reborde en el extremo superior de la barra, el cual tiene como objetivo sostener la pieza.

2.- Se calienta la barra en la mufla hasta alcanzar la temperatura de austenización y se mantiene así durante 30 min aproximadamente.

3.-A continuación se coloca la probeta en el dispositivo de templabilidad (Maquina Jominy).

4.- El agua se suelta rápidamente de modo que el chorro golpee sólo el extremo de la barra, el extremo templado se enfría rápidamente y las regiones que quedan lejos del extremo se enfrían a velocidades proporcionales a su distancia de la porción templada.

5.- Después de que la barra esté fría, se retira del soporte y se toman medidas de la dureza Rockwell C cada 1/16 de pulgada en las caras planas paralelas previamente realizadas.

6.- Se deberá hacer una gráfica característica con los resultados obtenidos en el durómetro a lo largo de la barra.

PRUEBA DE TEMPLABILIDAD JOMINY

PRACTICA N° 2

OBJETIVOS

1. Conocer y realizar la prueba Jominy, para determinar la templabilidad del acero 40_____ con alto contenido de carbono y 10 _____ con bajo contenido de carbono.
2. Determinar y comparar la dureza a lo largo de las probetas de Jominy de acuerdo a diversas velocidades de enfriamiento en los dos casos.
3. Realizar las curvas Jominy de templabilidad y analizar las curvas obtenidas.

INTRODUCCIÓN

La prueba de Jominy es un procedimiento de laboratorio para medir la templabilidad de un acero. Se prepara una probeta estándar con las especificaciones de la norma ASTM A255 y se austenitiza en la manera normal para el acero dado.

El enfriamiento brusco, sin embargo se hace sólo en uno de los extremos de la probeta, por medio de un chorro estándar de agua. Así, la intensidad de enfriamiento variará a lo largo de la barra desde un máximo cerca del extremo enfriado hasta un mínimo en el otro extremo.

La medición de la dureza Rockwell C sobre una zona plana rectificada a lo largo de toda la probeta enfriada, da una indicación fidedigna de la estructura.

El diagrama de todos los valores de dureza conforma la curva de Jominy para la muestra de acero que se prueba. Debido a las inevitables variaciones de composición que ocurre durante la producción industrial de un tipo de acero específico, las curvas de Jominy varían considerablemente de una colada a otra.

La dureza mayor se encuentra en el extremo templado, (donde se tiene contacto con el agua) es en esta zona donde se forma martensita, y la dureza disminuye a medida que las mediciones se alejan de dicho extremo.

Con estos datos de algunas curvas de Jominy, para los aceros más importantes, se puede elegir el acero apropiado para una pieza determinada.

EQUIPO Y MATERIALES

- Probetas de acero que cumplan con las especificaciones de la norma ASTM A255
- Hornos
- Dispositivo para ensayo Jominy
- Durómetro Rockwell.
- Guantes, pinzas y elementos de seguridad.

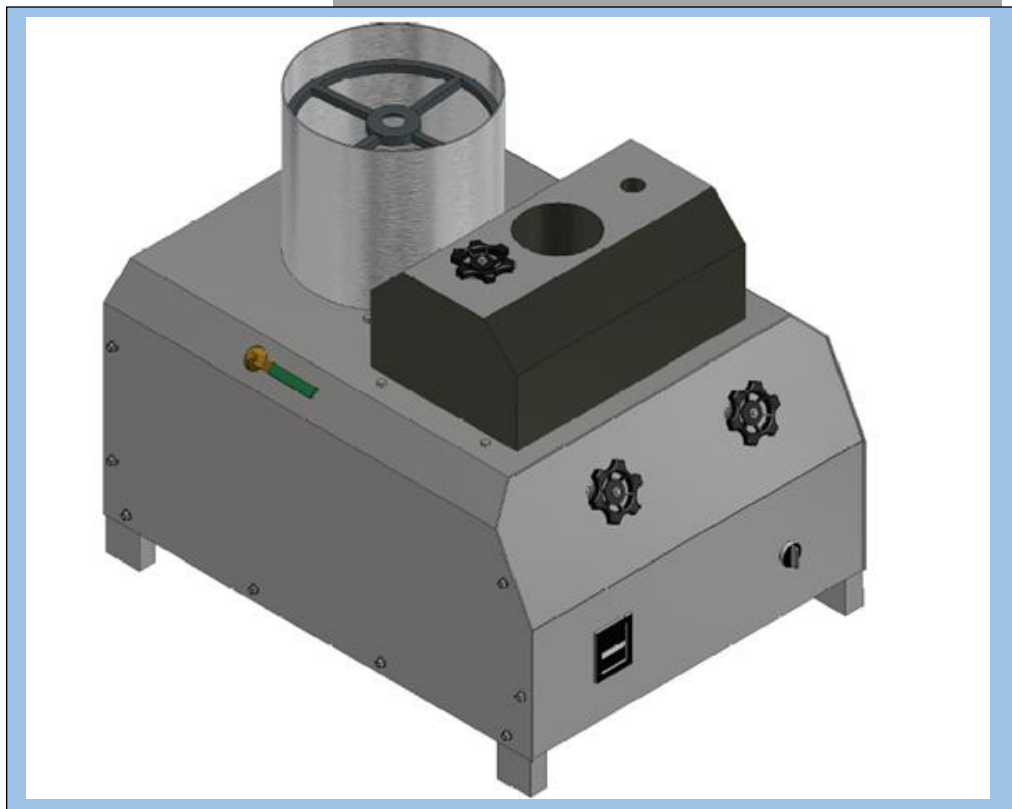
PROCEDIMIENTO

- 1.- La barra de acero que va a ensayarse tiene 4 pulgadas de longitud y una pulgada de diámetro, tiene un reborde en el extremo superior de la barra, el cual tiene como objetivo sostener la pieza.
- 2.- Se calienta la barra en la mufla hasta alcanzar la temperatura de austenización y se mantiene así durante 30 min aproximadamente.
- 3.-A continuación se coloca la probeta en el dispositivo de templabilidad (Maquina Jominy).
- 4.- El agua se suelta rápidamente de modo que el chorro golpee sólo el extremo de la barra, el extremo templado se enfría rápidamente y las regiones que quedan lejos del extremo se enfrían a velocidades proporcionales a su distancia de la porción templada.
- 5.- Después de que la barra esté fría, se retira del soporte y se toman medidas de la dureza Rockwell C cada 1/16 de pulgada en las caras planas paralelas previamente realizadas.
- 6.- Se deberá hacer una gráfica característica con los resultados obtenidos en el durómetro a lo largo de la barra.

3.6 MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA

2016

MÁQUINA JOMINY DE TEMPLABILIDAD DE ACEROS



La máquina Jominy es aquella que permite templar probetas de acero mediante la norma ASTM A-255

3.6.1 ADVERTENCIAS DE SEGURIDAD

- Antes de usar la maquina Jominy, compruebe que el voltaje de la red eléctrica sea de 120 VAC.
- La máquina Jominy debe ser ubicada en una base firme y nivelada
- La máquina Jominy ha sido fabricada únicamente para hacer tratamientos térmicos de templabilidad en aceros, bajo la norma ASTM A 255, por lo que utilizarlo para otro uso seria indebido.
- Bajo ningún concepto debe abrir el tablero de control de esta máquina mientras no se tenga conocimiento adecuado de su funcionamiento.
- En caso de mal funcionamiento de la máquina Jominy, desenchúfelo o apáguelo por completo.
- El fabricante no puede considerarse responsable de daños derivados del mal uso de la máquina Jominy.
- Cuando la maquina no esté en funcionamiento vaciar el líquido que se utilizara para el ensayo, para evitar oxidaciones de los componentes.
- Cumplir con las señalizaciones de advertencia y peligro ubicadas en la máquina.

INTRODUCCIÓN

La máquina Jominy permite enfriar probetas desde temperaturas de austenización de los aceros hasta temperatura ambiente, es así que, podemos realizar el temple. Este proceso es controlado mediante un temporizador digital multigrano que mantiene encendida la máquina durante el ensayo.

En ese manual se muestra información acerca de los componentes de la máquina Jominy (ver figura 47), su uso y la forma de lograr que funcione correctamente y de corregir los posibles problemas que se presentan antes, durante y después de su uso.

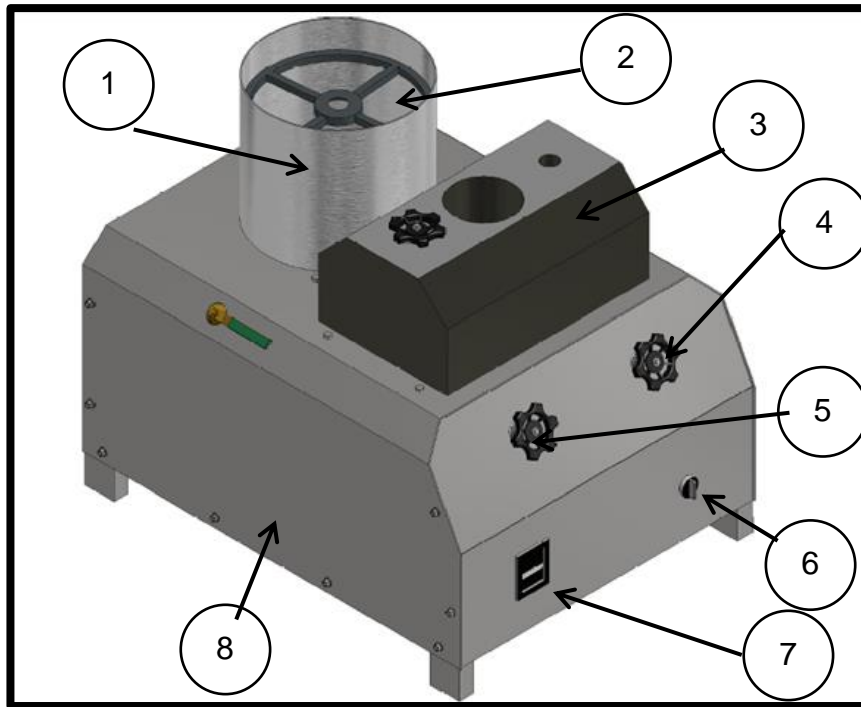


FIGURA 49: Componentes de la máquina

En la tabla 15 se detalla y se describe a cada uno de los componentes.

TABLA 16: Componentes de la máquina

COMPONENTES DE LA MÁQUINA		
NÚMERO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	TANQUE PORTA PROBETAS	ES EL ENCARGADO DE SOPORTAR EL PORTA PROBETAS Y EVACUAL EL LÍQUIDO
2	PORTA PROBETAS	SOPORTA LA PROBETA DURANTE EL ENSAYO
3	TANQUE AUXILIAR	DESPUES DEL ENSAYO AYUDA A ENFRIAR EN SU TOTALIDAD A LA PROBETA
4	VÁLVULA TANQUE PORTA PROBETAS	PERITE REGULAR EL CAUDAL QUE LLEGARÁ AL TANQUE PORTAPROBETAS
5	VÁLVULA TANQUE AUXILIAR	PERITE REGULAR EL CAUDAL QUE LLEGARÁ AL TANQUE AUXILIAR
6	SELECROR ON - OFF	ENSENDIDO Y APAGADO DE LA MÁQUINA
7	TEMPORIZADOR MULTIRANGO	REGULAR EL TIEMPO EXACTO QUE SE NECESITA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO
8	ESTRUCTURA	

3.6.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO	
PARAMETROS	TÍPICO
Dimensiones	50X50X65 CM
Potencia	372,85 W
Amperaje	3,1
Numero de fases	1
Controlador de tiempo	999 segundos
Peso	37 Kg
Alimentación	120 V

3.6.3 OPERACIÓN DEL EQUIPO

Las siguientes indicaciones son para el uso adecuado del equipo y evitar accidentes de operación o daños de los elementos de este.

Alimentación de la máquina Jominy: Para conectar la máquina a la corriente eléctrica se debe asegurar de que la toma sea de 120 VAC, y el selector debe estar en la posición off.

Puesta en marcha de la máquina Jominy: Para poner en marcha la máquina se debe estar seguro que todo esté funcionando bien.

Configuración del tiempo: Para configurar el tiempo debemos de igualar el set point a 600, ya que la lectura está dada en segundos y equivale a 10 minutos.

3.6.4 FALLAS FRECUENTES DEL EQUIPO

A continuación daremos una lista de las fallas que se considera más frecuentes en esta clase de equipos.

- Desconfiguración del temporizador.
- Desconfiguración de los caudales
- Perdida de voltaje en la unidad
- Oxidación, por dejar por periodos largos de tiempo al equipo con agua en reposo.
- Los contactos pueden estar sueltos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los componentes y accesorios utilizados para construir la maquina Jominy, son los indicados porque brinda un correcto funcionamiento durante el ensayo, y se eligieron teniendo en cuenta estándares y normas de los materiales y accesorios disponibles en el mercado.
2. La potencia de la bomba que necesitamos, para la alimentación de fluido, es relativamente bajo, por lo que el caudal y las perdidas encontradas en accesorios son pequeñas, y para cumplir con la normalización se elige una bomba de $\frac{1}{2}$ Hp, que es la de mínima potencia existente en nuestro medio.
3. La implementación de este proyecto permite poner en práctica los conocimientos adquiridos, mediante el proceso de realizar un tratamiento térmico de temple de los aceros.
4. El funcionamiento de la máquina Jominy es el adecuado ya que cumple con todos los parámetros requeridos al momento de la realización del ensayo, una película de agua uniforme y en forma de hongo concéntrico.
5. Una maquina Jominy de estas características ocupa menos espacio, luego de haber ajustado debidamente los parámetros requeridos para el ensayo, su funcionamiento es inmediato después de ser energizado.
6. La máquina Jominy está lista para ser utilizada en prácticas de templabilidad de los aceros ya sean estos de bajo o alto contenido de carbono.
7. La cantidad de líquido que tolera la maquina en el tanque principal es el necesario para tener un caudal constante durante el ensayo, sin alterar el rango de temperatura, requerido del fluido.

RECOMENDACIONES

1. Para un buen uso y obtener el máximo rendimiento de la máquina Jominy es recomendable y primordial leer y estudiar el manual de usuario, así se garantiza el correcta y manipulación y un óptimo funcionamiento del equipo.
2. Se debe de tener cuidado de no encender la maquina cuando las válvulas estén completamente cerradas, las presiones que soportaría serían demasiado altas poniendo en riesgo el sistema hidráulico.
3. Se debe de utilizar equipo de protección y seguridad industrial básicos como: guantes, mandil, gafas de protección, pinzas entre otros, para trabajar con temperaturas elevadas,
4. En caso de presentarse algún inconveniente, es necesario poner el selector en la posición off, para detener todo el proceso y así evitar cualquier tipo de accidentes.
5. Se debe realizar el mantenimiento del sistema eléctrico máximo cada 6 meses, ya que los dispositivos pueden afectarse a causa de mal funcionamiento o mala operación de la máquina.
6. Revisar que la máquina no permanezca largos periodos de tiempo con líquido en el tanque principal, ya que puede generar oxidación del mismo.
7. El temporizador multigrano digital debe ser manipulado únicamente cuando la maquina esta sin energía eléctrica, para prolongar el tiempo vida útil del mismo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

LIBROS

Avner. (1998). *Introducción a la Metalurgia Física*. México.

Barreiro, J. A. (1984). *Tratamientos termicos de los aceros*. Madrid, España:
Dossat S.A.

Lucchesi, I. D. (1973). *Tratamientos Termicos. Labor*.

Mataix, C. (1986). *MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRAULICAS*.
España: Ediciones del castillo S.A.

Mott. (2006). *Mecánica de fluidos Sexta Edición*. México: PEARSON
EDUCACIÓN.

Mott, R. L. (1996). *MECANICA DE FLUIDOS APLICADA Cuarta edición*. México:
Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Shigley, J. (2008). *Diseño de ingeniería mecánica*. Mexico: Mac Graw-Hill.

Streeter, V. L. (2000). *Mecánica de fluidos*. Bogotá: mc.Graw Hill.

Sturla, I. A. (2002). *Tratamientos Termicos de los aceros*. Buenos Aires
Argentina: Nueva Libreria SRL.

Villacis, M. (2007). *Máquina Jominy*. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato.

LINKOGRAFÍA

1. LS: Catálogos LS industrial systems Direct Industry Recuperado de :<http://pdf.directindustry.es/pdf/ls-industrial-systems-19851.html>.
2. IE: Instalaciones Eléctricas. Scribd. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/51508573/Calibres-de-cables>.
3. Normas para Ensayos, Recuperado de < <http://www.ASTM.es/lletra/noms/edors/>>,2005
4. Recuperado de :<http://armasblancas.mforos.com>. (s.f.).
5. Recuperado de: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Acero>. (s.f.).
6. Recuperado de: <http://www.textoscientificos.com/quimica/acero>. (s.f.).

ANEXOS

ANEXO A

NORMA ASTM A-255 DE TEMPLABILIDAD, ENSAYO JOMINY



Designation: A 255 – 02

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
Chromium	1.35 max
Nickel	1.50 max
Molybdenum	0.55 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 appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

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 March 10, 2002. Published May 2002. Originally published as A 255–42. Last previous edition A 255–99.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials²
- E 112 Test Methods for Determining the Average Grain Size²

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 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

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

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)
2300, 2500, 3300, 4800, 9300	0.37 and over	1600 (870)	1550 (845)
	0.25 and under	1700 (925)	1550 (845)
	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1500 (815)
9200	0.37 and over	1600 (870)	1475 (800)
	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.

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 Fig. 2 and Fig. 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.

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 $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm). Resting the specimen in a V-block is not permitted.

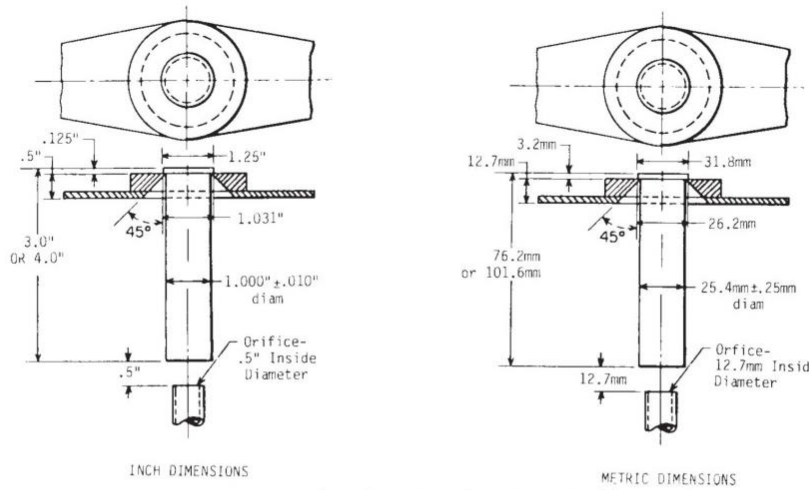


FIG. 1 Test Specimen in Support for Water Quenching

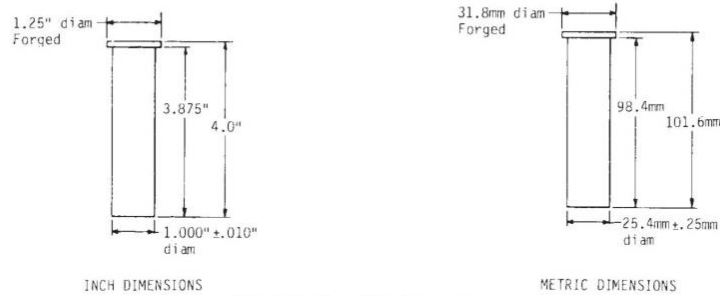


FIG. 2 Preferred Test Specimen

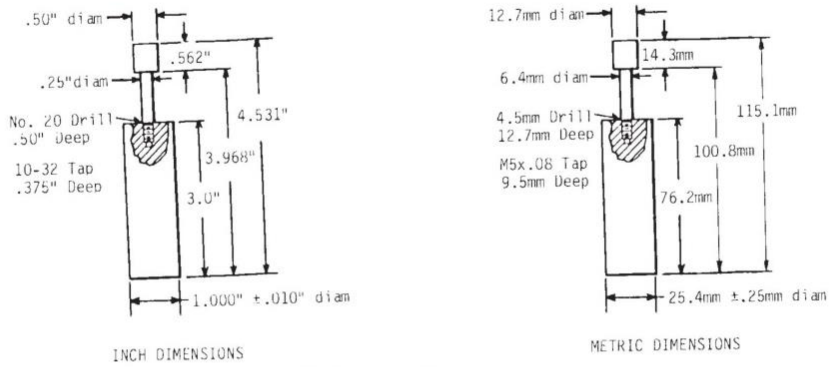


FIG. 3 Optional Test Specimen

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 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 $1/16$ 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

**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	NORM. TEMP., °F.	QUENCH TEMP., °F.
8740	19 297	8-7	.44	.89	.019	.016	.27	.58	.50	.25	1600	1550
8620	62 1271	7-8	.19	.80	.015	.015	.23	.46	.52	.22	1700	1700

REMARKS:

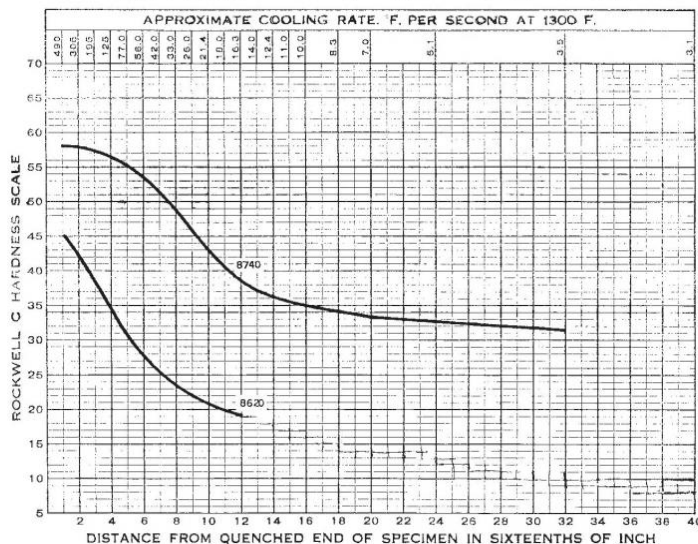


FIG. 4 Facsimile of Standard ASTM Hardenability Chart, Showing Typical Hardenability Curves [Chart Size: 8½ by 11 in. (216 by 279 mm)]

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 ¹/₁₆ in. (6.4 mm) = 47 HRC min, J ⁷/₁₆ in. (11.1 mm) = 50 HRC max, and J 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
Chromium	1.35 max
Nickel	1.50 max
Molybdenum	0.55 max

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.

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

³ Standard ASTM Hardenability Charts (8½ by 11 in. pads of 50 charts) are available from ASTM International Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, W. Conshohocken, PA 19428. Request Adjunct ADJA0255.

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	1.750
Copper	0.10	1.040

where:

$$DI = 0.119 \times 3.667 \times 1.126 \times 1.036 \times 1.929 \times 1.75 \times 1.04 \times = 1.79 \text{ in.}$$

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	B	Calculated DI (boron excluded) 1.24 in.
	0.29	1.25	0.20	0.13	0.07	0.03	0.0015	
End-Quench Test Results, in.								
"J" Position (¹ / ₁₆ in.)	1	2	3	4	5	6	7	
Hardness, HRC	50	50	49	48	47	45	41	
"J" Position (¹ / ₁₆ in.)	8	9	10	12	14	16		
Hardness, HRC	38	33	28	25	22	20		

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 ⁸/₁₆ in. from the quenched end (interpolation required).

10.4.4 From Table 8 (in.), a “J” distance of ⁸/₁₆ in. equates to a measured DI of 2.97 in. (interpolation required).

$$\text{Boron factor} = \frac{2.97 \text{ in.}}{1.24 \text{ in.}} = 2.4 \text{ boron factor} \quad (2)$$

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 1.24 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:

$$\text{Alloy factor} = \frac{\text{Calculated DI (without boron)}}{\text{Carbon multiplying factor}} = \frac{1.24 \text{ in.}}{0.157 \text{ in.}} = 8 \quad (3)$$

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, the boron multiplying factor is 2.36 (interpolation required).

10.4.6 Calculate the DI with boron as follows:

where:

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

$$DI_B = 1.24 \text{ in.} \times 2.36$$

$$DI_B = 2.93 \text{ in.}$$

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 $J = 1/16$ 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 1.79 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 *Equations for Tables 2-10*—Equations representing a least squares polynomial fit of the data contained in Tables 2-10 are listed in Tables 7-6. 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

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

Ideal Jominy D ₁ , 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	
1.0	1.15	1.50	2.15	2.46	2.72	2.81	2.92	3.07	3.22	3.50								
1.1	1.12	1.42	1.98	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	3.78			
1.5	1.05	1.19	1.56	1.90	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	2.38	2.47	2.73	2.83	2.94	3.09	3.20	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	3.08	3.30	3.51	3.63	
1.8	1.02	1.10	1.37	1.66	1.92	2.02	2.11	2.19	2.29	2.53	2.63	2.73	2.85	2.96	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	2.85	3.05	3.24	3.36	
2.0	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	2.94	3.12	3.24	
2.1	1.01	1.07	1.26	1.48	1.71	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	1.43	1.66	1.73	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	1.16	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	2.56	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	1.51	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	1.60	1.78	1.87	1.97	2.03	2.10	2.25	2.37	2.48	
3.0	1.00	1.02	1.10	1.19	1.31	1.37	1.44	1.50	1.57	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	2.00	2.14	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	1.29	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	1.33	1.37	1.43	1.56	1.65	1.75	1.81	1.87	2.00	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	1.04	1.09	1.17	1.22	1.28	1.32	1.37	1.49	1.58	1.68	1.73	1.80	1.92	2.02	2.10	
3.7	1.00	1.00	1.04	1.08	1.15	1.20	1.25	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	1.03	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	1.26	1.30	1.40	1.48	1.58	1.63	1.69	1.79	1.90	1.97	
4.0	1.00	1.00	1.02	1.05	1.11	1.15	1.20	1.24	1.28	1.38	1.45	1.55	1.60	1.65	1.76	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	1.72	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	1.86	
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	1.65	1.75	1.82	
4.4	1.00	1.00	1.00	1.01	1.07	1.10	1.14	1.16	1.21	1.28	1.35	1.43	1.48	1.52	1.61	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	1.58	1.67	1.75	
4.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.08	1.11	1.13	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	1.12	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	1.20	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	
5.0	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	1.38	1.48	1.56	
5.2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.16	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	1.15	1.18	1.24	1.26	1.28	1.33	1.42	1.50	
5.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.08	1.14	1.17	1.22	1.24	1.25	1.31	1.39	1.48	
5.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.07	1.13	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	1.12	1.15	1.19	1.20	1.21	1.28	1.34	1.43	
5.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.10	1.14	1.18	1.18	1.20	1.26	1.32	1.41
5.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	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	1.00	1.03	1.08	1.12	1.15	1.16	1.16	1.24	1.28	1.36
6.0	1.00	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	1.00	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	1.00	1.05	1.09	1.11	1.12	1.13	1.20	1.23	1.30
6.3	1.00	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	1.00	1.03	1.07	1.09	1.10	1.11	1.18	1.20	1.27
6.5	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	1.09	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	1.01	1.05	1.07	1.08	1.09	1.16	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	1.00	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	1.00	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	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.10	1.14	1.17
7.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.13	1.15

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

Nominal Critical Diameter (D _c), mm	Jominy End-Quench Distance (mm)																
	3	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0
25.0	1.13	1.44	2.01	2.35	2.61	2.77	2.85	2.99	3.14	3.41							
27.5	1.11	1.38	1.89	2.23	2.50	2.68	2.76	2.89	3.02	3.28							
30.0	1.09	1.32	1.76	2.11	2.38	2.56	2.65	2.77	2.89	3.14							
32.5	1.07	1.27	1.66	2.00	2.27	2.46	2.54	2.65	2.77	3.01	3.17						
35.0	1.06	1.22	1.57	1.91	2.17	2.35	2.44	2.55	2.65	2.89	3.04	3.16					
37.5	1.05	1.18	1.50	1.82	2.08	2.26	2.35	2.45	2.55	2.78	2.92	3.04	3.16	3.44			
40.0	1.04	1.15	1.43	1.74	1.99	2.17	2.25	2.35	2.44	2.67	2.81	2.93	3.04	3.29			
42.5	1.03	1.12	1.38	1.66	1.90	2.08	2.16	2.26	2.35	2.57	2.71	2.82	2.92	3.16	3.37	3.55	3.72
45.0	1.02	1.10	1.32	1.60	1.83	2.00	2.08	2.17	2.26	2.48	2.62	2.72	2.82	3.02	3.24	3.41	3.58
47.5	1.02	1.08	1.29	1.54	1.76	1.92	2.00	2.09	2.18	2.39	2.53	2.63	2.72	2.92	3.12	3.28	3.43
50.0	1.01	1.07	1.25	1.49	1.70	1.85	1.92	2.01	2.09	2.30	2.44	2.54	2.63	2.81	3.00	3.16	3.31
52.5	1.01	1.06	1.23	1.44	1.63	1.78	1.86	1.94	2.02	2.22	2.36	2.46	2.55	2.71	2.89	3.04	3.18
55.0	1.00	1.06	1.20	1.39	1.58	1.72	1.79	1.88	1.95	2.15	2.28	2.38	2.46	2.62	2.79	2.94	3.09
57.5	1.00	1.05	1.18	1.35	1.52	1.66	1.73	1.82	1.89	2.09	2.22	2.31	2.39	2.54	2.70	2.85	3.00
60.0	1.00	1.05	1.16	1.32	1.48	1.61	1.67	1.75	1.82	2.02	2.15	2.23	2.31	2.47	2.62	2.76	2.89
62.5	1.00	1.04	1.14	1.29	1.44	1.56	1.62	1.70	1.77	1.95	2.08	2.17	2.24	2.40	2.55	2.68	2.81
65.0	1.00	1.04	1.13	1.26	1.40	1.51	1.57	1.65	1.72	1.89	2.02	2.10	2.18	2.34	2.48	2.60	2.72
67.5	1.00	1.03	1.12	1.24	1.36	1.47	1.53	1.61	1.67	1.84	1.97	2.05	2.13	2.28	2.42	2.54	2.66
70.0	1.00	1.03	1.10	1.21	1.33	1.43	1.49	1.57	1.63	1.79	1.91	1.99	2.07	2.22	2.36	2.47	2.57
72.5	1.00	1.03	1.09	1.19	1.30	1.39	1.45	1.53	1.58	1.74	1.86	1.94	2.02	2.16	2.30	2.41	2.51
75.0	1.00	1.02	1.08	1.17	1.27	1.36	1.41	1.49	1.54	1.70	1.81	1.89	1.97	2.10	2.24	2.34	2.44
77.5	1.00	1.01	1.07	1.15	1.24	1.33	1.38	1.45	1.51	1.65	1.76	1.84	1.92	2.05	2.18	2.28	2.38
80.0	1.00	1.00	1.06	1.13	1.22	1.30	1.35	1.42	1.47	1.61	1.72	1.80	1.88	2.01	2.13	2.23	2.33
82.5	1.00	1.00	1.06	1.12	1.20	1.28	1.33	1.39	1.44	1.57	1.68	1.76	1.84	1.97	2.09	2.19	2.29
85.0	1.00	1.00	1.05	1.11	1.18	1.25	1.30	1.36	1.41	1.54	1.64	1.72	1.80	1.92	2.04	2.09	2.14
87.5	1.00	1.00	1.05	1.09	1.16	1.23	1.28	1.33	1.38	1.51	1.60	1.68	1.76	1.87	1.99	2.05	2.10
90.0	1.00	1.00	1.04	1.08	1.14	1.20	1.25	1.31	1.36	1.47	1.57	1.65	1.73	1.84	1.95	2.01	2.06
92.5	1.00	1.00	1.03	1.07	1.13	1.18	1.23	1.28	1.33	1.44	1.53	1.61	1.69	1.80	1.91	1.96	2.00
95.0	1.00	1.00	1.03	1.07	1.12	1.17	1.21	1.26	1.31	1.41	1.50	1.58	1.66	1.76	1.86	1.92	1.97
97.5	1.00	1.00	1.02	1.06	1.10	1.15	1.20	1.25	1.28	1.38	1.47	1.55	1.63	1.73	1.83	1.89	1.94
100.0	1.00	1.00	1.02	1.05	1.09	1.14	1.18	1.23	1.26	1.36	1.44	1.52	1.60	1.70	1.80	1.86	1.91
102.5	1.00	1.00	1.02	1.04	1.08	1.13	1.17	1.21	1.24	1.34	1.41	1.49	1.56	1.66	1.76	1.82	1.87
105.0	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.12	1.16	1.19	1.22	1.31	1.39	1.47	1.53	1.63	1.73	1.78	1.82
107.5	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.11	1.14	1.17	1.20	1.28	1.36	1.44	1.50	1.59	1.69	1.75	1.80
110.0	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.10	1.13	1.16	1.19	1.27	1.34	1.41	1.47	1.57	1.66	1.71	1.75
112.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.09	1.12	1.15	1.18	1.25	1.32	1.39	1.44	1.53	1.62	1.67	1.71
115.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.08	1.10	1.13	1.16	1.23	1.29	1.36	1.42	1.50	1.59	1.64	1.68
117.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.07	1.09	1.12	1.15	1.21	1.27	1.34	1.40	1.47	1.55	1.60	1.64
120.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.08	1.11	1.14	1.20	1.26	1.33	1.38	1.43	1.51	1.57	1.62
122.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.18	1.24	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.59
125.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.09	1.11	1.17	1.22	1.28	1.33	1.38	1.45	1.51	1.56
127.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.08	1.10	1.16	1.21	1.27	1.31	1.35	1.42	1.48	1.53
130.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.07	1.09	1.15	1.20	1.25	1.29	1.33	1.40	1.45	1.50
130.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.08	1.14	1.19	1.23	1.27	1.31	1.37	1.43	1.47
135.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.07	1.13	1.17	1.21	1.25	1.29	1.35	1.40	1.44
137.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.12	1.16	1.20	1.23	1.26	1.32	1.38	1.42
140.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.10	1.15	1.19	1.21	1.24	1.31	1.35	1.39
142.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.10	1.14	1.17	1.19	1.22	1.29	1.33	1.37
145.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.08	1.13	1.16	1.18	1.21	1.27	1.31	1.35
147.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.07	1.12	1.15	1.16	1.19	1.25	1.29	1.33
150.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.06	1.11	1.14	1.15	1.18	1.24	1.28	1.31
152.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.10	1.12	1.13	1.16	1.22	1.27	1.30
155.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	1.09	1.11	1.12	1.15	1.21	1.25	1.28
157.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.08	1.10	1.11	1.14	1.20	1.24	1.27
160.0	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	1.13	1.19	1.23	1.26
162.5	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	1.12	1.18	1.22	1.25
165.0	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	1.16	1.20	1.24
167.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.06	1.07	1.10	1.15	1.18	1.22
170.0	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	1.09	1.14	1.17	1.21
172.5	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	1.08	1.12	1.16	1.20
175.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04	1.07	1.10	1.14	1.19
177.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.06	1.09	1.12	1.18

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

Ideal analyzer H_B , 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
1.5	1.10	1.14	1.88	2.52	2.90	3.22											
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	3.00										
1.8	1.06	1.09	1.34	1.75	2.31	2.63	2.82	3.00									
1.9	1.05	1.08	1.25	1.59	2.14	2.45	2.66	2.83	3.08								
2.0	1.04	1.07	1.19	1.46	1.98	2.28	2.51	2.70	2.88	3.34							
2.1	1.03	1.06	1.14	1.36	1.83	2.12	2.36	2.52	2.70	3.15	3.70						
2.2	1.02	1.05	1.11	1.29	1.70	1.98	2.21	2.38	2.53	2.98	3.48	3.87					
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	1.01	1.03	1.08	1.20	1.48	1.72	1.95	2.11	2.24	2.67	3.11	3.45	3.64				
2.5	1.01	1.03	1.07	1.17	1.39	1.61	1.83	1.99	2.12	2.54	2.95	3.26	3.45	3.62	4.00		
2.6	1.00	1.03	1.06	1.15	1.31	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	1.02	1.05	1.14	1.25	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	1.20	1.36	1.53	1.69	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	1.16	1.30	1.45	1.59	1.72	2.08	2.40	2.64	2.83	3.01	3.33	3.59	4.01
3.0	1.00	1.00	1.04	1.11	1.14	1.24	1.38	1.50	1.64	1.99	2.29	2.52	2.70	2.88	3.18	3.41	3.78
3.1	1.00	1.00	1.03	1.10	1.12	1.20	1.31	1.42	1.57	1.91	2.19	2.40	2.57	2.75	3.03	3.25	3.57
3.2	1.00	1.00	1.03	1.09	1.10	1.17	1.25	1.37	1.51	1.83	2.10	2.30	2.46	2.63	2.90	3.10	3.39
3.3	1.00	1.00	1.02	1.08	1.09	1.14	1.20	1.32	1.45	1.75	2.01	2.20	2.35	2.51	2.77	2.97	3.22
3.4	1.00	1.00	1.02	1.07	1.08	1.12	1.17	1.28	1.40	1.69	1.93	2.10	2.25	2.40	2.66	2.84	3.07
3.5	1.00	1.00	1.01	1.06	1.07	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	1.09	1.12	1.22	1.31	1.57	1.78	1.93	2.07	2.21	2.45	2.63	2.82
3.7	1.00	1.00	1.00	1.04	1.05	1.08	1.10	1.19	1.27	1.51	1.72	1.86	2.00	2.12	2.35	2.54	2.71
3.8	1.00	1.00	1.00	1.04	1.05	1.07	1.09	1.17	1.24	1.47	1.66	1.80	1.92	2.04	2.26	2.44	2.61
3.9	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.06	1.08	1.15	1.21	1.42	1.60	1.74	1.85	1.96	2.18	2.36	2.52
4.0	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.06	1.08	1.13	1.19	1.38	1.55	1.68	1.78	1.89	2.11	2.29	2.44
4.1	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.12	1.16	1.34	1.50	1.63	1.73	1.82	2.04	2.21	2.37
4.2	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.07	1.11	1.14	1.31	1.46	1.58	1.68	1.76	1.98	2.15	2.30
4.3	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.10	1.13	1.28	1.42	1.54	1.62	1.71	1.92	2.09	2.23
4.4	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.09	1.11	1.25	1.38	1.50	1.58	1.66	1.86	2.03	2.17
4.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.23	1.35	1.46	1.54	1.61	1.81	1.97	2.11
4.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.09	1.21	1.32	1.43	1.50	1.57	1.76	1.92	2.06
4.7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.07	1.09	1.19	1.29	1.40	1.47	1.53	1.72	1.87	2.00
4.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.06	1.08	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	1.01	1.03	1.04	1.06	1.07	1.15	1.24	1.35	1.41	1.47	1.63	1.79	1.91
5.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.14	1.21	1.32	1.38	1.44	1.60	1.75	1.87
5.1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.13	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	1.01	1.03	1.04	1.05	1.11	1.17	1.28	1.34	1.39	1.53	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	1.50	1.63	1.74
5.4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04	1.09	1.14	1.24	1.29	1.34	1.47	1.60	1.70
5.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	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	1.01	1.03	1.07	1.11	1.19	1.24	1.28	1.39	1.51	1.60
5.8	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.06	1.10	1.17	1.22	1.26	1.37	1.48	1.57
5.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.05	1.09	1.16	1.20	1.25	1.35	1.45	1.53
6.0	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	1.33	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	1.08	1.13	1.16	1.21	1.30	1.40	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	1.11	1.15	1.19	1.28	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	1.26	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	1.24	1.32	1.39
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	1.10	1.13	1.21	1.30	1.35
6.6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.09	1.12	1.18	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	1.16	1.24	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	1.14	1.20	1.25
6.9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.06	1.07	1.12	1.17	1.21
7.0	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	1.10	1.14	1.17

TABLE 5 Distance Hardness Dividing Factors for Boron Steels, mm

Nominal Critical Diameter (D _{1/2}), mm	Jominy End-Quench Distance (mm)																
	3	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	33.0	39.0	45.0	51.0
40.0	1.07	1.11	1.58	2.10	2.56												
42.5	1.06	1.10	1.43	1.89	2.34												
45.0	1.05	1.09	1.32	1.70	2.14	2.53	2.76										
47.5	1.04	1.08	1.23	1.55	1.98	2.36	2.59	2.78									
50.0	1.04	1.07	1.18	1.43	1.82	2.19	2.42	2.64									
52.5	1.03	1.06	1.13	1.34	1.69	2.04	2.27	2.48	2.66	3.02							
55.0	1.02	1.05	1.11	1.27	1.58	1.90	2.12	2.33	2.50	2.85	3.35						
57.5	1.02	1.04	1.09	1.22	1.48	1.77	1.99	2.19	2.35	2.69	3.17						
60.0	1.01	1.03	1.07	1.18	1.40	1.66	1.86	2.06	2.22	2.54	3.00						
62.5	1.01	1.03	1.06	1.16	1.34	1.56	1.74	1.94	2.10	2.41	2.84	3.17					
65.0	1.00	1.03	1.05	1.14	1.29	1.47	1.64	1.83	1.98	2.28	2.70	3.01	3.26	3.60			
67.5	1.00	1.02	1.04	1.12	1.24	1.38	1.55	1.72	1.87	2.17	2.56	2.86	3.10	3.44	3.80	4.38	
70.0	1.00	1.02	1.04	1.11	1.20	1.32	1.47	1.64	1.78	2.06	2.44	2.72	2.95	3.28	3.61	3.96	
72.5	1.00	1.01	1.03	1.10	1.17	1.26	1.39	1.55	1.69	1.97	2.33	2.59	2.80	3.13	3.44	3.74	4.18
75.0	1.00	1.00	1.03	1.09	1.14	1.22	1.33	1.47	1.60	1.88	2.22	2.46	2.67	3.00	3.28	3.55	3.88
77.5	1.00	1.00	1.02	1.08	1.12	1.18	1.27	1.40	1.52	1.80	2.12	2.35	2.54	2.87	3.13	3.37	3.62
80.0	1.00	1.00	1.02	1.07	1.11	1.15	1.22	1.33	1.46	1.72	2.03	2.25	2.43	2.74	2.99	3.21	3.44
82.5	1.00	1.00	1.02	1.07	1.10	1.13	1.18	1.29	1.41	1.66	1.95	2.14	2.31	2.62	2.86	3.07	3.29
85.0	1.00	1.00	1.02	1.06	1.09	1.11	1.15	1.25	1.36	1.60	1.87	2.06	2.23	2.50	2.73	2.94	3.12
87.5	1.00	1.00	1.02	1.06	1.08	1.10	1.13	1.21	1.31	1.54	1.80	1.98	2.13	2.40	2.62	2.82	3.01
90.0	1.00	1.00	1.01	1.05	1.07	1.09	1.11	1.18	1.27	1.48	1.73	1.90	2.05	2.31	2.52	2.71	2.89
92.5	1.00	1.00	1.00	1.04	1.06	1.08	1.10	1.17	1.24	1.44	1.67	1.83	1.97	2.22	2.43	2.61	2.79
95.0	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.07	1.09	1.15	1.22	1.39	1.62	1.77	1.90	2.13	2.34	2.51	2.68
97.5	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.06	1.08	1.13	1.19	1.35	1.57	1.71	1.83	2.05	2.25	2.42	2.59
100.0	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	1.07	1.11	1.17	1.32	1.51	1.65	1.77	1.97	2.17	2.34	2.51
102.5	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.05	1.07	1.11	1.15	1.29	1.47	1.60	1.71	1.91	2.11	2.27	2.43
105.0	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.06	1.10	1.13	1.25	1.43	1.55	1.66	1.85	2.04	2.20	2.36
107.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.04	1.06	1.09	1.12	1.23	1.39	1.51	1.62	1.79	1.98	2.14	2.28
110.0	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.08	1.11	1.21	1.35	1.47	1.57	1.73	1.92	2.07	2.20
112.5	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.10	1.18	1.32	1.43	1.53	1.69	1.87	2.02	2.14
115.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09	1.17	1.29	1.40	1.49	1.64	1.82	1.97	2.08
117.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.06	1.08	1.16	1.26	1.36	1.45	1.60	1.77	1.92	2.05
120.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.04	1.06	1.08	1.15	1.24	1.33	1.42	1.56	1.72	1.87	2.02
122.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.05	1.07	1.13	1.22	1.31	1.40	1.53	1.68	1.83	1.98
125.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.05	1.06	1.12	1.20	1.29	1.37	1.50	1.64	1.79	1.92
127.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.04	1.05	1.11	1.18	1.27	1.35	1.47	1.61	1.75	1.89
130.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04	1.10	1.17	1.25	1.33	1.44	1.57	1.71	1.85
132.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.03	1.04	1.08	1.15	1.23	1.30	1.41	1.54	1.67	1.79
135.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.07	1.14	1.21	1.28	1.39	1.52	1.64	1.75
137.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.07	1.12	1.19	1.26	1.37	1.49	1.60	1.70
140.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.06	1.11	1.18	1.24	1.34	1.46	1.57	1.67
142.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.10	1.16	1.22	1.32	1.43	1.54	1.65
145.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.09	1.15	1.21	1.30	1.41	1.51	1.61
147.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.04	1.08	1.14	1.19	1.28	1.38	1.48	1.58
150.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.13	1.18	1.27	1.37	1.46	1.55
152.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.06	1.11	1.16	1.25	1.35	1.44	1.53
155.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.06	1.11	1.15	1.22	1.32	1.41	1.50
157.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.05	1.09	1.13	1.21	1.30	1.38	1.46
160.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.08	1.12	1.19	1.28	1.35	1.42
162.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.11	1.17	1.25	1.33	1.41
165.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06	1.09	1.15	1.23	1.30	1.37
167.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.05	1.08	1.13	1.20	1.27	1.34
170.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.04	1.07	1.11	1.17	1.24	1.31
172.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.09	1.15	1.20	1.25
175.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.03	1.05	1.08	1.12	1.17	1.22
177.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.10	1.14	1.18

TABLE 6 Multiplying Factors, in.

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0.01	0.005	1.033	1.007	1.004	1.022	1.03	1.00	1.02
0.02	0.011	1.067	1.014	1.007	1.043	1.06	1.01	1.03
0.03	0.016	1.100	1.021	1.011	1.065	1.09	1.01	1.05
0.04	0.021	1.133	1.028	1.015	1.086	1.12	1.02	1.07
0.05	0.026	1.167	1.035	1.018	1.108	1.15	1.02	1.09
0.06	0.032	1.200	1.042	1.022	1.130	1.18	1.02	1.11
0.07	0.038	1.233	1.049	1.026	1.151	1.21	1.03	1.12
0.08	0.043	1.267	1.056	1.029	1.173	1.24	1.03	1.14
0.09	0.049	1.300	1.063	1.033	1.194	1.27	1.03	1.16
0.10	0.054	1.333	1.070	1.036	1.216	1.30	1.04	1.17
0.11	0.059	1.367	1.077	1.040	1.238	1.33	1.04	1.19
0.12	0.065	1.400	1.084	1.044	1.259	1.36	1.05	1.21
0.13	0.070	1.433	1.091	1.047	1.281	1.39	1.05	1.22
0.14	0.076	1.467	1.098	1.051	1.302	1.42	1.05	1.24
0.15	0.081	1.500	1.105	1.055	1.324	1.45	1.06	1.26
0.16	0.086	1.533	1.112	1.058	1.346	1.48	1.06	1.28
0.17	0.092	1.567	1.119	1.062	1.367	1.51	1.06	1.29
0.18	0.097	1.600	1.126	1.066	1.389	1.54	1.07	1.31
0.19	0.103	1.633	1.133	1.069	1.410	1.57	1.07	1.33
0.20	0.108	1.667	1.140	1.073	1.432	1.60	1.07	1.35
0.21	0.113	1.700	1.147	1.077	1.454	1.63	1.08	...
0.22	0.119	1.733	1.154	1.080	1.475	1.66	1.08	...
0.23	0.124	1.767	1.161	1.084	1.497	1.69	1.09	...
0.24	0.130	1.800	1.168	1.088	1.518	1.72	1.09	...
0.25	0.135	1.833	1.175	1.091	1.540	1.75	1.09	...
0.26	0.140	1.867	1.182	1.095	1.562	1.78	1.10	...
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	1.106	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	1.124	1.734	2.02	1.12	...
0.35	0.189	2.167	1.245	1.128	1.756	2.05	1.13	...
0.36	0.194	2.200	1.252	1.131	1.776	2.08	1.13	...
0.37	0.200	2.233	1.259	1.135	1.799	2.11	1.14	...
0.38	0.205	2.267	1.266	1.139	1.821	2.14	1.14	...
0.39	0.211	2.300	1.273	1.142	1.842	2.17	1.14	...
0.40	0.213	2.333	1.280	1.146	1.864	2.20	1.15	...
0.41	0.216	2.367	1.287	1.150	1.886	2.23	1.15	...
0.42	0.218	2.400	1.294	1.153	1.907	2.26	1.15	...
0.43	0.221	2.433	1.301	1.157	1.929	2.29	1.16	...
0.44	0.223	2.467	1.308	1.160	1.950	2.32	1.16	...
0.45	0.226	2.500	1.315	1.164	1.972	2.35	1.16	...
0.46	0.228	2.533	1.322	1.168	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	1.175	2.037	2.44	1.18	...
0.49	0.235	2.633	1.343	1.179	2.058	2.47	1.18	...
0.50	0.238	2.667	1.350	1.182	2.080	2.50	1.18	...
0.51	0.242	2.700	1.357	1.186	2.102	2.53	1.19	...
0.52	0.244	2.733	1.364	1.190	2.123	2.56	1.19	...
0.53	0.246	2.767	1.371	1.193	2.145	2.59	1.19	...
0.54	0.249	2.800	1.378	1.197	2.166	2.62	1.20	...
0.55	0.251	2.833	1.385	1.201	2.188	2.65	1.20	...
0.56	0.253	2.867	1.392	1.204	2.210	...	...	...
0.57	0.256	2.900	1.399	1.208	2.231	...	...	...
0.58	0.258	2.933	1.406	1.212	2.253	...	...	...
0.59	0.260	2.967	1.413	1.215	2.274	...	...	...

TABLE 6 *Continued*

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0.60	0.262	3.000	1.420	1.219	2.296	...	...	...
0.61	0.264	3.033	1.427	1.222	2.318	...	...	...
0.62	0.267	3.067	1.434	1.226	2.339	...	...	...
0.63	0.269	3.100	1.441	1.230	2.361	...	...	...
0.64	0.271	3.133	1.448	1.233	2.382	...	...	...
0.65	0.273	3.167	1.455	1.237	2.404	...	...	...
0.66	0.275	3.200	1.462	1.241	2.426	...	...	...
0.67	0.277	3.233	1.469	1.244	2.447	...	...	...
0.68	0.279	3.267	1.476	1.248	2.469	...	...	...
0.69	0.281	3.300	1.483	1.252	2.490	...	...	...
0.70	0.283	3.333	1.490	1.256	2.512	...	...	...
0.71	0.285	3.367	1.497	1.259	2.534	...	...	...
0.72	0.287	3.400	1.504	1.262	2.555	...	...	...
0.73	0.289	3.433	1.511	1.266	2.577	...	...	...
0.74	0.291	3.467	1.518	1.270	2.596	...	...	...
0.75	0.293	3.500	1.525	1.273	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	1.284	2.685	...	...	...
0.79	0.301	3.633	1.553	1.287	2.706	...	...	...
0.80	0.303	3.667	1.560	1.291	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	0.309	3.767	1.581	1.301	2.793	...	...	...
0.84	0.310	3.800	1.588	1.306	2.814	...	...	...
0.85	0.312	3.833	1.595	1.309	2.836	...	...	...
0.86	0.314	3.867	1.602	1.313	2.858	...	...	...
0.87	0.316	3.900	1.609	1.317	2.879	...	...	...
0.88	0.318	3.933	1.616	1.320	2.900	...	...	...
0.89	0.319	3.967	1.623	1.324	2.922	...	...	...
0.90	0.321	4.000	1.630	1.327	2.944	...	...	...
0.91	...	4.033	1.637	1.331	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	1.343	3.030	...	...	...
0.95	...	4.167	1.665	1.345	3.052	...	...	...
0.96	...	4.200	1.672	1.349	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	1.360	3.138	...	...	...
1.00	...	4.333	1.700	1.364	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	1.375	3.225	...	...	...
1.04	...	4.467	1.728	1.378	3.246	...	...	...
1.05	...	4.500	1.735	1.382	3.268	...	...	...
1.06	...	4.533	1.742	1.386	3.290	...	...	...
1.07	...	4.567	1.749	1.389	3.311	...	...	...
1.08	...	4.600	1.756	1.393	3.333	...	...	...
1.09	...	4.633	1.763	1.396	3.354	...	...	...
1.10	...	4.667	1.770	1.400	3.376	...	...	...
1.11	...	4.700	1.777	1.403	3.398	...	...	...
1.12	...	4.733	1.784	1.406	3.419	...	...	...
1.13	...	4.767	1.791	1.411	3.441	...	...	...
1.14	...	4.800	1.798	1.414	3.462	...	...	...
1.15	...	4.833	1.805	1.418	3.484	...	...	...
1.16	...	4.867	1.812	1.422	3.506	...	...	...
1.17	...	4.900	1.819	1.426	3.527	...	...	...
1.18	...	4.933	1.826	1.429	3.549	...	...	...
1.19	...	4.967	1.833	1.433	3.570	...	...	...

TABLE 6 *Continued*

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
1.20	...	5.000	1.840	1.437	3.592	...	...	...
1.21	...	5.051	1.847	1.440	3.614	...	...	...
1.22	...	5.102	1.854	1.444	3.635	...	...	...
1.23	...	5.153	1.861	1.447	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	1.458	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	1.470	3.786	...	...	...
1.30	...	5.510	1.910	1.473	3.808	...	...	...
1.31	...	5.561	1.917	1.476	3.830	...	...	...
1.32	...	5.612	1.924	1.481	3.851	...	...	...
1.33	...	5.663	1.931	1.484	3.873	...	...	...
1.34	...	5.714	1.938	1.487	3.894	...	...	...
1.35	...	5.765	1.945	1.491	3.916	...	...	...
1.36	...	5.816	1.952	1.495	3.938	...	...	...
1.37	...	5.867	1.959	1.498	3.959	...	...	...
1.38	...	5.918	1.966	1.501	3.981	...	...	...
1.39	...	5.969	1.973	1.506	4.002	...	...	...
1.40	...	6.020	1.980	1.509	4.024	...	...	...
1.41	...	6.071	1.987	1.512	4.046	...	...	...
1.42	...	6.122	1.994	1.517	4.067	...	...	...
1.43	...	6.173	2.001	1.520	4.089	...	...	...
1.44	...	6.224	2.008	1.523	4.110	...	...	...
1.45	...	6.275	2.015	1.527	4.132	...	...	...
1.46	...	6.326	2.022	1.531	4.154	...	...	...
1.47	...	6.377	2.029	1.535	4.175	...	...	...
1.48	...	6.428	2.036	1.538	4.197	...	...	...
1.49	...	6.479	2.043	1.541	4.217	...	...	...
1.50	...	6.530	2.050	1.545	4.239	...	...	...
1.51	...	6.581	2.057	1.556	4.262	...	...	...
1.52	...	6.632	2.064	1.561	4.283	...	...	...
1.53	...	6.683	2.071	1.565	4.305	...	...	...
1.54	...	6.734	2.078	1.569	4.326	...	...	...
1.55	...	6.785	2.085	1.574	4.348	...	...	...
1.56	...	6.836	2.092	1.578	4.369	...	...	...
1.57	...	6.887	2.099	1.582	4.391	...	...	...
1.58	...	6.938	2.106	1.586	4.413	...	...	...
1.59	...	6.989	2.113	1.591	4.434	...	...	...
1.60	...	7.040	2.120	1.595	4.456	...	...	...
1.61	...	7.091	2.127	1.600	4.478	...	...	...
1.62	...	7.142	2.134	1.604	4.499	...	...	...
1.63	...	7.193	2.141	1.609	4.521	...	...	...
1.64	...	7.224	2.148	1.613	4.542	...	...	...
1.65	...	7.295	2.155	1.618	4.564	...	...	...
1.66	...	7.346	2.162	1.622	4.586	...	...	...
1.67	...	7.397	2.169	1.627	4.607	...	...	...
1.68	...	7.448	2.176	1.631	4.629	...	...	...
1.69	...	7.499	2.183	1.636	4.650	...	...	...
1.70	...	7.550	2.190	1.640	4.672	...	...	...
1.71	...	7.601	2.197	1.644	4.694	...	...	...
1.72	...	7.652	2.204	1.648	4.715	...	...	...
1.73	...	7.703	2.211	1.652	4.737	...	...	...
1.74	...	7.754	2.218	1.656	4.759	...	...	...
1.75	...	7.805	2.225	1.660	4.780	...	...	...
1.76	...	7.856	2.232	1.664	...	...	...	...
1.77	...	7.907	2.239	1.668	...	...	...	...
1.78	...	7.958	2.246	1.672	...	...	...	...
1.79	...	8.009	2.253	1.676	...	...	...	...

TABLE 6 *Continued*

% Alloy	Carbon-Grain Size 7	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
1.80	...	8.060	2.260	1.680	...	...	...	...
1.81	...	8.111	2.267	1.687	...	...	...	...
1.82	...	8.162	2.274	1.694	...	...	...	...
1.83	...	8.213	2.281	1.701	...	...	...	...
1.84	...	8.264	2.288	1.708	...	...	...	...
1.85	...	8.315	2.295	1.715	...	...	...	...
1.86	...	8.366	2.302	1.722	...	...	...	...
1.87	...	8.417	2.309	1.729	...	...	...	...
1.88	...	8.468	2.316	1.736	...	...	...	...
1.89	...	8.519	2.323	1.743	...	...	...	...
1.90	...	8.570	2.330	1.750	...	...	...	...
1.91	...	8.671	2.337	1.753	...	...	...	...
1.92	...	8.672	2.344	1.756	...	...	...	...
1.93	...	8.723	2.351	1.759	...	...	...	...
1.94	...	8.774	2.358	1.761	...	...	...	...
1.95	...	8.825	2.364	1.765	...	...	...	...
1.96	2.372	1.767	...	...	...	...
1.97	2.379	1.770	...	...	...	...
1.98	2.386	1.773	...	...	...	...
1.99	2.393	1.776	...	...	...	...
2.00	2.400	1.779	...	...	...	...

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" 1/16 in.	DI, in.	"J" 1/16 in.	DI, in.
0.5	0.27	11.5	3.74	22.5	5.46
1.0	0.50	12.0	3.83	23.0	5.51
1.5	0.73	12.5	3.94	23.5	5.57
2.0	0.95	13.0	4.04	24.0	5.63
2.5	1.16	13.5	4.13	24.5	5.69
3.0	1.37	14.0	4.22	25.0	5.74
3.5	1.57	14.5	4.32	25.5	5.80
4.0	1.75	15.0	4.40	26.0	5.86
4.5	1.93	15.5	4.48	26.5	5.91
5.0	2.12	16.0	4.57	27.0	5.96
5.5	2.29	16.5	4.64	27.5	6.02
6.0	2.45	17.0	4.72	28.0	6.06
6.5	2.58	17.5	4.80	28.5	6.12
7.0	2.72	18.0	4.87	29.0	6.16
7.5	2.86	18.5	4.94	29.5	6.20
8.0	2.97	19.0	5.02	30.0	6.25
8.5	3.07	19.5	5.08	30.5	6.29
9.0	3.20	20.0	5.15	31.0	6.33
9.5	3.32	20.5	5.22	31.5	6.37
10.0	3.43	21.0	5.28	32.0	6.42
10.5	3.54	21.5	5.33		
11.0	3.64	22.0	5.39		

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

"J" mm	DI, mm	"J" mm	DI, mm	"J" mm	DI, mm
1.0	8.4	18.0	94.2	35.0	137.1
2.0	15.7	19.0	97.1	36.0	139.1
3.0	22.9	20.0	100.6	37.0	140.9
4.0	29.7	21.0	103.7	38.0	142.8
5.0	36.3	22.0	106.5	39.0	144.7
6.0	42.9	23.0	109.7	40.0	146.4
7.0	48.2	24.0	112.2	41.0	148.3
8.0	54.2	25.0	114.9	42.0	150.1
9.0	59.5	26.0	117.4	43.0	151.7
10.0	64.2	27.0	119.9	44.0	153.4
11.0	68.6	28.0	122.4	45.0	154.1
12.0	72.1	29.0	124.7	46.0	156.5
13.0	76.4	30.0	127.1	47.0	157.8
14.0	80.1	31.0	129.0	48.0	159.2
15.0	84.0	32.0	131.4	49.0	160.5
16.0	87.6	33.0	133.5	50.0	161.8
17.0	90.1	34.0	135.2		

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	4.35	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	3.64	3.44	3.21	3.14	3.03
0.14	4.72	4.28	3.98	3.68	3.47	3.26	3.07	2.99	2.88
0.15	4.44	4.06	3.77	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	2.98	2.82	2.70	2.50	2.43	2.35	2.28
0.21	3.25	3.09	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	3.00	2.88	2.61	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	2.52	2.40	2.30	2.15	2.09	2.01	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	2.60	2.49	2.34	2.23	2.13	2.00	1.93	1.86	1.79
0.29	2.54	2.43	2.29	2.18	2.08	1.96	1.88	1.81	1.74
0.30	2.49	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	2.17	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	1.89	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	1.46	1.38
0.39	2.18	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	1.96	1.84	1.73	1.62	1.49	1.40	1.34	1.26
0.43	2.06	1.93	1.82	1.70	1.58	1.46	1.37	1.31	1.23
0.44	2.04	1.90	1.78	1.68	1.56	1.43	1.35	1.28	1.21
0.45	2.01	1.87	1.75	1.65	1.53	1.40	1.32	1.25	1.19
0.46	1.98	1.85	1.72	1.62	1.51	1.38	1.30	1.23	1.17
0.47	1.94	1.82	1.69	1.59	1.48	1.36	1.28	1.21	1.15
0.48	1.91	1.80	1.67	1.57	1.46	1.34	1.26	1.19	1.13
0.49	1.89	1.77	1.64	1.54	1.43	1.32	1.24	1.17	1.10
0.50	1.87	1.75	1.61	1.51	1.41	1.30	1.22	1.15	1.08
0.51	1.83	1.72	1.58	1.48	1.39	1.27	1.20	1.12	1.06
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	1.07	1.00	1.00
0.58	1.62	1.55	1.42	1.33	1.24	1.17	1.05	1.00	1.00
0.59	1.60	1.52	1.40	1.31	1.22	1.14	1.02	1.00	1.00
0.60	1.57	1.50	1.38	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	1.46	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	1.03	1.00	1.00	1.00
0.64	1.47	1.41	1.30	1.21	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00
0.65	1.45	1.39	1.29	1.19	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00
0.66	1.42	1.37	1.28	1.17	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00
0.67	1.40	1.35	1.26	1.15	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00
0.68	1.38	1.33	1.24	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.69	1.36	1.31	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

TABLE 10 *Continued*

% Carbon	5	7	9	11	13	15	18	22	26
0.71	1.33	1.26	1.18	1.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.72	1.32	1.25	1.16	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	1.17	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	1.12	1.02	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	1.07	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	1.15	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.82	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.83	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.84	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.85	1.02	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

[^] 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 to 2.00 %, incl	= 1.00 + 0.363 (%Ni)
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)

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

Initial Hardness,	$H = 35.395 + 6.990x + 312.330x^2 - 821.744x^3 + 1015.479x^4 - 538.346x^5$
50 % Martensite Hardness,	$H = 22.974 + 6.214x + 356.364x^2 - 1091.488x^3 + 1464.880x^4 - 750.441x^5$
where: H = Hardness in HRC x = % Carbon	

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

DI (in.) = $0.14 + 0.443x - 0.01294x^2 + 0.000166x^3$	
DI (mm) = $0.35 + 8.262x - 0.231x^2 + 0.00405x^3 - 0.000029x^4$	
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. = $13.03059 - 99.60059 X + 374.8548 X^2 - 707.3472 X^3 + 649.0012 X^4 - 231.1499 X^5$ B.F. = 1.00
7 to 0.81 % C, incl Over 0.81 % C	B.F. = $10.29157 - 69.64546 X + 245.7061 X^2 - 445.3980 X^3 + 398.8044 X^4 - 140.6225 X^5$ B.F. = 1.00
9 to 0.77 % C, incl Over 0.77 % C	B.F. = $10.45573 - 79.18534 X + 311.9332 X^2 - 630.5490 X^3 + 627.6022 X^4 - 244.4064 X^5$ B.F. = 1.00
11 to 0.73 % C, incl Over 0.73 % C	B.F. = $9.005326 - 64.37669 X + 249.6933 X^2 - 506.0601 X^3 + 509.4772 X^4 - 201.9323 X^5$ B.F. = 1.00
13 to 0.67 % C, incl Over 0.67 % C	B.F. = $8.054231 - 55.10171 X + 213.6752 X^2 - 447.8863 X^3 + 477.8413 X^4 - 204.4974 X^5$ B.F. = 1.00
15 to 0.63 % C, incl Over 0.63 % C	B.F. = $9.001263 - 76.47680 X + 355.8714 X^2 - 872.9646 X^3 + 1067.359 X^4 - 512.7757 X^5$ B.F. = 1.00
18 to 0.59 % C, incl Over 0.59 % C	B.F. = $6.849017 - 46.78647 X + 196.6635 X^2 - 471.3978 X^3 + 587.8504 X^4 - 295.0410 X^5$ B.F. = 1.00
22 to 0.55 % C, incl Over 0.55 % C	B.F. = $7.217034 - 54.73529 X + 248.9901 X^2 - 632.7765 X^3 + 826.1873 X^4 - 431.7227 X^5$ B.F. = 1.00
26 to 0.53 % C, incl Over 0.53 % C	B.F. = $7.162633 - 57.52117 X + 279.6173 X^2 - 756.9353 X^3 + 1042.628 X^4 - 568.5680 X^5$ B.F. = 1.00

where:
X = % carbon

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

^a J ^o Distance (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 = 4.53651 – 2.92609 X + 1.00411 X ² – 0.17129 X ³ + 0.01369 X ⁴ – 0.00038 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 – 0.00053 X ⁵ DF = 1.00
7	To 5.3, incl Over 5.3	DF = 4.20866 – 1.54405 X + 0.08294 X ² + 0.08613 X ³ – 0.01963 X ⁴ + 0.00127 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 + 0.00084 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 + 0.00399 X ⁴ – 0.00001 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 + 0.01301 X ⁴ – 0.00051 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 – 0.00086 X ⁵ DF = 1.00
14		DF = 5.83176 – 2.99646 X + 0.94088 X ² – 0.17734 X ³ + 0.01839 X ⁴ – 0.00079 X ⁵
16		DF = 6.06952 – 3.15198 X + 0.99297 X ² – 0.18010 X ³ + 0.01720 X ⁴ – 0.00066 X ⁵
18		DF = 7.26492 – 4.50566 X + 1.61688 X ² – 0.31738 X ³ + 0.03146 X ⁴ – 0.00122 X ⁵
20		DF = 7.68728 – 4.90380 X + 1.81034 X ² – 0.36593 X ³ + 0.03739 X ⁴ – 0.00150 X ⁵
24		DF = 9.19586 – 6.71331 X + 2.77208 X ² – 0.61510 X ³ + 0.06814 X ⁴ – 0.00295 X ⁵
28		DF = 9.27904 – 6.21461 X + 2.33158 X ² – 0.46972 X ³ + 0.04727 X ⁴ – 0.00186 X ⁵
32		DF = 8.62857 – 5.16125 X + 1.81214 X ² – 0.35489 X ³ + 0.03569 X ⁴ – 0.00143 X ⁵

where:
X = DI in inches.

^A Max DI = 7.0 in.

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

"J" Distance (mm)	DI ^A	Dividing Factor
3.0	To 52.5, incl Over 52.5	DF = 1.65890 – 0.03528 X + 0.00068 X ² – 0.000005 X ³ DF = 1.00
4.5	To 77.5, incl Over 77.5	DF = 2.76123 – 0.07974 X + 0.00125 X ² – 0.000007 X ³ DF = 1.00
6.0	To 105.0, incl Over 105.0	DF = 3.67224 – 0.09306 X + 0.00112 X ² – 0.000004 X ³ DF = 1.00
7.5	To 112.5, incl Over 112.5	DF = 3.99220 – 0.08654 X + 0.00089 X ² – 0.000003 X ³ DF = 1.00
9.0	To 127.5, incl Over 127.5	DF = 4.16084 – 0.07800 X + 0.00068 X ² – 0.000002 X ³ DF = 1.00
10.5	To 130.5, incl Over 130.5	DF = 4.30625 – 0.07467 X + 0.00059 X ² – 0.000002 X ³ DF = 1.00
12.0	To 140.0, incl Over 140.0	DF = 4.40247 – 0.07494 X + 0.00059 X ² – 0.000002 X ³ DF = 1.00
13.5	To 147.5, incl Over 147.5	DF = 4.52840 – 0.07460 X + 0.00057 X ² – 0.000002 X ³ DF = 1.00
15.0	To 152.5, incl Over 152.5	DF = 4.70933 – 0.07692 X + 0.00058 X ² – 0.000002 X ³ DF = 1.00
18.0	To 167.5, incl Over 167.5	DF = 4.94914 – 0.07514 X + 0.0052 X ² – 0.000001 X ³ DF = 1.00
21.0		DF = 4.93379 – 0.06875 X + 0.00043 X ² – 0.000001 X ³
24.0		DF = 5.03364 – 0.06858 X + 0.00043 X ² – 0.000001 X ³
27.0		DF = 5.06910 – 0.06638 X + 0.00040 X ² – 0.000001 X ³
33.0		DF = 5.44818 – 0.07078 X + 0.00042 X ² – 0.000001 X ³
39.0		DF = 5.57362 – 0.06879 X + 0.00039 X ² – 0.000001 X ³
45.0		DF = 6.00347 – 0.07652 X + 0.00044 X ² – 0.000001 X ³
51.0		DF = 6.37885 – 0.08241 X + 0.00047 X ² – 0.000001 X ³

where:

X = DI in millimetres.

^A Max DI = 177.5 mm.

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

"J" Distance (1/16 in.)	DJ ^A	Dividing Factor
2	To 2.5, incl Over 2.5	DF = 22.97570 - 54.60177 X + 54.29984 X ² - 26.85746 X ³ + 6.59130 X ⁴ - 0.64165 X ⁵ DF = 1.00
3	To 2.9, incl Over 2.9	DF = 13.25591 - 28.28828 X + 26.35541 X ² - 12.23150 X ³ + 2.81374 X ⁴ - 0.25263 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 + 0.02018 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 + 0.01332 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 + 0.00938 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 - 0.00136 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 - 0.00055 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 + 0.05639 X ⁴ - 0.00221 X ⁵ DF = 1.00
16		DF = 14.10267 - 7.94906 X + 1.93841 X ² - 0.22357 X ³ + 0.01084 X ⁴ - 0.00010 X ⁵
18		DF = 11.29531 - 4.46248 X + 0.41286 X ² + 0.09097 X ³ - 0.02034 X ⁴ + 0.00110 X ⁵
20		DF = 7.14752 + 0.35500 X - 1.61359 X ² + 0.49403 X ³ - 0.05879 X ⁴ + 0.00251 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 - 0.00433 X ⁵
32		DF = 43.35623 - 35.34260 X + 12.58238 X ² - 2.29821 X ³ + 0.21196 X ⁴ - 0.00785 X ⁵

where:

X = DJ_B in inches.

^A Max DJ_B = 7.0 in.

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

"J" Distance (mm)	DI _B ^A	Dividing Factor
3.0	To 62.5, incl Over 62.5	DF = 1.36182 – 0.01119 X + 0.00011 X ² + 0.0000004 X ³ DF = 1.00
4.5	To 72.5, incl Over 72.5	DF = 1.33728 – 0.00586 X – 0.00001 X ² + 0.0000004 X ³ DF = 1.00
6.0	To 90.0, incl Over 90.0	DF = 6.69675 – 0.23288 X + 0.00318 X ² – 0.00001 X ³ DF = 1.00
7.5	To 112.5, incl Over 112.5	DF = 7.56134 – 0.22857 X + 0.00265 X ² – 0.00001 X ³ DF = 1.00
9.0	To 120.0, incl Over 120.0	DF = 8.54529 – 0.23608 X + 0.00247 X ² – 0.00001 X ³ DF = 1.00
10.5	To 125.0, incl Over 125.0	DF = 9.21746 – 0.23623 X + 0.00228 X ² – 0.000007 X ³ DF = 1.00
12.0	To 137.5, incl Over 137.5	DF = 9.06644 – 0.21390 X + 0.00190 X ² – 0.000006 X ³ DF = 1.00
13.5	To 147.5, incl Over 147.5	DF = 8.85704 – 0.19372 X + 0.00160 X ² – 0.000004 X ³ DF = 1.00
15.0	To 150.0, incl Over 150.0	DF = 8.87756 – 0.18513 X + 0.00147 X ² – 0.000004 X ³ DF = 1.00
18.0	To 167.5, incl Over 167.5	DF = 8.55223 – 0.15758 X + 0.00112 X ² – 0.000003 X ³ DF = 1.00
21.0	To 170.0, incl Over 170.0	DF = 9.46158 – 0.16538 X + 0.00111 X ² – 0.000002 X ³
24.0		DF = 9.97104 – 0.16786 X + 0.00108 X ² – 0.000002 X ³
27.0		DF = 10.73723 – 0.18018 X + 0.00116 X ² – 0.000002 X ³
33.0		DF = 11.57108 – 0.18965 X + 0.00120 X ² – 0.000003 X ³
39.0		DF = 12.80192 – 0.21151 X + 0.00135 X ² – 0.000003 X ³
45.0		DF = 15.29826 – 0.26554 X + 0.00176 X ² – 0.000004 X ³
51.0		DF = 16.05632 – 0.27682 X + 0.00184 X ² – 0.000004 X ³

where:

X = DI_B in millimetres.

^A Max DI_B = 177.5 mm.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SPECIMENS FOR SPECIAL APPLICATIONS

X1.1 Scope

X1.1.1 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 Fig. 2 and Fig. 3 or when shallow hardening steel is to be tested.

X1.2 Subsize Specimens

X1.2.1 *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.

X1.2.2 *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.

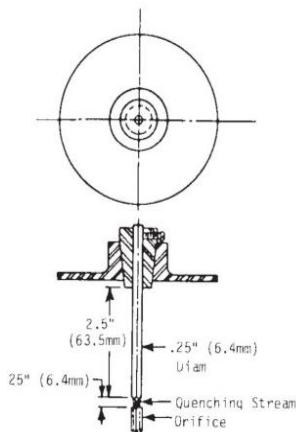


FIG. X1.1 Support for Smaller-Size Specimens, Showing 0.25-in. (6.4-mm) Specimen in Position

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)

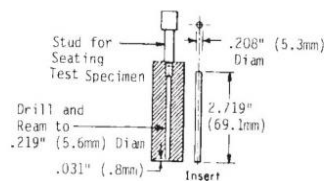


FIG. X1.2 Drilled Bar Specimen for Steel Available Only in Small Sizes

X1.3 Shallow-Hardening Steels

X1.3.1 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.

X1.3.2 Hardness values are obtained from $\frac{1}{16}$ to $\frac{9}{16}$ in. (1.6 to 12.7 mm) from the quenched end in intervals of $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm). Beyond $\frac{8}{16}$ in., hardness values are obtained at $\frac{10}{16}$, $\frac{12}{16}$, $\frac{14}{16}$, and $\frac{16}{16}$ in. (15.9, 19.1, 22.2 and 25.4 mm) from the quenched end. For readings to $\frac{8}{16}$ in. from the quenched end, two hardness traverses are made, both with readings $\frac{1}{16}$ in. apart; one starting at $\frac{1}{16}$ in. and being completed at $\frac{8}{16}$ in. from the quenched end, and the other starting at $\frac{3}{32}$ in. (2.4 mm) and being completed at $\frac{15}{32}$ in. (11.9 mm) from the quenched end.

X1.3.3 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.

X1.3.4 For plotting test results, the standard form for plotting hardenability curves (Fig. 4) should be used. Distances for the odd number $\frac{1}{32}$ in. (0.8 mm) should be measured with care.

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.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to these test methods since the last issue, A 255 - 99, that may impact the use of these test methods.

(1) New section 10.2 added.

(2) Previous section 10.2 renumbered as 10.3.

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 B

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION DE LA MAQUINA.

PLANCHAS DE ACEROS INOXIDABLES

AISI 304 / AISI 304L
Terminaciones Superficiales Disponibles: 2B, N°1 y N°4

Estado de Suministro General
Laminado.

Características
Acero inoxidable austenítico, aleado con Cromo y Níquel y bajo contenido de Carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo: doblado o cilindrado).

Aplicaciones
Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, se utiliza ampliamente en la industria alimenticia, vitivinícola, frutícola, acuícola, minera y construcción. Algunos usos son la fabricación de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de leche, cerveza, vino y alimentos, revestimientos, lavaplatos, mesones para alimentos, bandas transportadoras, cabinas telefónicas, fachadas de edificios, ascensores, casetas de peaje, muebles de cocina y quincallería.

Composición Química							
AISI	% C (máx.)	% Mn (máx.)	% Si (máx.)	% Cr	% Ni	% P (máx.)	% S (máx.)
304	0,07	2,00	0,75	17,5 - 19,5	8,00 - 10,50	0,045	0,03
304L	0,03	2,00	0,75	17,5 - 19,5	8,00 - 12,00	0,045	0,03

Propiedades Mecánicas				
AISI	Esfuerzo Tracción (min.)	Esfuerzo Fluencia (min.)	Elongación (min.)	Dureza (máx)
	Mpa	Mpa	%	Brinell (HB)
304	205	515	40	201
304L	170	485	40	201

FIGURA B1: Características de planchas de acero inoxidable.

Fuente: Catalogo aceros Otero

472 | PARTE TRES | Diseño de elementos mecánicos

Tabla 9-3
Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

Tabla 9-4
Esfuerzos permisibles del Código AISI para metal de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	0.60S _y	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90S _y	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66S _y	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60S _y	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.30S _u	

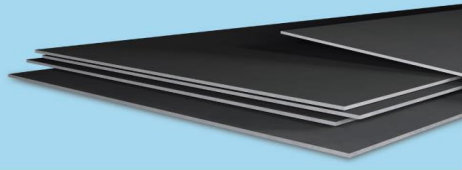
*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.
†El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de 0.40S_y del metal base.

FIGURA B2: Código AISI, y el American Welding Society (AWS).

Fuente: (Shigley, 2008, pp. 471-472)

Planchas

- Laminada en caliente
- Laminada en frío



Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115 / ASTM A 6
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / ASTM A 588 Gr. A / ASTM A 131 Gr. A /
ASTM A 516 Gr. 70 / ASTM A 572 Gr. 50
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1.220	2.440	1,50	35,05
1.220	2.440	2,00	46,74
1.220	2.440	3,00	70,10
1.220	2.440	4,00	93,47
1.220	2.440	5,00	116,84
1.220	2.440	6,00	140,21
1.220	2.440	8,00	186,94
1.220	2.440	9,00	210,31
1.220	2.440	10,00	233,68
1.220	2.440	12,00	280,41

› Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

Plancha laminada en frío

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /
SAE 1010
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1.000	2.000	0,70	10,99	Embutición
1.000	2.000	0,90	14,13	
1.000	2.000	1,10	17,27	
1.000	2.000	1,40	21,98	
1.220	2.440	0,40	9,35	Comercial
1.220	2.440	0,45	10,52	
1.220	2.440	0,50	11,68	
1.220	2.440	0,60	14,02	
1.220	2.440	0,70	16,36	
1.220	2.440	0,75	17,53	
1.220	2.440	0,90	21,03	
1.220	2.440	1,10	25,70	
1.220	2.440	1,40	32,72	
1.220	2.440	2,00	46,74	

› Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceite.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

FIGURA B3: Plancha de acero laminado en caliente, ASTM A36 de 2mm de espesor.

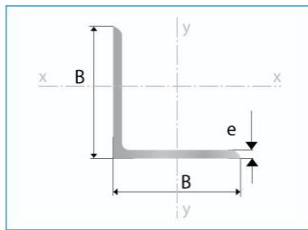
Fuente: Catalogo IPAC

Calidad Estructural												
NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180º	NORMA EQUIVA-LENTE
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

FIGURA B4: Características de materiales utilizados en la construcción.

Fuente : Catalogo IPAC

Productos Laminados Ángulo



Largo normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro
Espesores:
Desde 2,00 a 12,70 mm
Norma de Calidad:
ASTM A-36
Norma de fabricación:
INEN 2224 / ASTM A6
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa consulta.

> Aplicaciones
- Torres metálicas.
- Muebles metálicos.
- Carpintería metálica.

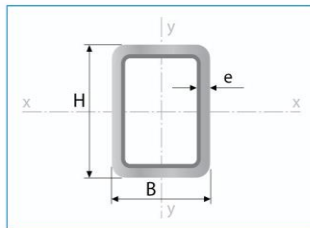
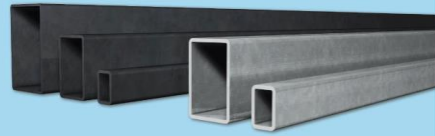


Dimensiones		Espesor	Peso
B	c	e	P
mm	mm	mm	kg/6m
20	20	2,00	3,81
20	20	3,00	5,23
25	25	2,00	4,52
25	25	3,00	6,74
25	25	4,00	9,20
30	30	3,00	8,24
30	30	4,00	10,61
40	40	3,00	11,11
40	40	4,00	14,53
40	40	6,00	21,12
50	50	3,00	13,99
50	50	4,00	18,36
50	50	5,00	22,62
50	50	6,00	26,86
60	60	5,00	26,95
60	60	6,00	32,52
60	60	8,00	45,22
65	65	6,00	35,46
70	70	6,00	38,43
75	75	6,00	40,69
75	75	8,00	54,18
75	75	10,00	65,94
100	100	6,00	56,68
100	100	7,00	63,63
100	100	8,00	72,34
100	100	10,00	90,21
100	100	12,00	108,25
125	125	12,00	141,30
127	127	12,70	144,00

FIGURA B5: Características de materiales utilizados en la construcción

FUENTE : Catalogo IPAC

Tubería Estructural Rectangular



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones, espesores y
largos previa consulta

Aplicaciones

- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.
- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Construcción en general.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas							
			Eje x-x			Eje y-y				
			Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro		
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	40	1,50	1,65	1,30	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
		2,00	2,14	1,68	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,50	2,10	1,65	7,65	3,02	0,82	2,50	2,02	1,05
		2,00	2,74	2,15	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
		3,00	3,91	3,07	12,90	5,08	1,75	4,12	3,26	0,99
30	50	1,50	2,25	1,77	7,53	3,01	1,83	3,41	2,27	1,23
		2,00	2,94	2,31	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
		3,00	4,21	3,30	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
40	60	1,50	2,85	2,24	14,40	4,79	2,26	7,71	3,85	1,65
		2,00	3,74	2,93	18,39	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
		3,00	5,41	4,25	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,50	2,85	2,24	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
		2,00	3,74	2,93	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
		3,00	5,41	4,25	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	2,00	4,54	3,56	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
		3,00	6,61	5,19	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
		4,00	8,55	6,71	53,20	17,78	2,62	10,80	11,50	1,18
50	100	2,00	5,74	4,50	73,63	14,50	3,66	25,46	10,03	2,15
		3,00	8,41	6,60	113,57	22,29	3,61	38,40	15,08	2,10
		4,00	10,95	8,59	140,19	27,53	3,56	47,01	18,52	2,06
50	150	2,00	7,74	6,07	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
		3,00	11,41	8,96	317,82	41,79	5,21	56,16	22,12	2,18
		4,00	14,95	11,73	397,70	52,27	5,13	69,06	27,20	2,14
		5,00	18,36	14,41	455,54	60,74	4,98	77,40	30,96	2,05
75	175	3,00	14,41	11,31	556,65	63,62	6,22	149,40	39,84	3,22
		4,00	18,95	14,87	718,11	82,07	6,16	191,03	50,94	3,18
		5,00	23,36	18,33	867,95	99,19	6,10	228,83	61,02	3,13
		6,00	27,63	21,69	1.006,41	115,02	6,03	262,93	70,11	3,08
100	150	3,00	14,41	11,31	461,00	61,47	5,65	248,00	49,60	4,15
		4,00	18,95	14,87	619,84	81,28	5,69	331,14	65,22	4,17
		5,00	23,36	18,33	719,00	95,90	5,55	384,00	76,80	4,04
		6,00	27,63	21,69	873,60	114,71	5,59	461,76	90,95	4,06
200	70	3,00	15,61	12,25	749,65	214,19	6,93	145,09	14,51	0,96
		4,00	20,55	16,13	968,54	96,85	6,87	185,17	52,91	3,00
		5,00	25,36	19,90	1.172,89	117,29	6,80	221,55	63,30	2,96
		6,00	30,03	23,58	1.362,69	136,27	6,74	254,26	72,65	2,91

FIGURA B6: Características de materiales utilizados en la construcción

FUENTE : Catálogo IPAC

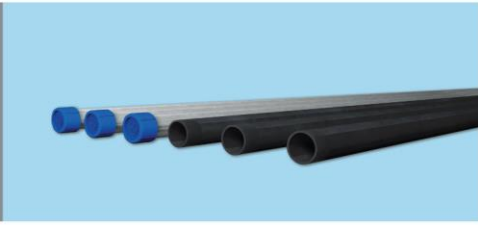
ANEXO C

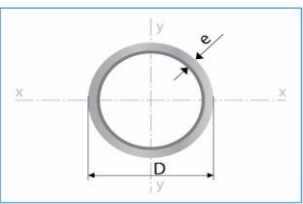
ACCESORIOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN EL SISTEMA HIDRAULICO

Cañería

Norma ISO R 65

Serie liviana 2 (ISO II)







Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 1011
Norma de Fabricación:
INEN 2470, BS 1387, ISO R 65
Espesores:
Desde 2,00 a 3,60 mm
Extremos roscados:
Hilo NPT / Hilo BSPT
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa consulta

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			Presión de prueba		
				Flexión					
				Momento de inercia	Modulo de resistencia	Radio de giro			
D	e	A	P	I	W	i			
pulg.	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	lb/pulg ²	kg/cm ²
1/2	21,30	2,00	1,21	0,95	0,56	0,53	0,68	700	49,20
3/4	26,90	2,30	1,78	1,40	1,32	0,99	0,87	700	49,20
1	33,70	2,60	2,54	1,99	3,03	1,81	1,10	700	49,20
1 1/4	42,40	2,60	3,25	2,55	6,37	3,02	1,40	700	49,20
1 1/2	48,30	2,90	4,14	3,25	10,56	4,39	1,60	700	49,20
2	60,30	2,90	5,23	4,11	21,14	7,06	2,02	700	49,20
2 1/2	73,00	3,20	7,02	5,51	47,78	12,64	2,56	700	49,20
3	88,90	3,20	8,62	6,76	79,21	17,82	3,03	700	49,20
4	114,30	3,60	12,52	9,83	191,98	33,59	3,92	700	49,20

Aplicaciones / cañería negra
 - Conducción de fluidos a presión.
 - Fabricación de andamios.
 - Fabricación de calderos.
 - Fabricación de escopetas.
 - Conducción de vapor.
 - Muebles metálicos.
 - Asientos para carrocería.
 - Juegos infantiles en parques.

Aplicaciones / cañería galvanizada
 - Conductor de agua y vapor.
 - Instalaciones de fábricas y gasolineras.
 - Invernaderos.
 - Escapes de automóviles.
 - Fabricación de andamios.
 - Fabricación de calderos.
 - Juegos Infantiles.
 - Postes.



Catálogo IPAC | 21

FIGURA C1: Dimensiones de tubería estándar

Fuente: Catálogo IPAC

ANEXO D

PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA Y PROPIEDADES DE OTROS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL ENSAYO

Temp, °C	Peso específico γ , N/m ³	Densidad ρ , kg/m ³	Viscosidad $\mu \times 10^3$, N·s/m ²	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^6$, m ² /s	Tensión superficial $\sigma \times 10^2$, N/m	Cabeza de presión de vapor absoluta $p_v/\gamma, \dagger$ m	Módulo de elasticidad volumétrica $K \times 10^{-7}$, N/m ²	Conductividad térmica k , W/m·K
0	9806	999.9	1.792	1.792	7.62	0.06	204	0.561
5	9807	1000.0	1.519	1.519	7.54	0.09	206	0.571
10	9804	999.7	1.303	1.308	7.48	0.12	211	0.580
15	9798	999.1	1.140	1.141	7.41	0.17	214	0.589
20	9789	998.2	1.005	1.007	7.36	0.25	220	0.598
25	9778	997.1	0.894	0.897	7.26	0.33	222	0.607
30	9764	995.7	0.801	0.804	7.18	0.44	223	0.615
35	9749	994.1	0.723	0.727	7.10	0.58	224	0.623
40	9730	992.2	0.656	0.661	7.01	0.76	227	0.630
45	9711	990.2	0.599	0.605	6.92	0.98	229	0.637
50	9690	988.1	0.549	0.556	6.82	1.26	230	0.643
55	9666	985.7	0.506	0.513	6.74	1.61	231	0.649
60	9642	983.2	0.469	0.477	6.68	2.03	228	0.654
65	9616	980.6	0.436	0.444	6.58	2.56	226	0.659
70	9589	977.8	0.406	0.415	6.50	3.20	225	0.663
75	9560	974.9	0.380	0.390	6.40	3.96	223	0.667
80	9530	971.8	0.357	0.367	6.30	4.86	221	0.670
85	9499	968.6	0.336	0.347	6.20	5.93	217	0.673
90	9466	965.3	0.317	0.328	6.12	7.18	216	0.675
95	9433	961.9	0.299	0.311	6.02	8.62	211	0.677
100	9399	958.4	0.284	0.296	5.94	10.33	207	0.679

† $\gamma = 9806 \text{ N/m}^3$.

RUGOSIDAD DE CONDUCTOS

Material	Rugosidad, ϵ (m)	Rugosidad, ϵ (pie)
Vidrio, plástico	Suavidad	Suavidad
Cobre, latón, plomo (tubería)	1.5×10^{-6}	5×10^{-6}
Hierro fundido: sin revestir	2.4×10^{-4}	8×10^{-4}
Hierro fundido: revestido de asfalto	1.2×10^{-4}	4×10^{-4}
Acero comercial o acero soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro forjado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6×10^{-3}
Concreto	1.2×10^{-3}	4×10^{-3}

FIGURA D1: Propiedades físicas del agua

Fuente: (Mataix, 1986, pág. 17)

DIAGRAMA DE MOODY

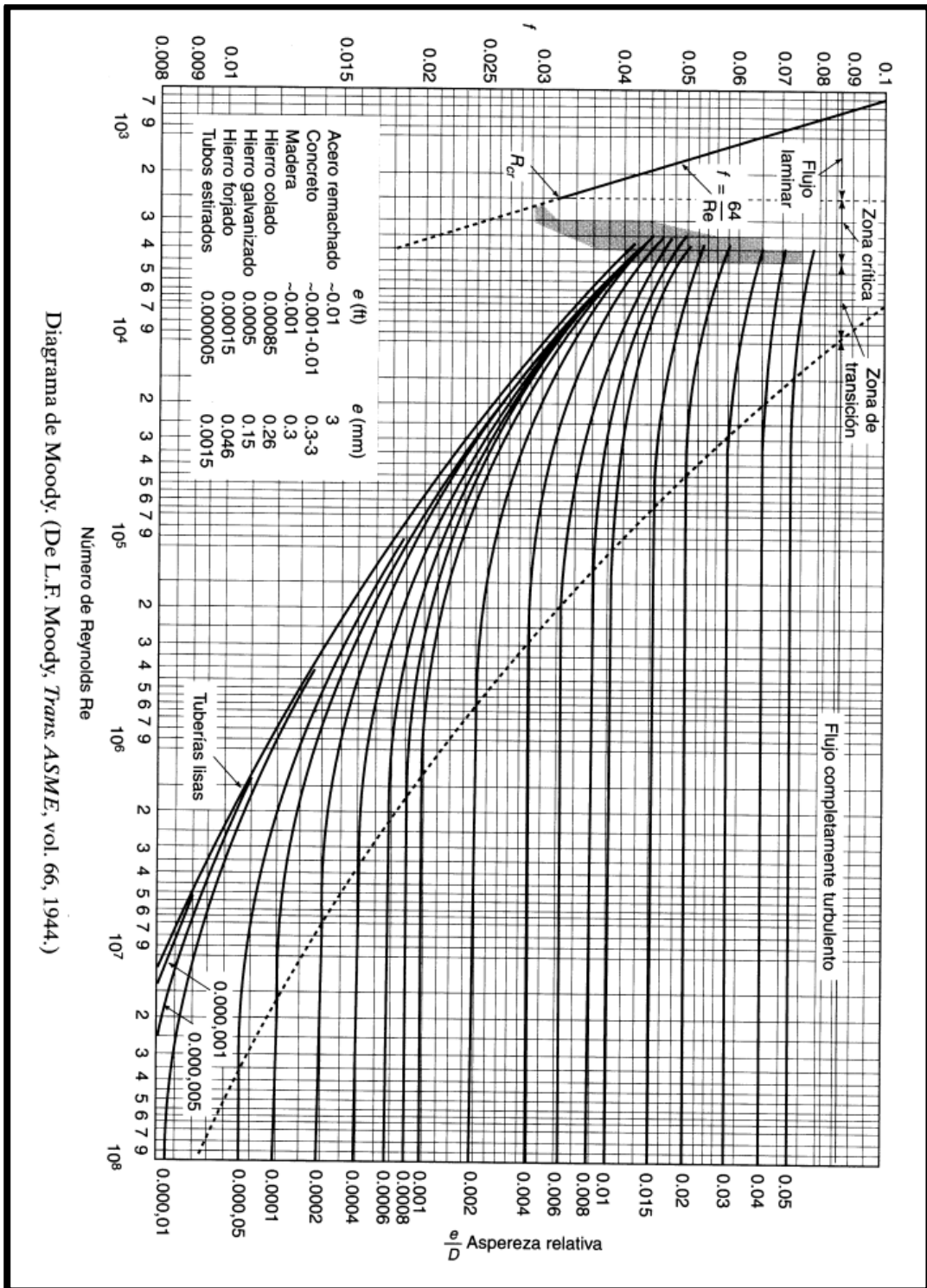


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans ASME*, vol. 66, 1944.)

FIGURA D2: El diagrama de Moody

Fuente: (Mataix, 1986, pág. 217)

PROPIEDADES DE LA ATMOSFERA

Unidades SI				Sistema Británico de Unidades			
Altitud (m)	Temperatura (°C)	Presión (kPa)	Densidad (kg/m ³)	Altitud (pie)	Temperatura (°F)	Presión (lb/pulg ²)	Densidad (slugs/pie ³)
0	15.00	101.3	1.225	0	59.00	14.696	2.38 × 10 ⁻³
200	13.70	98.9	1.202	500	57.22	14.433	2.34 × 10 ⁻³
400	12.40	96.6	1.179	1000	55.43	14.173	2.25 × 10 ⁻³
600	11.10	94.3	1.156	5000	41.17	12.227	2.05 × 10 ⁻³
800	9.80	92.1	1.134	10000	23.34	10.106	1.76 × 10 ⁻³
1000	8.50	89.9	1.112	15000	5.51	8.293	1.50 × 10 ⁻³
2000	2.00	79.5	1.007	20000	-12.62	6.753	1.27 × 10 ⁻³
3000	-4.49	70.1	0.9093	30000	-47.99	4.365	8.89 × 10 ⁻⁴
4000	-10.98	61.7	0.8194	40000	-69.70	2.720	5.85 × 10 ⁻⁴
5000	-17.47	54.0	0.7364	50000	-69.70	1.683	3.62 × 10 ⁻⁴
10000	-49.90	26.5	0.4135	60000	-69.70	1.040	2.24 × 10 ⁻⁴
15000	-56.50	12.11	0.1948	70000	-67.30	0.644	1.38 × 10 ⁻⁴
20000	-56.50	5.53	0.0889	80000	-61.81	0.400	8.45 × 10 ⁻⁵
25000	-51.60	2.55	0.0401	90000	-56.32	0.251	5.22 × 10 ⁻⁵
30000	-46.64	1.20	0.0184	100000	-50.84	0.158	3.25 × 10 ⁻⁵

FIGURA D3: Propiedades de la atmosfera

Fuente: (Mott R. L., 1996, pág. 546)

PRESION DE VAPOR DE AGUA

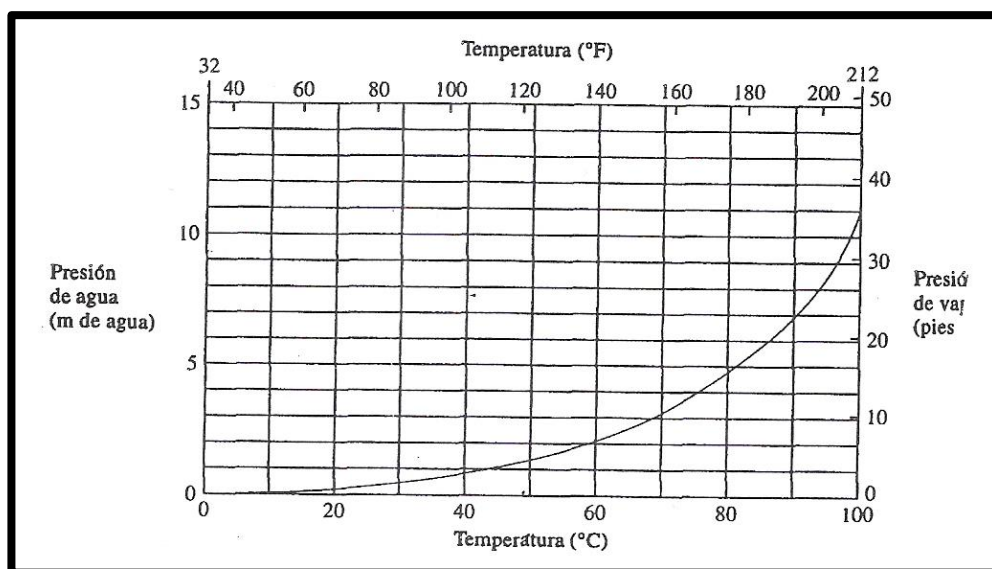


FIGURA D4: Presion de vapor del agua

Fuente: (Mott R. L., 1996)

ANEXO E

COEFICIENTE DE PERDIDAS EN ACCESORIOS Y TUBERIAS

N° de diámetros (L/D) y coeficientes K para diferentes accesorios													
Accesorios	Diámetro nominal (en pulgadas)												
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
	Valores de K												
	L/D												
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72

Adaptación de: Cameron Hydraulic data

Longitud equivalente = L/D x D

FIGURA E1: Coeficiente de perdidas en accesorios y tuberias

Fuente: (Streeter, 2000)

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

(*"K" está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10)

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300400	450-600
Nominal pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f _f)	.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR "K" PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_1 = \frac{K_1}{\beta^4} t \beta \text{ (Fórmula 2 + Fórmula 4), cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_1 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor. El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úsese el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 4.5^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta < 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$
 $45^\circ < \theta < 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

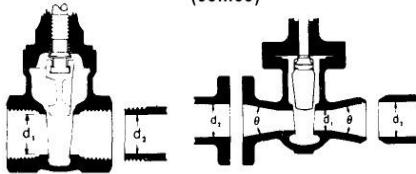
FIGURA E2: Propiedades físicas de algunos fluidos y características de flujo en válvulas, accesorios y tuberías.

Fuente: Crane

A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

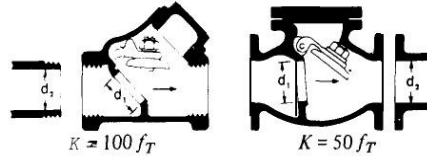
VÁLVULAS DE COMPUERTA

De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE

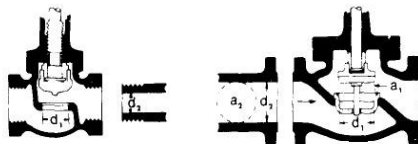


$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$

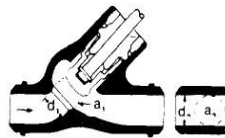
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$
 U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

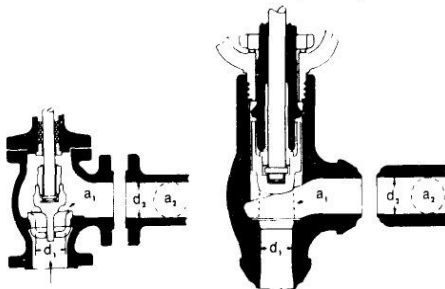
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

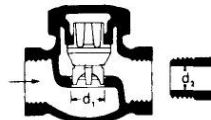


Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido θ de mariposa

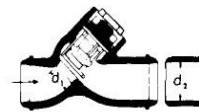
Si: $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

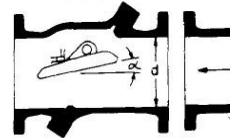
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Pasos	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8")	$40 f_T$	$120 f_T$
250 mm (10") a 350 mm (14")	$30 f_T$	$90 f_T$
400 mm (16") a 1200 mm (48")	$20 f_T$	$60 f_T$
Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg	$100 \sqrt{V}$	$40 \sqrt{V}$
pie/seg	$80 \sqrt{V}$	$30 \sqrt{V}$

FIGURA E3: Propiedades físicas de algunos fluidos y características de flujo en válvulas, accesorios y tuberías.

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

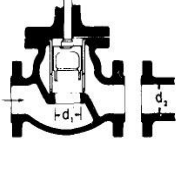
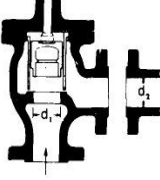

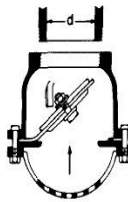
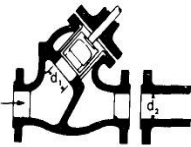
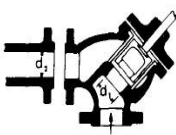
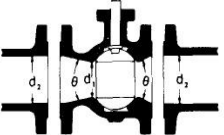

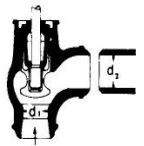
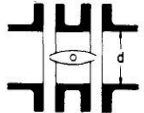
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE (Tipos recto y angular)		VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO Obturador ascendente Obturador oscilante	
 <p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} \approx 70 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	 <p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $= 95 \beta^2 \sqrt{V}$ $= 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	 <p>$K = 420 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$</p>	 <p>$K = 75 f_T$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $= 45 \sqrt{V}$ $= 35 \sqrt{V}$</p>
 <p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	 <p>Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>VÁLVULAS DE GLOBO</p>  <p>Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$ $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$ $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$</p>	
 <p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador $m/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	 <p>$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $(\text{pie}/\text{seg}) = 140 \beta^2 \sqrt{V}$</p>	<p>VÁLVULAS DE MARIPOSA</p>  <p>Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") $K = 45 f_T$ Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") . . . $K \approx 35 f_T$ Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") . . . $K \approx 25 f_T$</p>	

FIGURA E4: Propiedades físicas de algunos fluidos y características de flujo en válvulas, accesorios y tuberías.

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 4 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

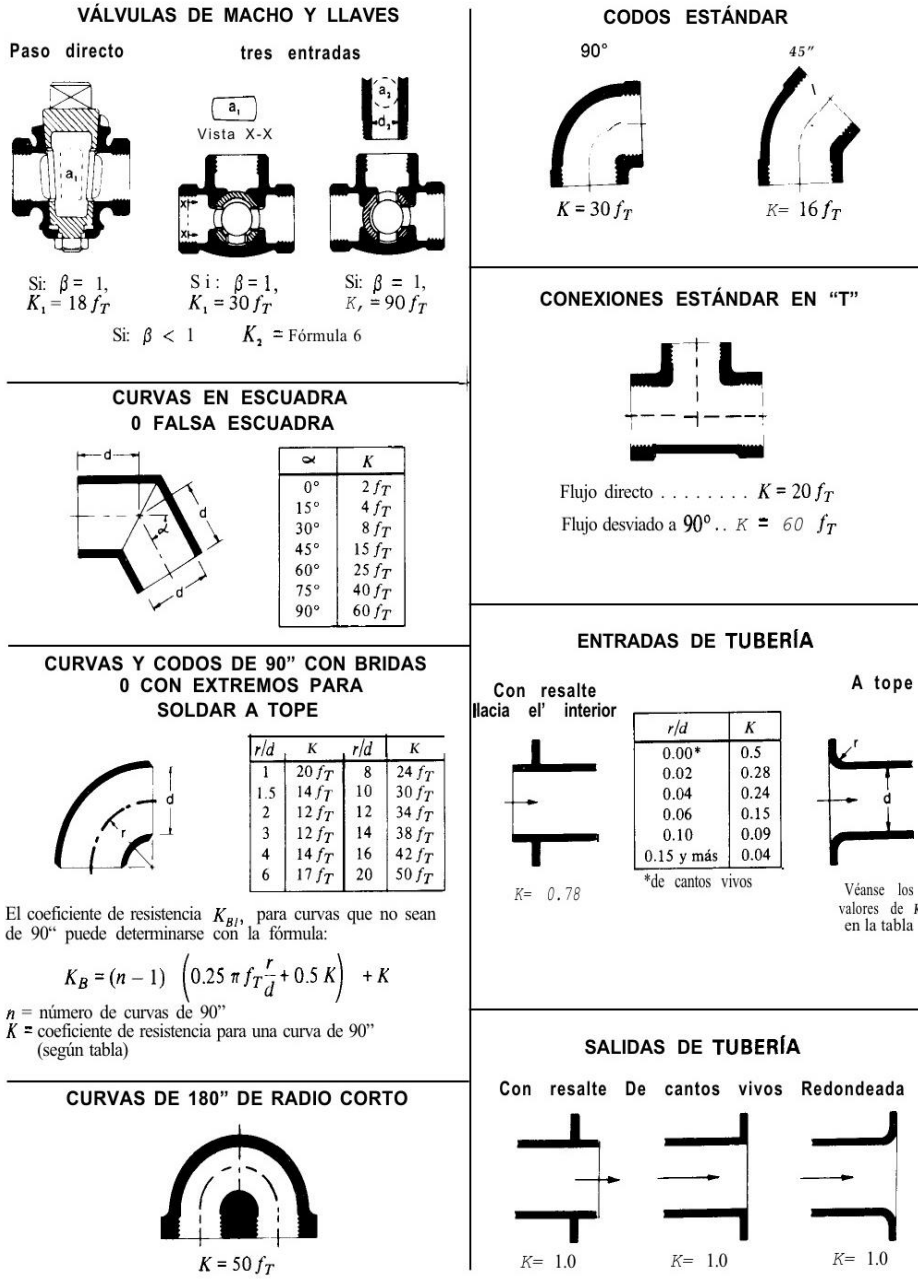


FIGURA E5: Propiedades físicas de algunos fluidos y características de flujo en válvulas, accesorios y tuberías.

ORIFICIOS, TUBOS, TOBERAS Y VERTEDEROS

TABLA 14-1
 COEFICIENTES DE CONTRACCION, DE VELOCIDAD Y DE CAUDAL
 PARA TUBOS Y TOBERAS DIVERSOS DE SECCION CIRCULAR



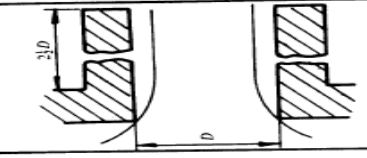




FIGURA	C_c	C_v	C_d
	0.62	0.98	0.61
	1.00	0.98	0.98
	1.00	0.82	0.82
	0.52	0.98	0.51
	1.00	0.45 a 0.50	0.45 a 0.50
	0.98	0.96	0.94
	1.00	0.98	0.98

FIGURA E6: Coeficientes de contracción, de velocidad y de caudal para tubos y toberas diversos de sección circular.
 (Mataix, 1986, pág. 287)

ANEXO F

SELECCIONAMIENTO DE LA BOMBA



Myers®

WHERE
INNOVATION
MEETS **TRADITION**

BP-SERIE

CARACTERÍSTICAS

Diseño de ingeniería para una larga vida

Mejor Desempeño trabajando con succiones menores a 6 Metros

- Caudal hasta 45L/min, 2.7m³/hr.
- Carga hasta 61m

Cuerpo de Bomba de Hierro Vaciado de Alta Calidad con Insertos de Bronce y Succiones Roscadas de 1" NPT

Motor Eléctrico Eficiente y Silencioso para Trabajar Continuamente

- Protección Térmica para evitar Sobrecarga
- Monofásico, 120-volt

Construcción premium de anti-bloqueo de impulsor en bronce

- Impulsor de Bronce Maquinado con Precisión
- Impulsor no se Pega a la Voluta

APLICACIONES

- Transferir Agua
- Aumento de Presión
- Sistemas de Agua
- Fines Generales de Bombeo

FUNCIONAMIENTO

Modelo	HP	KW	Voltios	Hertz	Presión de Descarga (PSI)	Altura Mano-métrica (Metros)	Litros por Minuto Bombeados a Diferentes Profundidades del Agua				Flujo Max.	Presión Válvula Cerrada	
							0m	1.5m	3m	4.6m			6.1m
BP7	3/4	0.56	120	60	20	46.2	9.6	9.1	8.5	7.4	5.5	45L/m 2.7m ³ /hr.	90
					30	69.3	7.8	7.5	7.3	6.7	5.3		
					40	92.4	6.5	6.1	5.8	5.5	4.8		
					50	115.5	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8		
					60	138.6	3.7	3.4	3.2	2.8	2.6		
					60	138.6	1.0	0.6	-	-	-		
BP5	1/2	0.37	120	60	20	46.2	8.2	8	7.2	6.2	4.8	40L/m 2.4m ³ /hr.	65
					30	69.3	6.1	5.9	5.5	5	4.2		
					40	92.4	4.5	4.4	3.7	3.3	2.9		
					50	115.5	2.7	2.3	2.0	1.7	2.2		
					60	138.6	1.0	0.6	-	-	-		
					60	138.6	1.0	0.6	-	-	-		

INFORMACIÓN PARA ORDENAR

Modelo	Codigo UPC	Garantía	Dimensiones Cartón - mm				Cantidad Por Tarima	Peso - Kg.
			L	A	H	Cúbicos -dm ³		
BP7	022315 328143	1 Año	270	135	200	7.36	144	7.3
BP5	022315 328136	1 Año	270	135	200	7.36	144	6.5

BOMBA PERIFÉRICA PARA TRANSFERENCIA DE AGUA

NUEVA!



Ensamblado en México 



El tanque de presión, el tubo y los accesorios se compran por separado

BOMBA PERIFÉRICA

Fuente: Catalogo Myers

ANEXO G

SISTEMA ELÉCTRICO

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE LOS CABLES

<i>INSTALACIONES EN TUBO</i>				<i>INSTALACIONES AL AIRE LIBRE</i>		
Calibre del conductor	Sección transversal	3 conductores unipolares o un cable tripolar	Un cable bipolar	Un cable unipolar	Un cable bipolar	3 conductores unipolares o un cable tripolar
AWG – MCM	mm ²	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios
22	0.324	3	3	5	4	4
20	0.0517	5	6	8	7	6
18	0.821	7	8	10	9	8
16	1.31	10	11	15	14	13
14	2.08	15	27	20	18	17
12	3.31	20	21	25	23	22
10	5.26	30	30	40	35	33
8	8.37	40	40	55	48	45
6	13.30	55	55	80	68	63
4	21.15	70	---	105	---	87
2	33.63	95	---	140	---	119
1	42.41	110	---	165	---	145
1/0	53.51	125	---	195	---	155
2/0	67.44	145	---	225	---	180
3/0	85.02	165	---	260	---	210
4/0	107.2	195	---	300	---	240
250	126.7	215	---	340	---	265
300	152.0	240	---	375	---	300
350	177.4	260	---	420	---	330
400	202.7	280	---	455	---	360
500	253.4	320	---	515	---	415
600	304.0	355	---	575	---	450
750	380.0	400	---	655	---	515
1000	506.7	455	---	780	---	600

FIGURA G1: Capacidad de corriente de los cables.

Fuente: IE.

SELECCIÓN DE DISYUNTOR DE UN POLO



S201-C10



Informacion General

Extended Product Type:	S201-C10
Product ID:	2CDS251001R0104
EAN:	4016779464208
Catalog Description:	Miniature Circuit Breaker - S200 - Number of Poles 1 - Tripping characteristic C
Long Description:	System pro M compact S200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C,D,K,Z), configurations (1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N, 4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 63A). All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 and CSA 22.2 No. 235, allowing the use for residential, commercial and industrial applications. Bottom-fitting auxiliary contact can be mounted on S200 to save 50% space.

Categorias

Productos » Productos y sistemas de baja tensión » Aparatos modulares de instalación » Interruptores automáticos modulares

Recambios » Convertidores de frecuencia » Convertidores de frecuencia de media tensión » Convertidores de frecuencia de propósito especial » ACS5000 water cooled

Accessories [Show accessory images](#)

Identificador	Description	Type	Cantidad
2CDS200922R0001	S2C-S/H6R Universal Auxiliary/Signal Con	S2C-S/H6R	1
2CDS200912R0001	S2C-H6R Auxiliary Contact	S2C-H6R	1
2CDS200970R0001	S2C-H01 Bottom-fitting auxiliary contact	S2C-H01	1
2CDS200970R0002	S2C-H10 Bottom-fitting auxiliary contact	S2C-H10	1
2CDS200936R0001	S2C-H11L Auxiliary Contact	S2C-H11L	1
2CDS200936R0002	S2C-H20L Auxiliary Contact	S2C-H20L	1
2CDS200936R0003	S2C-H02L Auxiliary Contact	S2C-H02L	1
2CDS200946R0001	S2C-H6-11R Auxiliary contact	S2C-H6-11R	1
2CDS200946R0002	S2C-H6-20R Auxiliary contact	S2C-H6-20R	1
2CDS200946R0003	S2C-H6-02R Auxiliary contact	S2C-H6-02R	1
2CDS200909R0001	S2C-A1 Shunt Trip, 12...60V	S2C-A1	1
2CDS200909R0002	S2C-A2 Shunt Trip, 110...415V	S2C-A2	1
2CSS200911R0001	S2C-UA 12 DC Undervoltage release	S2C-UA 12 DC	1
2CSS200911R0002	S2C-UA 24 AC Undervoltage release	S2C-UA 24 AC	1
2CSS200911R0003	S2C-UA 48 AC Undervoltage release	S2C-UA 48 AC	1
2CSS200911R0004	S2C-UA 110 AC Undervoltage release	S2C-UA 110 AC	1
2CSS200911R0005	S2C-UA 230 AC Undervoltage release	S2C-UA 230 AC	1
2CSS200911R0006	S2C-UA 400 AC Undervoltage release	S2C-UA 400 AC	1
2CSS200911R0007	S2C-UA 24 DC Undervoltage release	S2C-UA 24 DC	1
2CSS200911R0008	S2C-UA 48 DC Undervoltage release	S2C-UA 48 DC	1
2CSS200911R0009	S2C-UA 110 DC Undervoltage release	S2C-UA 110 DC	1
2CSS200911R0010	S2C-UA 230 DC Undervoltage release	S2C-UA 230 DC	1
2CSS201997R0013	S2C-CM1 Motor operating device	S2C-CM1	1
2CSS203997R0013	S2C-CM2/3 Motor operating device	S2C-CM2/3	1
2CSS204997R0013	S2C-CM4 Motor operating device	S2C-CM4	1
GHS2001901R0003	S2C-DH Rotary operating mechanism	S2C-DH	1
2CSS200998R0001	S2C-BP - Mechanical tripping device	S2C-BP	1
2CSS200999R0001	S2C-EST - Plug-in base	S2C-EST	1
2CDS200918R0001	S2C-Nt Hand operated neutral	S2C-NT	1
2CCA880100R0001	Sensor 18mm, 80A AC, DC, TRMS, mounting for pro M compact & SMISLINE	CMS-100PS	1
2CCA880101R0001	Sensor 18mm, 40A AC, DC, TRMS, mounting for pro M compact & SMISLINE	CMS-101PS	1
2CCA880102R0001	Sensor 18mm, 20A AC, DC, TRMS, mounting for pro M compact & SMISLINE	CMS-102PS	1

1

Where Used (as a spare part for "Products") [Show accessory images](#)

Identificador	Description	Cantidad	Unit Of Measure
ACS 5000 Water Cooled	No Description Available	1	piece

1

Product specific part data

 Filter

Product	Nodes	Drive Part Category
ACS 5000 Water Cooled	ACS5000 water cooled	SwiRelCon

Ordering

EAN:	4016779464208
Minimum Order Quantity:	1 piece
Customs Tariff Number:	85362010

Dimensions

Product Net Width:	17.5 mm
Product Net Depth:	69.0 mm
Product Net Height:	88.0 mm
Product Net Weight:	0.125 kg

Container Information

Package Level 1 Units:	10 piece
Package Level 1 Width:	92.0 mm
Package Level 1 Length:	183.0 mm
Package Level 1 Height:	80.0 mm
Package Level 1 Gross Weight:	1.295 kg
Package Level 1 EAN:	4016779606806

Environmental

Ambient Air Temperature:	Operation -25 ... +55 °C Storage -40 ... +70 °C
Resistance to Shock acc. to IEC 60068-2-27:	25g / 2 shocks / 13 ms
Resistance to Vibrations acc. to IEC 60068-2-6:	5g, 20 cycles at 5 ... 150 ... 5 Hz with load 0.8 In
Environmental Conditions:	28 cycles with 55 °C / 90-96 % and 25 °C / 95-100 %
RoHS Status:	Following EU Directive 2002/95/EC August 18, 2005 and amendment

Technical

Standards:	IEC/EN 60898-1 IEC/EN 60947-2 UL 1077
Number of Poles:	1
Tripping Characteristic:	C
Rated Current (I _n):	10.00 A
Rated Operational Voltage:	acc. to IEC60898-1 230 / 400 V AC acc. to IEC60947-2 230 V AC
Power Loss:	2.1 W Per Pole 2.1 W
Rated Insulation Voltage (U _i):	acc. to IEC/EN 60664-1 440 V
Operational Voltage:	Maximum (incl. tolerance) 253 V AC Maximum (incl. tolerance) 72 V DC Minimum 12 V AC / 12 V DC
Rated Frequency (f):	50 Hz 60 Hz
Rated Short-Circuit Capacity (I _{cn}):	6 kA
Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cu}):	10 kA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cs}):	7.5 kA
Energy Limiting Class:	3
Overvoltage Category:	III
Pollution Degree:	3
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp}):	4 kV (6.2 kV @ sea level) kV (5.0 kV @ 2000 m) kV
Dielectric Test Voltage:	50 / 60 Hz, 1 min: 2 kV
Housing Material:	Insulation group II, RAL 7035
Actuator Type:	Insulation group II, black, sealable
Actuator Marking:	I / O
Contact Position Indication:	Red ON / Green OFF
Degree of Protection:	IP20

Remarks:	IP40 in enclosure with cover
Electrical Endurance:	20000 AC cycle
Mechanical Endurance:	20000 cycle
Terminal Type:	Screw Terminals
Screw Terminal Type:	Failsafe Bi-directional Cylinder-lift Terminal
Connecting Capacity:	Busbar 10 / 10 mm ² Flexible with Ferrule 0.75 ... 25 mm ² Flexible 0.75 ... 25 mm ² Rigid 0.75 ... 35 mm ² Stranded 0.75 ... 35 mm ²
Tightening Torque:	2.8 N·m
Recommended Screw Driver:	Pozidriv 2
Mounting on DIN Rail:	TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Mounting Position:	Any

Technical UL/CSA

Maximum Operating Voltage UL/CSA:	277 V AC
Connecting Capacity UL/CSA:	Busbar 18 ... 8 AWG Conductor 18 ... 4 AWG
Tightening Torque UL/CSA:	25 in·lb
Interrupting Rating acc. to UL1077:	6 kA

Certificates and Declarations (Document Number)

Declaration of Conformity - CE:	2CDK403001D0602
RoHS Information:	2CDK400003K0201

Classifications

E-number:	2100516
ETIM 4.0:	EC000042 - Miniature circuit breaker (MCB)
ETIM 5.0:	EC000042 - Miniature circuit breaker (MCB)
Object Classification Code:	F
UNSPSC:	39121600



FIGURA G2: Tipos disyuntores de un Polo.

Fuente: LS.

SELECCIÓN DEL CONTACTOR

AF09 ... AF30 3-pole Contactors AC / DC Operated - with Screw Terminals



Application

AF09 ... AF30 contactors are used for controlling power circuits up to 600 V AC and 240 V DC. They are mainly used for controlling 3-phase motors, non-inductive or slightly inductive loads.

Description

- AF09 ... AF30 contactors include an electronic coil interface accepting a wide control voltage U_c min. ... U_c max. Only four coils cover control voltages between 24...500 V 50/60 Hz or 20...500 V DC
- AF contactors can manage large control voltage variations. One coil (e.g. 100...250 V 50/60 Hz - DC) can be used for different control voltages used worldwide without any coil change
- AF contactors have built-in surge protection and do not require additional surge suppressors
- The built-in N.C. auxiliary contact is a mirror contact in compliance with annex F of IEC 60947-4-1.

Ordering Details

UL/CSA : UL/CSA General purpose rating	Motor ratings, HP					Control voltage Range		Auxiliary contacts fitted		Catalog number	List price	Weight	
	1-phase	3-phase	Uc min. ... Uc max.	V 50/60 Hz	V DC	Y	N	Pack ^{incl} 1 piece kg/lbs					
25	0.75	1.5	2	5	7.5	24...60	20...60	1	0	AF09-30-10-11		0.31/0.68	
						24...60	20...60	0	1	AF09-30-01-11		0.31/0.68	
						48...130	48...130	1	0	AF09-30-10-12		0.27/0.60	
						48...130	48...130	0	1	AF09-30-01-12		0.27/0.60	
						100...250	100...250	1	0	AF09-30-10-13		0.27/0.60	
						100...250	100...250	0	1	AF09-30-01-13		0.27/0.60	
	28	1	2	3	7.5	10	24...60	20...60	1	0	AF12-30-10-11		0.31/0.68
							24...60	20...60	0	1	AF12-30-01-11		0.31/0.68
							48...130	48...130	1	0	AF12-30-10-12		0.27/0.60
							48...130	48...130	0	1	AF12-30-01-12		0.27/0.60
							100...250	100...250	1	0	AF12-30-10-13		0.27/0.60
							100...250	100...250	0	1	AF12-30-01-13		0.27/0.60
30	1.5	3	5	10	15	24...60	20...60	1	0	AF16-30-10-11		0.31/0.68	
						24...60	20...60	0	1	AF16-30-01-11		0.31/0.68	
						48...130	48...130	1	0	AF16-30-10-12		0.27/0.60	
						48...130	48...130	0	1	AF16-30-01-12		0.27/0.60	
						100...250	100...250	1	0	AF16-30-10-13		0.27/0.60	
						100...250	100...250	0	1	AF16-30-01-13		0.27/0.60	
45	2	3	7.5	15	20	24...60	20...60	0	0	AF26-30-00-11		0.35/0.77	
						48...130	48...130	0	0	AF26-30-00-12		0.31/0.68	
						100...250	100...250	0	0	AF26-30-00-13		0.31/0.68	
						250...500	250...500	0	0	AF26-30-00-14		0.35/0.77	
50	2	5	10	20	-	24...60	20...60	0	0	AF30-30-00-11		0.35/0.77	
						48...130	48...130	0	0	AF30-30-00-12		0.31/0.68	
						100...250	100...250	0	0	AF30-30-00-13		0.31/0.68	
						250...500	250...500	0	0	AF30-30-00-14		0.35/0.77	

Auxiliary contact block

For contactors	Positioning	Auxiliary contacts		Catalog number	List price	Weight
		Y	N			Pack ^{incl} 1 piece kg/lbs
AF09 ... AF30	Front	1	0	CA4-10		0.014/0.03
	Front	0	1	CA4-01		0.014/0.03
	Side	1	1	CAL4-11		0.040/0.09

FIGURA G3: Selección de contactores de 9 a 25 A.

Fuente: L.S

SELECCIÓN DEL RELE TÉRMICO

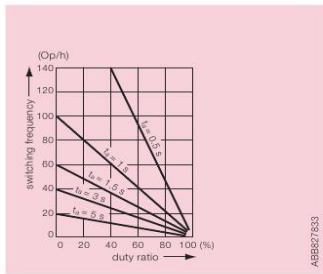


Resistance and power loss per pole and short-circuit protection device

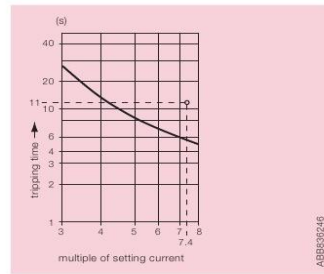
Type	Setting range		Resistance per pole mΩ	Power loss		Short-circuit protection device coordination type 2
	lower value A	upper value A		at lower value W	at upper value W	
TF42-0.13	0.10	0.13	106508.88	1.1	2.0	0.5 A, Type T
TF42-0.17	0.13	0.17	62283.74	1.1	2.0	1.0 A, Type T
TF42-0.23	0.17	0.23	37429.00	1.1	2.0	1.0 A, Type T
TF42-0.31	0.23	0.31	20603.43	1.1	2.0	1.0 A, Type T
TF42-0.41	0.31	0.41	11421.77	1.1	2.0	2.0 A, Type gG
TF42-0.55	0.41	0.55	6347.11	1.1	2.0	2.0 A, Type gG
TF42-0.74	0.55	0.74	3615.62	1.1	2.0	4.0 A, Type gG
TF42-1.0	0.74	1.00	1920.00	1.1	2.0	6.0 A, Type gG
TF42-1.3	1.00	1.30	1065.09	1.1	2.0	6.0 A, Type gG
TF42-1.7	1.30	1.70	622.84	1.1	2.0	10.0 A, Type gG
TF42-2.3	1.70	2.30	340.26	1.1	2.0	10.0 A, Type gG
TF42-3.1	2.30	3.10	187.30	1.1	2.0	10.0 A, Type gG
TF42-4.2	3.10	4.20	102.04	1.1	2.0	20.0 A, Type gG
TF42-5.7	4.20	5.70	59.10	1.1	2.0	20.0 A, Type gG
TF42-7.6	5.70	7.60	31.16	1.1	2.0	35.0 A, Type gG
TF42-10	7.60	10.00	19.30	1.1	2.0	35.0 A, Type gG
TF42-13	10.00	13.00	13.07	1.3	2.2	40.0 A, Type gG
TF42-16	13.00	16.00	7.79	1.3	2.2	40.0 A, Type gG
TF42-20	16.00	20.00	6.25	1.8	2.6	63.0 A, Type gG
TF42-24	20.00	24.00	4.51	1.8	2.6	63.0 A, Type gG
TF42-29	24.00	29.00	3.09	1.8	2.6	63.0 A, Type gG
TF42-35	29.00	35.00	2.25	2.1	2.8	80.0 A, Type gG
TF42-38	35.00	40.00	1.72	2.1	2.8	80.0 A, Type gG

Technical diagrams

Intermittent periodic duty



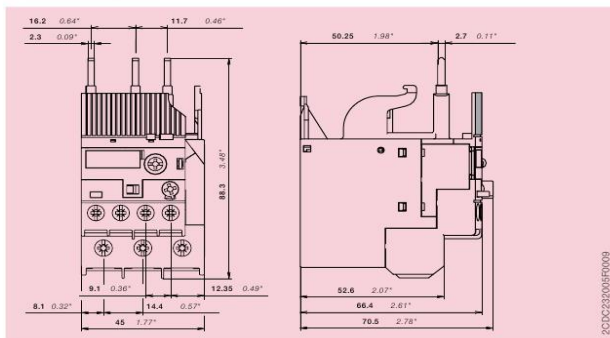
Motor starting time



Tripping curve, starting from cold state

Dimensions

in mm and inches



2CDC106023D0201

Technical data IEC/ENData at $T_A = 40\text{ °C}$ and at rated values, if nothing else indicated**Main circuit**

		2T1-4T2-6T3
Rated operational voltage U_n		690 V a.c. - V d.c.
Setting range - thermal overload protection		see table on page 1
Rated operational current AC-3 I_n		see upper value of setting range, table on page 3
Trip class		10
Rated frequency		50/60 Hz
Number of poles		3
Resistance per pole		see table on page 3
Power loss per pole		see table on page 3
Short-circuit protection device		see table on page 3

		2T1-4T2-6T3
Rated impulse withstand voltage U_{imp}		6 kV
Rated insulation voltage U_i		690 V
Pollution degree		3

Electrical connection		TF42 ≤ 20 A	TF42 > 20 A
Connecting capacity	solid	1/2 x 0.75 ... 4 mm ²	1/2 x 1.5 ... 2.5 mm ² / 1/2 x 2.5 ... 10 mm ²
	stranded	1/2 x 0.75 ... 4 mm ²	1/2 x 1.5 ... 2.5 mm ² / 1/2 x 2.5 ... 10 mm ²
	flexible with ferrule	1/2 x 0.75 ... 4 mm ²	1/2 x 1.5 ... 2.5 mm ² / 1/2 x 2.5 ... 10 mm ²
	flexible with ferrule insulated	1/2 x 0.75 ... 4 mm ²	1/2 x 1.5 ... 6 mm ²
	flexible without ferrule	1/2 x 0.75 ... 4 mm ²	1/2 x 2.5 ... 4 mm ² / 1/2 x 4 ... 6 mm ²
	Stripping length		12 mm
Tightening torque		1.5 ... 2.5 Nm	2.5 ... 2.7 Nm
Connection screw		M4 (Pozidrive 2)	

FIGURA G4: Selección de relé térmico de 4.2 a 5.7 A.**Fuente:** L.S

SELECCIÓN DEL TEMPORIZADOR

7/17/2016

Timer Relay - ASY-2D, ASY-3D



Home Products World Clock Contact Us Site Map

Relay

Timer Relay



ASY-2D

Technical Data

Classification	Digital Timer	
Model	ASY-2D	ASY-3D
Dimensions	88H×58W×68D	
Mounting & Socket	Surface(-N)	
	Flush(-Y)	US-08, P3G-08
Full Timing Range	Sec.: 9.9, 99	Sec.: 9, 99, 99.9, 999
	Min.: 9.9, 99	Min.: 99.9, 999
	Hr.: 9.9, 99	Hr.: 99.9, 999
Rated Voltage	DC(V): 12~24V AC(V): 12~240V	
Indicator Operating	After contact transfer	
ON Contact	Model	ASY-2D ASY-3D
	Time Limit 1C	
	Time Limit 2C	5A
Life	Instantaneous 1C	
	Mechanical	5×10 ⁶ times
	Electrical	10 ⁶ times
Accuracy	Repea Error	±0.05% Max.
	Setting Error	-
	Voltage Error	±0.05% Max.
	Temp. Error	±0.05% Max.
Reset Time	0.3 Sec. Max.	
Consumed Power	3VA	
Ambient Temperature	-10°C ~ +55°C	
Ambent Humidity	48 ~ 85%RH	
Weight	230g	
Connection Diagrams & Timing Chart	34B	34A



Chat now



© Copyright 2010, Langir® Electric Co., LTD. All Rights Reserved
Tel: 86 (577) 62737672 Fax: 86 (577) 62737671 Email: sunshine@sunshine.com

Langir® Electric Co., LTD.

Disclaimer: The appearance of the products listed on this website, color, parameters are for reference only, issued a kind of LANGIR Electric Company shall provide. LANGIR Electric Company reserves the right to modify or cancel the relevant parameters of this website does not advance notice. In doubt, please contact customer service hotline.

<http://www.langirele.com/htm/timer-relay-asy.htm>

1/1

FIGURA G5: Selección de temporizador multigrano.

Fuente: L.S

CIRCUITO ELÉCTRICO

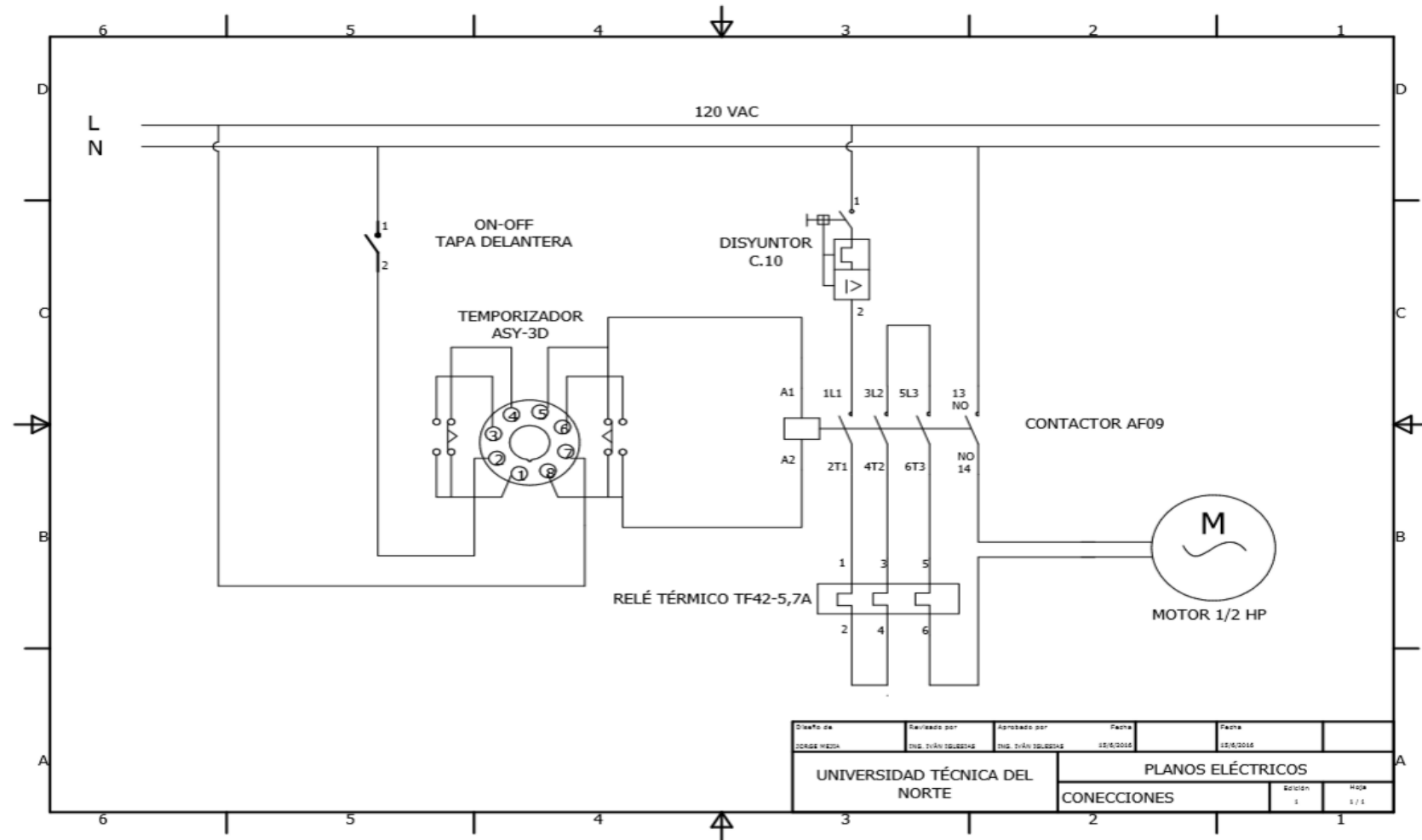


FIGURA G6: Circuito eléctrico

ANEXO H

CURVAS JOMINY DE ALGUNOS ACEROS APTOS PARA TEMPLE

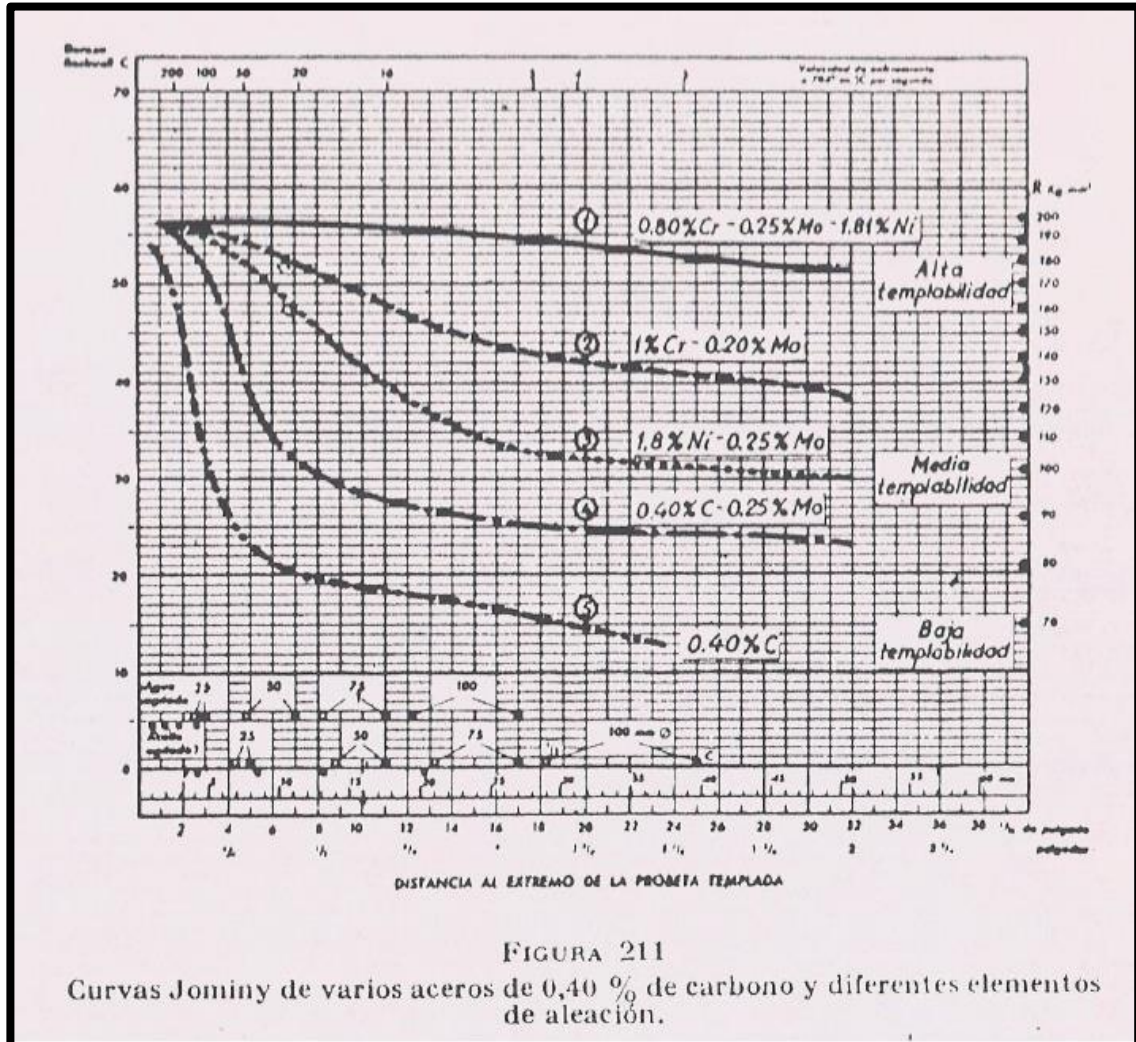
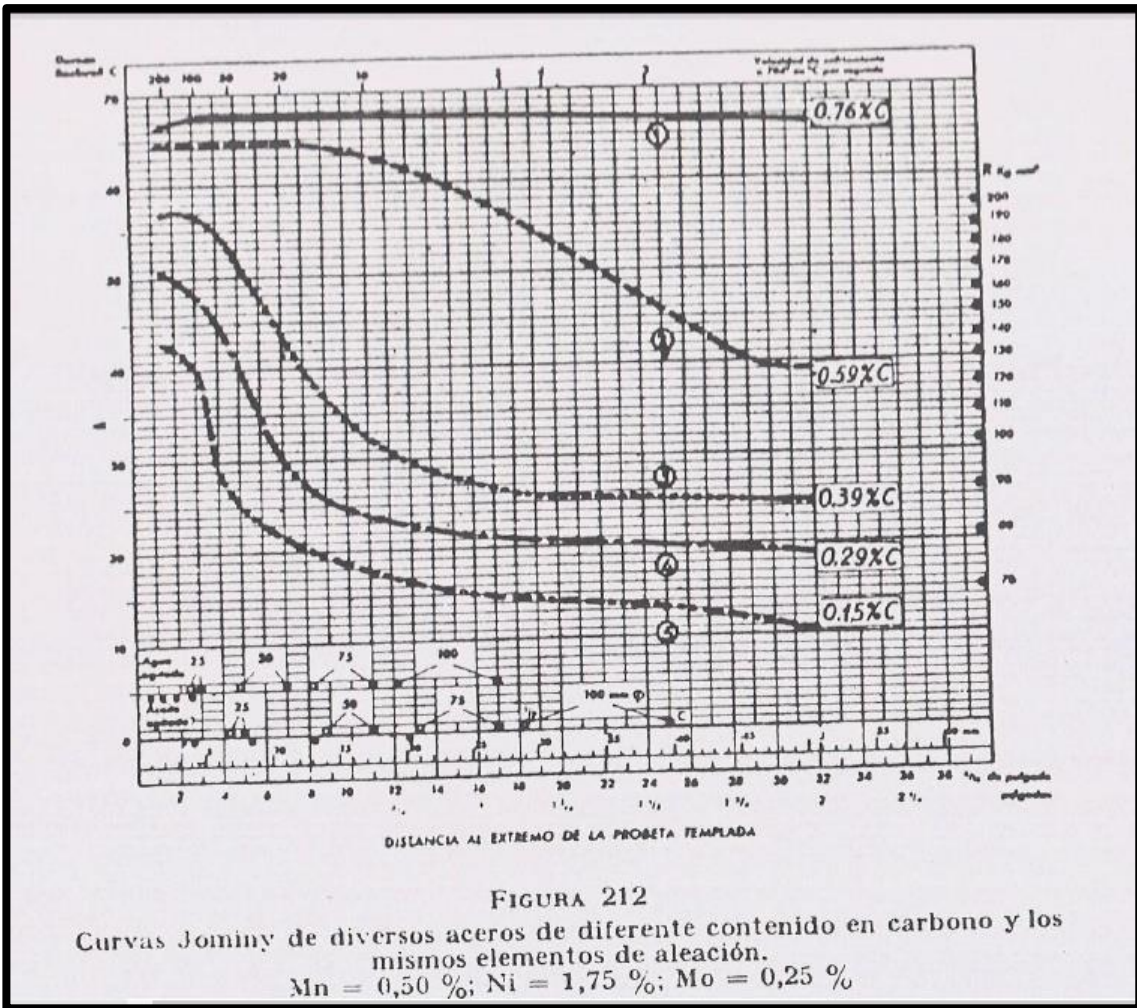


FIGURA 211

Curvas Jominy de varios aceros de 0,40 % de carbono y diferentes elementos de aleación.

Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 215)



Fuente: (Barreiro, 1984, pág. 216)

ANEXO I

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS A ENSAYAR

EL ACERO

760=AISI 1045 Acero al carbono para maquinaria



GENERALIDADES: Acero al carbono sin alear de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

C	Si	Mn	Cr	P	S
760	0.50	0.30	0.60	--	0.04
AISI 1045	0.43 - 0.50	--	0.60 - 0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Resistencia a la Tracción	65Kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 Kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40%
Dureza	220-235

EQUIVALENCIAS:

AISI	1045
SAE	C1045
W. Nr	1.1820
DIN	CK45

APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado	800 - 1050 °C
Normalizado	830 - 850 °C
Temple (agua)	770 - 810 °C
Temple (aceite)	790 - 830 °C
Revenido (herramientas de corte)	100 - 3000 °C
Revenido de bonificación	550 - 650 °C

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9
32	6,3
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
60	22,2
70	30,2
80	39,5
90	49,9
100	61,7
105	68,0
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
140	120,8
150	138,7
165	167,9
170	178,2
180	199,8
200	246,6
230	326,1
250	385,3
300	554,9
310	592,5
320	631,3
350	755,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 60	4,7
10 x 150	11,8
12 x 40	3,8
12 x 60	5,7
12 x 120	11,3
15 x 100	11,8
15 x 150	17,7
20 x 100	15,7
20 x 120	18,8
20 x 130	20,4
20 x 150	23,6
20 x 200	31,4
20 x 300	47,1
20 x 50	7,9
20 x 80	12,6
20 x 90	14,1
25 x 50	9,8
25 x 80	15,7
25 x 250	49,1
30 x 50	11,8
30 x 90	21,2
30 x 300	70,7
40 x 100	31,4
60 x 100	47,1

CUADRADO

Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)
6 x 6	0,3
8 x 8	0,5
10 x 10	0,8
12 x 12	1,1
16 x 16	2,0
20 x 20	3,1
25 x 25	4,9
30 x 30	7,1
32 x 32	8,0
35 x 35	9,6
40 x 40	12,6
45 x 45	15,9
50 x 50	19,6
60 x 60	28,3
70 x 70	38,5
80 x 80	50,2
90 x 90	63,6
130 x 130	132,7

Fuente: Catálogo IBCA

705=AISI 4340

Acero bonificado para maquinaria



GENERALIDADES: 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrado.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
705	0.36	0.25	0.70	--	--	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	4340
DIN	34CrNiMo6
W.Nr	1.6582
JIS	SNCM1
AFNOR	35NCD6

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la Tracción	90-110 Kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

Nota: Estas propiedades se garantizan hasta Ø250 mm. Medidas mayores, favor consultarnos.

APLICACIONES:

1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- ejes
- cardanes
- cigüeñales
- ejes de leva
- tornillería de alta resistencia

2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- árboles para trituradoras
- ejes de transmisión de grandes dimensiones
- engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- barras de torsión
- mandriles
- portaherramientas

3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Recocido blando (650-700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

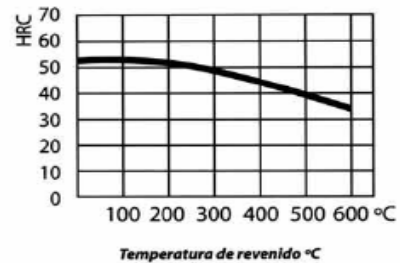
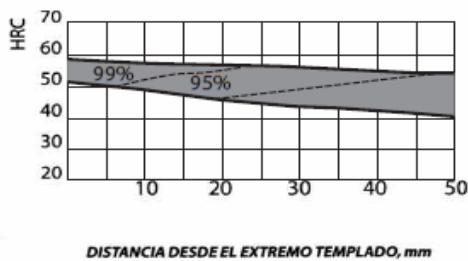
Alivio de tensiones (450-650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple (830-850 °C), Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.

Revenido (500-700 °C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1-2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará una dureza de aproximadamente 500 HB.

Nitruración: Se pueden lograr durezas de alrededor de 53-55 HRC. El proceso durará entre 48 y 72 horas, por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO



MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
16	1,6
20	2,5
22	3,0
25	3,9
28	4,8
30	5,5
32	6,3
35	7,6
38	8,9
40	9,9
42	10,9
45	12,5
50	15,4
55	18,7
60	22,2
65	26,0
70	30,2
75	34,7
80	39,5
85	44,5
90	49,9
95	55,6

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
100	61,7
105	68,0
110	74,6
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
135	112,4
140	120,8
145	129,6
150	138,7
160	157,8
170	178,2
180	199,8
200	246,6
210	271,9
230	326,1
250	385,3
280	483,4
300	554,9
350	755,3

Fuente: Catalogo IBCA

709=AISI 4140**Acero bonificado para maquinaria**

GENERALIDADES: 709 es un acero aleado para construcción de maquinaria, que posee una alta resistencia especialmente en medidas pequeñas y medianas. Como norma, el 709 es suministrado templado y revenido (temple tenaz bonificado), por lo que no se requeriría un tratamiento térmico posterior, a no ser que así lo exija la aplicación y en ese caso, se templaría en aceite para obtener propiedades mecánicas más elevadas.

709 es apropiado para templarse por flama e inducción y susceptible de nitrurar.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
709	0.42	0.25	0.75	--	--	1.05	0.20
AISI 4140	0.38-0.43	0.15-0.35	0.75-1.00	<0.035	<0.040	0.80-1.10	0.15-0.25

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	4140
DIN	42CrMo4
W.Nr	1.7225
JIS	SCM4
AFNOR	42CD4

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la Tracción	90-105 Kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 50%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 25 J
Dureza	275-320 HB

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia
DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

Nota: Estas propiedades mecánicas se garantizan hasta Ø100 mm. Favor consultarnos.

APLICACIONES:**1. Industria automotriz:**

- Ejes, bielas, árboles de transmisión, cigüeñales, etc.

2. Maquinaria:

- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración, partes de bombas, ejes de reductores, árboles de turbinas a vapor, tornillería de alta resistencia.

3. Industria petrolera:

- Taladros, brocas, barrenos, cuerpos de escariadores, vástagos de pistón.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Recocido blando: (680-720 °C): Mantener la temperatura por dos horas. Enfriar en el horno a una velocidad de 15 C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

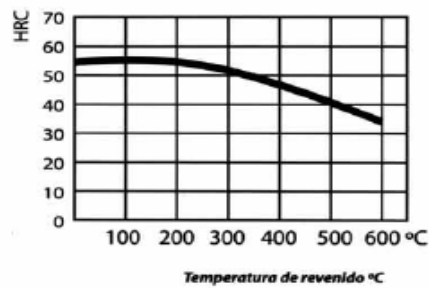
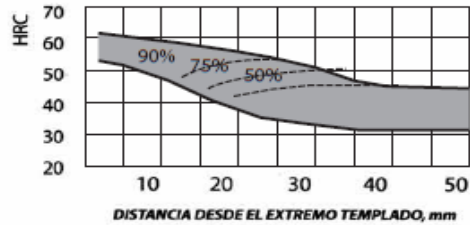
Alivio de tensiones (450-650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 709 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esa temperatura durante 1/2-2 horas. Enfriar en el horno a 450 °C y luego libremente al aire.

Temple (830-850 °C) con enfriamiento en aceite: El tiempo de mantenimiento en minutos cuando ha alcanzado la temperatura de temple es de 0.7 x espesor o diámetro en mm. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y revenir inmediatamente.

Revenido (500-700 °C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1-2 horas luego de que la pieza ha llegado a la temperatura escogida.

Nitruración: La dureza que se puede lograr con este proceso es de alrededor de 53-55 HRC.

CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO



MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
20	2,5
22	3,0
25	3,9
28	4,8
30	5,5
32	6,3
35	7,6
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
55	18,7

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
60	22,2
65	26,0
70	30,2
75	34,7
80	39,5
85	44,5
90	49,9
95	55,6
100	61,7
120	88,8
155	148,1

PERFORADO

Diám. Ext. x Diám. Int. (mm)	Peso (kg/m)
70 x 45	21,0
85 x 65	21,9
95 x 45	46,8
105 x 55	42,5
120 x 70	54,7
130 x 75	70,9
140 x 100	66,0
150 x 110	71,5

Fuente: Catalogo IBCA

ANEXO J

ENSAYO JOMINY DEL ACERO AISI 4340=705

DATOS OBTENIDOS DEL ACERO AISI 4340

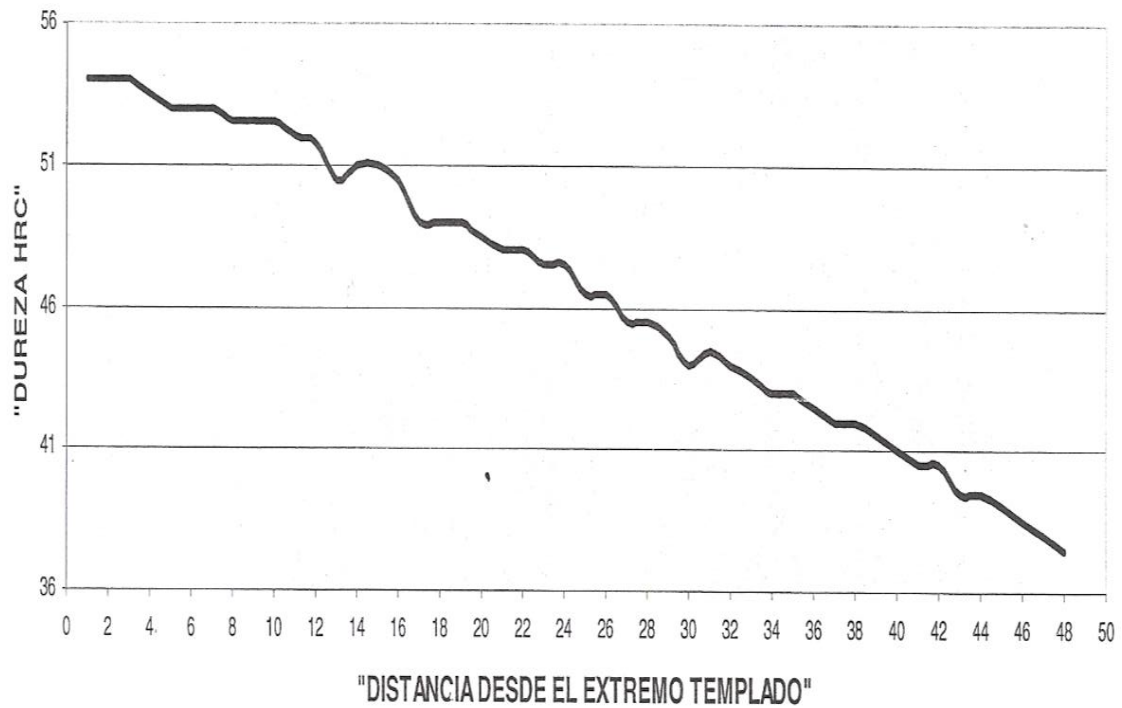
TABLA 3.6: Durezas acero templado acero AISI 4340=705

DISTANCIAS		LECTURAS DE DUREZA ROCKWELL C		PROMEDIO DE DUREZA
A 1/16"	Puntos para la gráfica	L1	L2	
1/16	1	54	54	54
1/8	2	54	54	54
3/16	3	53	55	54
¼	4	53	54	53,5
5/16	5	52	54	53
3/8	6	53	53	53
7/16	7	53	53	53
½	8	52	53	52,5
9/16	9	52	53	52,5
5/8	10	52	53	52,5
11/16	11	52	52	52
¾	12	51.5	52	51,75
13/16	13	50	51	50,5
7/8	14	51	51	51
15/16	15	51	51	51
1	16	51	50	50,5
1 1/16	17	49	49	49
1 1/8	18	49	49	49
1 3/16	19	49	49	49
1 ¼	20	49	48	48,5
1 5/16	21	48	48	48
1 3/8	22	48	48	48
1 7/16	23	48	47	47,5

1 ½	24	48	47	46,5
1 9/16	25	47	46	46,5
1 5/8	26	47	46	45,5
1 11/16	27	46	45	45,5
1 ¾	28	46	45	45,5
1 13/16	29	46	44	45
1 7/8	30	45	43	44
1 15/16	31	45	44	44,5
2	32	45	43	44
2 1/16	33	44	43	43,5
2 1/8	34	44	42	43
2 3/16	35	44	42	43
2 ¼	36	43	42	42,5
2 5/16	37	43	41	42
2 3/8	38	43	41	42
2 7/16	39	42	41	41,5
2 ½	40	42	40	41
2 9/16	41	41	40	40,5
2 5/8	42	41	40	40,5
2 11/16	43	40	39	39,5
2 ¾	44	40	39	39,5
2 13/16	45	39	39	39
2 7/8	46	39	38	38,5
2 15/16	47	38	38	38
3	48	37	38	37,5

Fuente: (Villacis, 2007)

CURVAJOMINY CERRO AISI 4340



Fuente: (Villacis, 2007)

ENSAYO JOMINY DEL ACERO AISI 4140 = 709

DATOS OBTENIDOS DEL ACERO AISI 4140

TABLA 3.7: Durezas acero templado acero AISI 4140=709

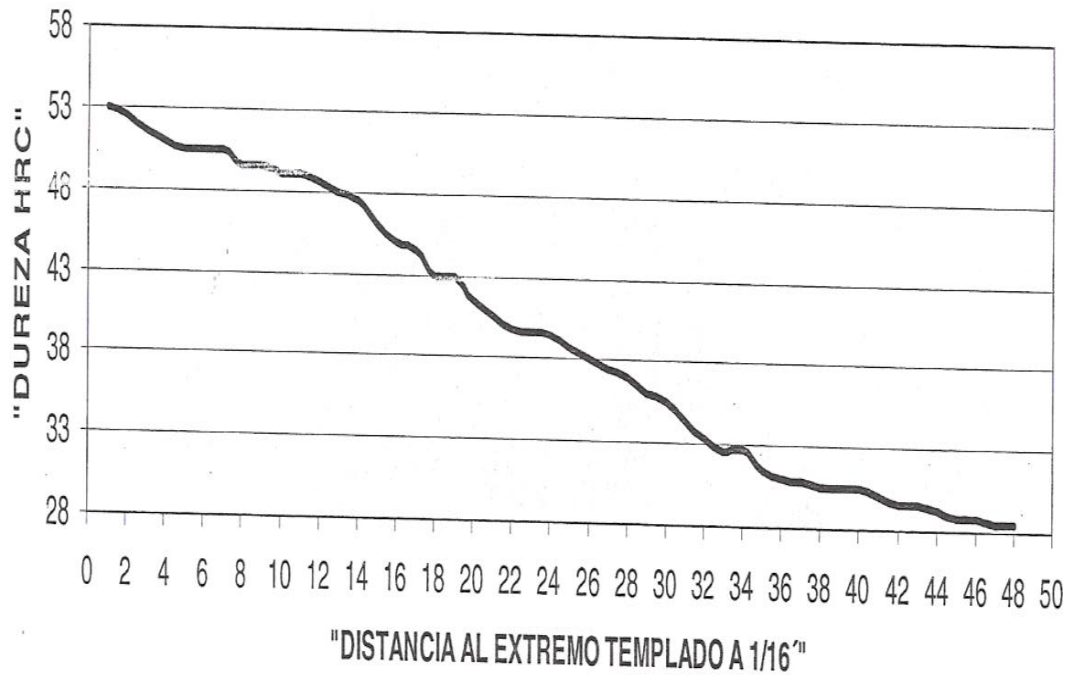
DISTANCIAS		LECTURAS DE DUREZA ROCKWELL C		PROMEDIO DE DUREZA
A 1/16"	Puntos para la gráfica	L1	L2	
1/16	1	53	53	53
1/8	2	53	52	52,5
3/16	3	52	51	51,5
¼	4	51	51	51
5/16	5	51	50	50,5
3/8	6	50	51	50,5

7/16	7	51	50	50,5
½	8	50	49	49,5
9/16	9	50	49	49,5
5/8	10	49	49	49
11/16	11	49	49	49
¾	12	49	48	48,5
13/16	13	48	48	48
7/8	14	47	48	47,5
15/16	15	46	46	46
1	16	45	45	45
1 1/16	17	46	43	44,5
1 1/8	18	41	45	43
1 3/16	19	41	45	43
1 ¼	20	41	42	41,5
1 5/16	21	40	41	40,5
1 3/8	22	39,5	40	39,75
1 7/16	23	39,2	40	39,6
1 ½	24	39	40	39,5
1 9/16	25	38,5	39	38,75
1 5/8	26	38	38	38
1 11/16	27	37	38	37,5
1 ¾	28	36	37,8	36,9
1 13/16	29	35	37	36
1 7/8	30	35	36	35,5
1 15/16	31	34	35	34,5
2	32	33,8	33	33,4

2 1/16	33	33	32	32,5
2 1/8	34	33	32,5	32,75
2 3/16	35	33	30	31,5
2 ¼	36	32	30	31
2 5/16	37	32,8	29	30,9
2 3/8	38	33	28	30,5
2 7/16	39	32	29	30,5
2 ½	40	32	29	30,5
2 9/16	41	32	28	30
2 5/8	42	31	28	29,5
2 11/16	43	31	28	29,5
2 ¾	44	30,5	28	29,25
2 13/16	45	30	27,5	28,75
2 7/8	46	30	27,5	28,75
2 15/16	47	30	27	28,5
3	48	30	27	28,5

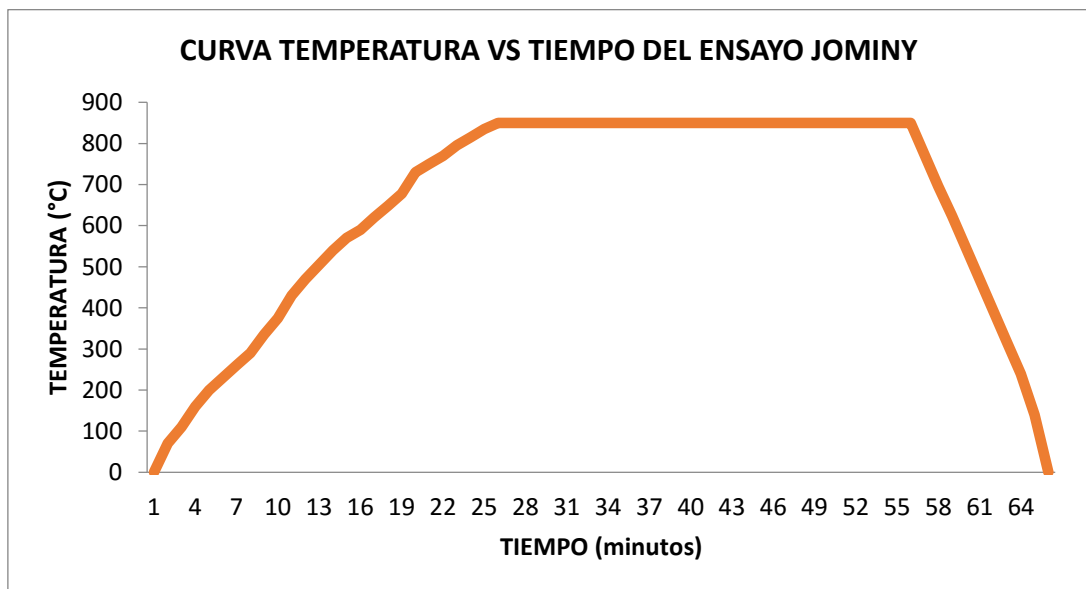
Fuente: (Villacis, 2007)

CURVA JOMINY DEL ACERO 4141

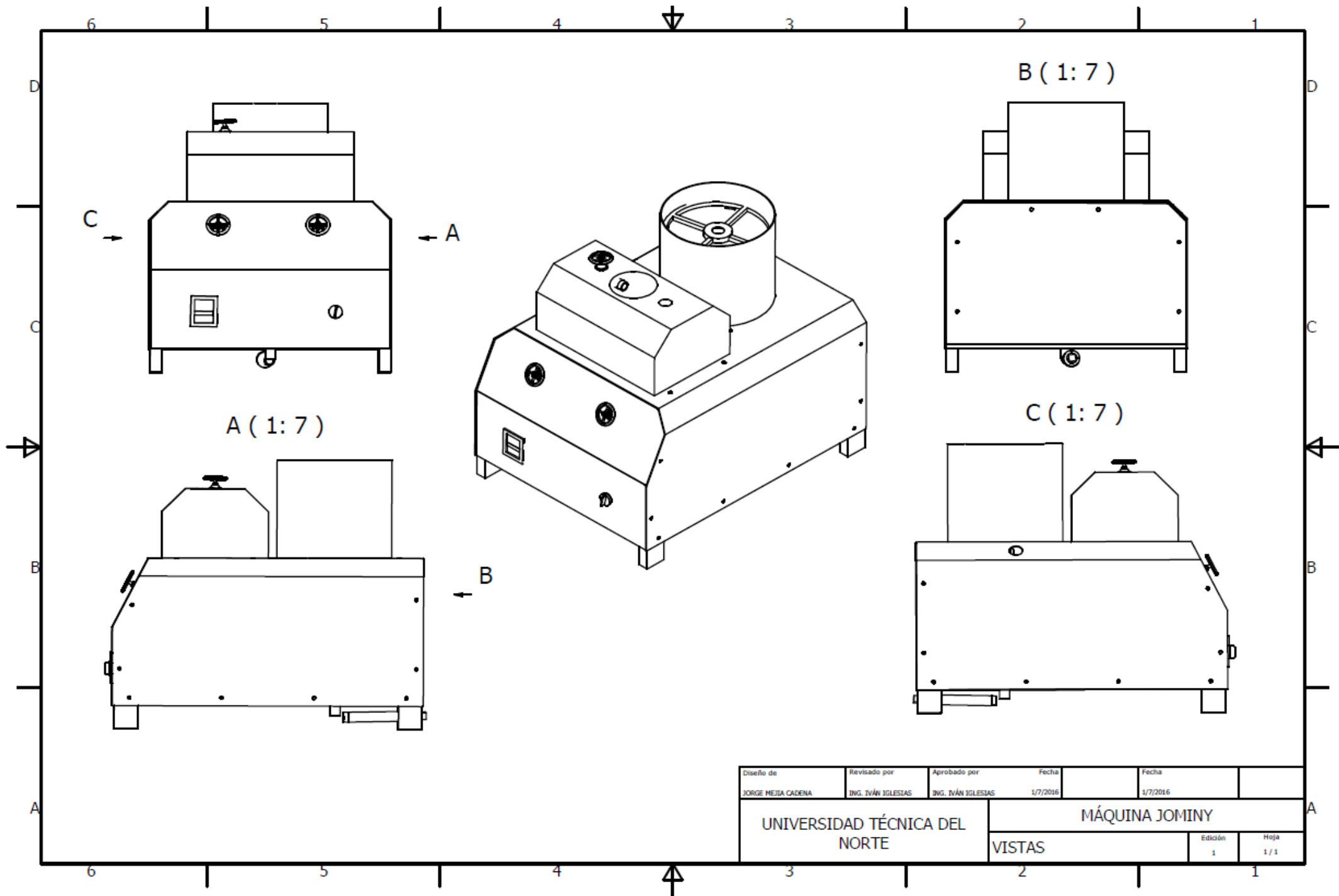


Fuente: (Villacis, 2007)

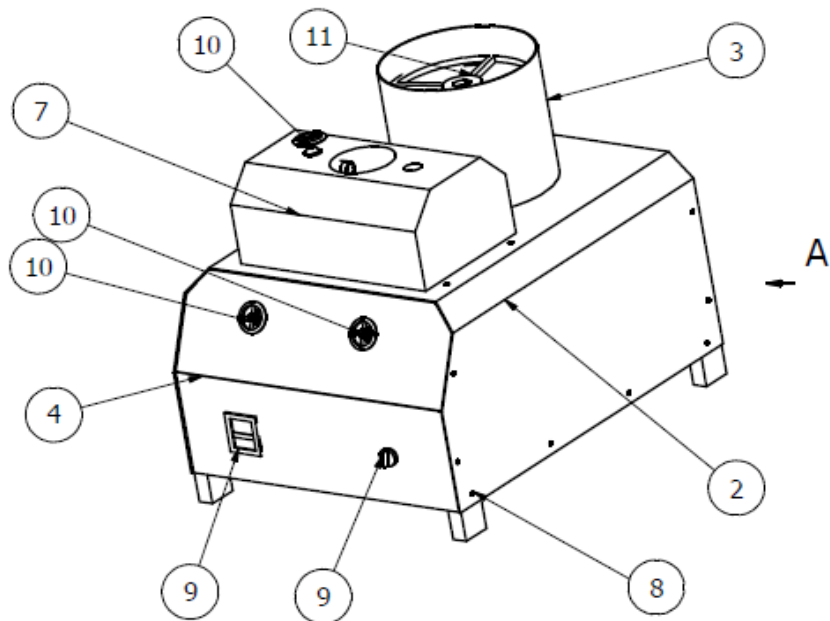
GRÁFICA DE TEMPERATURA VS TIEMPO DEL ENSAYO JOMINY



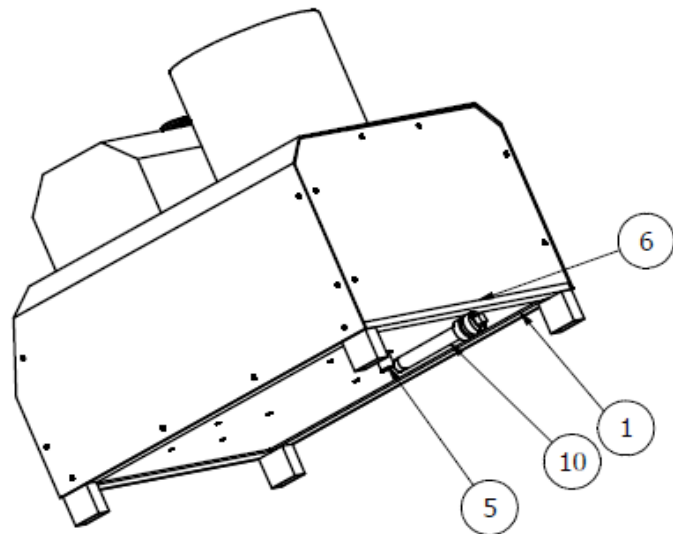
PLANOS



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			MÁQUINA JOMINY		
			VISTAS	Edición	Hoja
				1	1 / 1

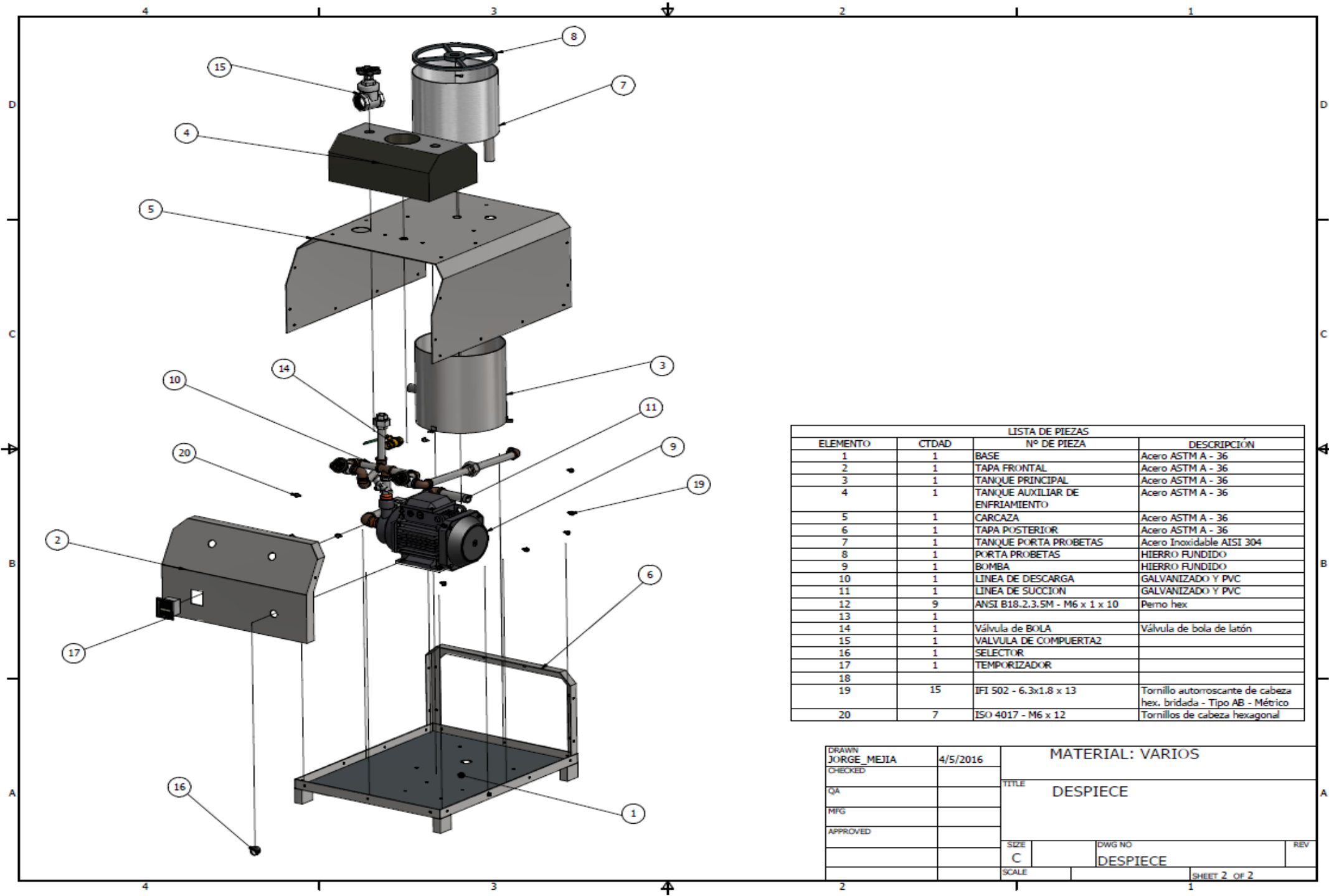


A (1 : 8)



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	BASE	ACERO ASTM A-36
2	1	TAPA SUPERIOR	ACERO ASTM A-36
3	1	TANQUE PORTA PROBETAS	CERO AISI 305
4	1	TAPA FRONTAL	ACERO ASTM A-36
5	1	TANQUE ALIMENTADOR	ACERO ASTM A-36
6	1	TAPA POSTERIOR	ACERO ASTM A-36
7	1	TANQUE AUXILIAR	ACERO ASTM A-36
8	26	ANSI B18.2.3.4M - M6 x 1x10	TORNILLOS CON BRIDA HEXAGONALES MÉTRICOS
9	10	SISTEMA ELECTRICO	COMPONENTES ELECTRÓNICOS
10	1	SISTEMA HIDRAULICO	PVC Y GALVANIZADO.
11	1	PORTA PROBETAS	ACERO ASTM A-36

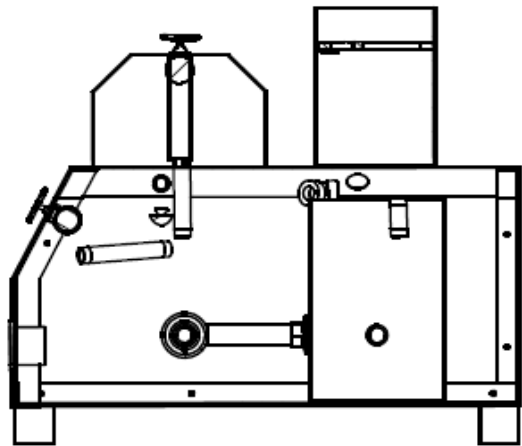
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			MAQUINA JOMINY	
			ESTRUCTURA	Edición 1
				Hoja 1 / 1



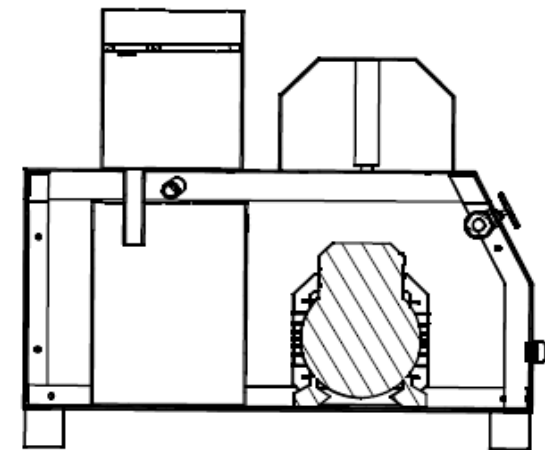
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	BASE	Acero ASTM A - 36
2	1	TAPA FRONTAL	Acero ASTM A - 36
3	1	TANQUE PRINCIPAL	Acero ASTM A - 36
4	1	TANQUE AUXILIAR DE ENFRIAMIENTO	Acero ASTM A - 36
5	1	CARCAZA	Acero ASTM A - 36
6	1	TAPA POSTERIOR	Acero ASTM A - 36
7	1	TANQUE PORTA PROBETAS	Acero Inoxidable AISI 304
8	1	PORTA PROBETAS	HIERRO FUNDIDO
9	1	BOMBA	HIERRO FUNDIDO
10	1	LINEA DE DESCARGA	GALVANIZADO Y PVC
11	1	LINEA DE SUCCION	GALVANIZADO Y PVC
12	9	ANSI B18.2.3.5M - M6 x 1 x 10	Perno hex
13	1		
14	1	Válvula de BOLA	Válvula de bola de latón
15	1	VALVULA DE COMPUERTA2	
16	1	SELECTOR	
17	1	TEMPORIZADOR	
18			
19	15	IFI 502 - 6.3x1.8 x 13	Tornillo autorroscante de cabeza hex. bridada - Tipo AB - Métrico
20	7	ISO 4017 - M6 x 12	Tornillos de cabeza hexagonal

DRAWN JORGE_MEJIA	4/5/2016	MATERIAL: VARIOS	
CHECKED		TITLE DESPIECE	
QA			
MFG			
APPROVED		SIZE C	DWG NO DESPIECE
		SCALE	REV
			SHEET 2 OF 2

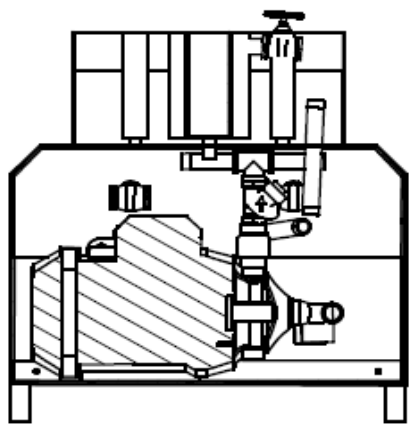
A-A (1:7)



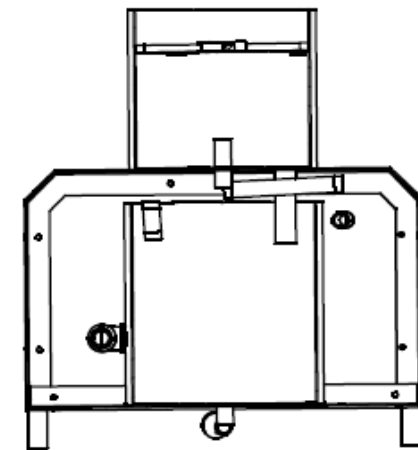
B-B (1:7)



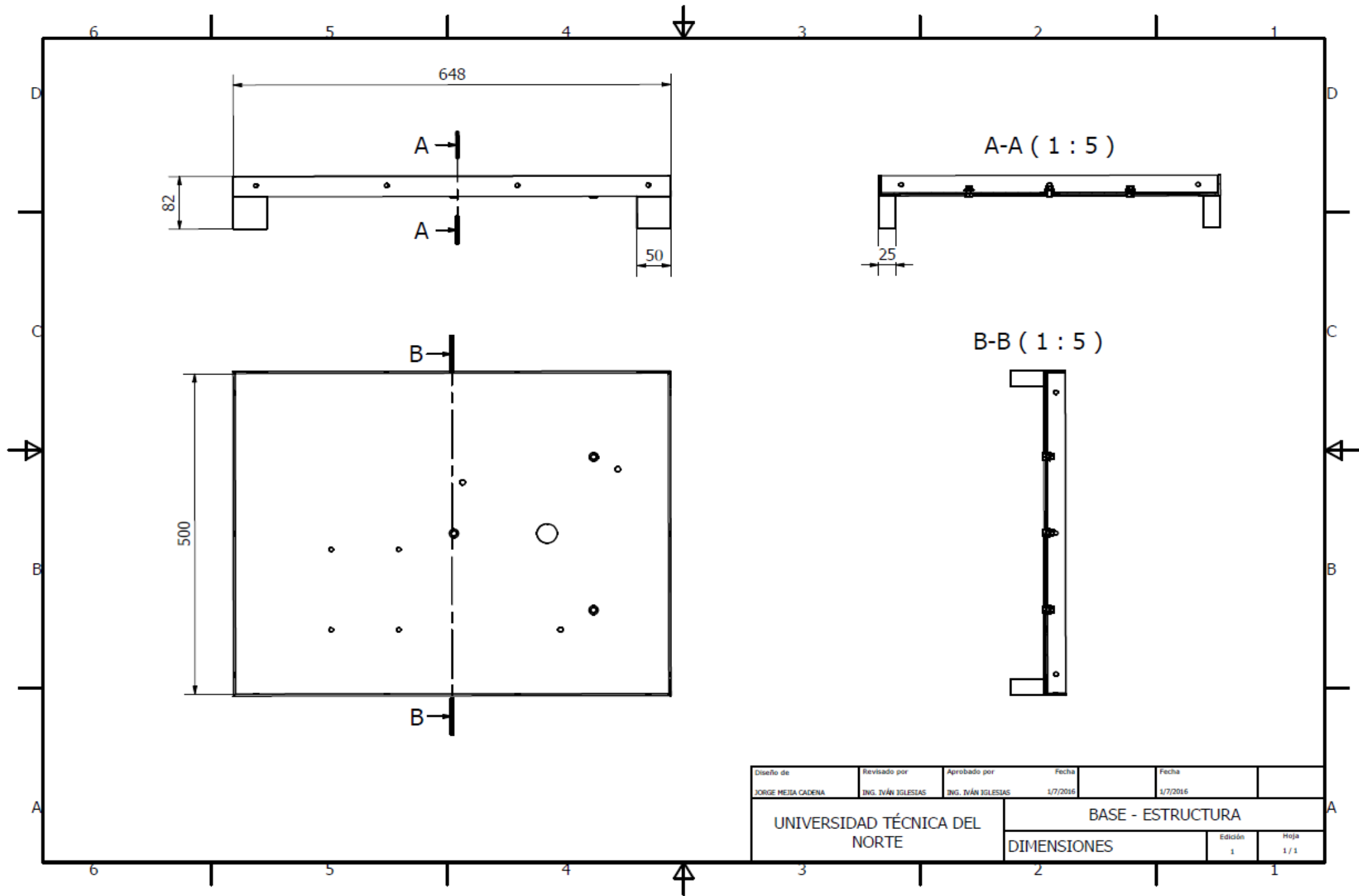
C-C (1:7)



D-D (1:7)



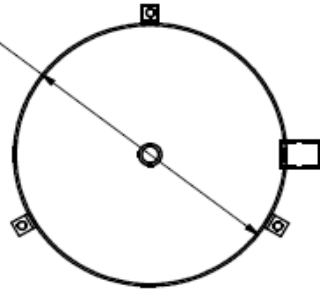
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORE			MÁQUINA JOMINY		
			SECCIONES - CORTES		Edición 1
					Hoja 1/1



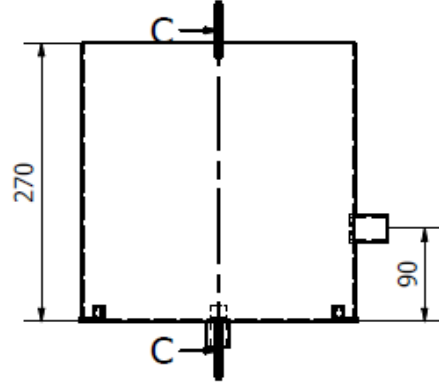
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			BASE - ESTRUCTURA		
			DIMENSIONES	Edición	Hoja
				1	1 / 1

$\phi 260$

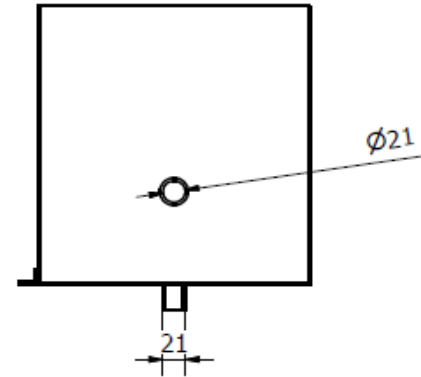
A (1:5)



A

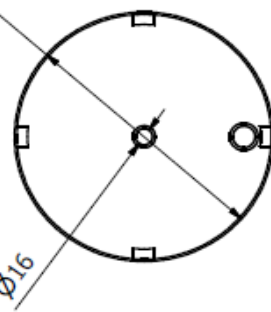


C-C (1:5)

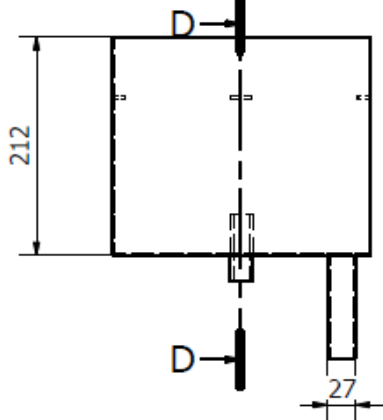


$\phi 240$

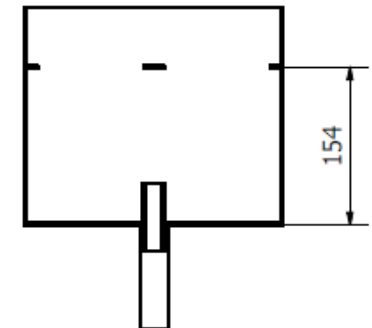
B (1:5)



B

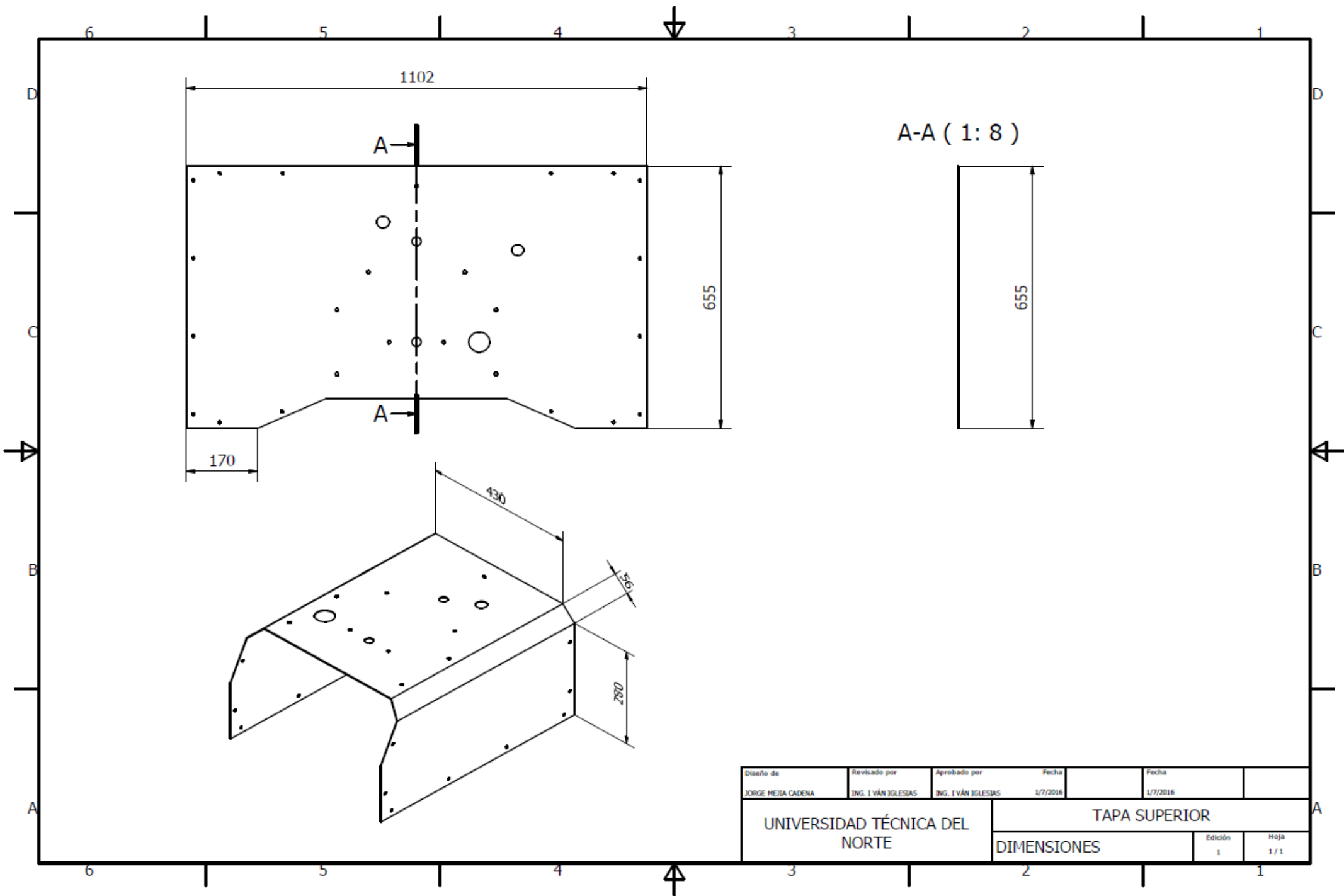


D-D (1:5)

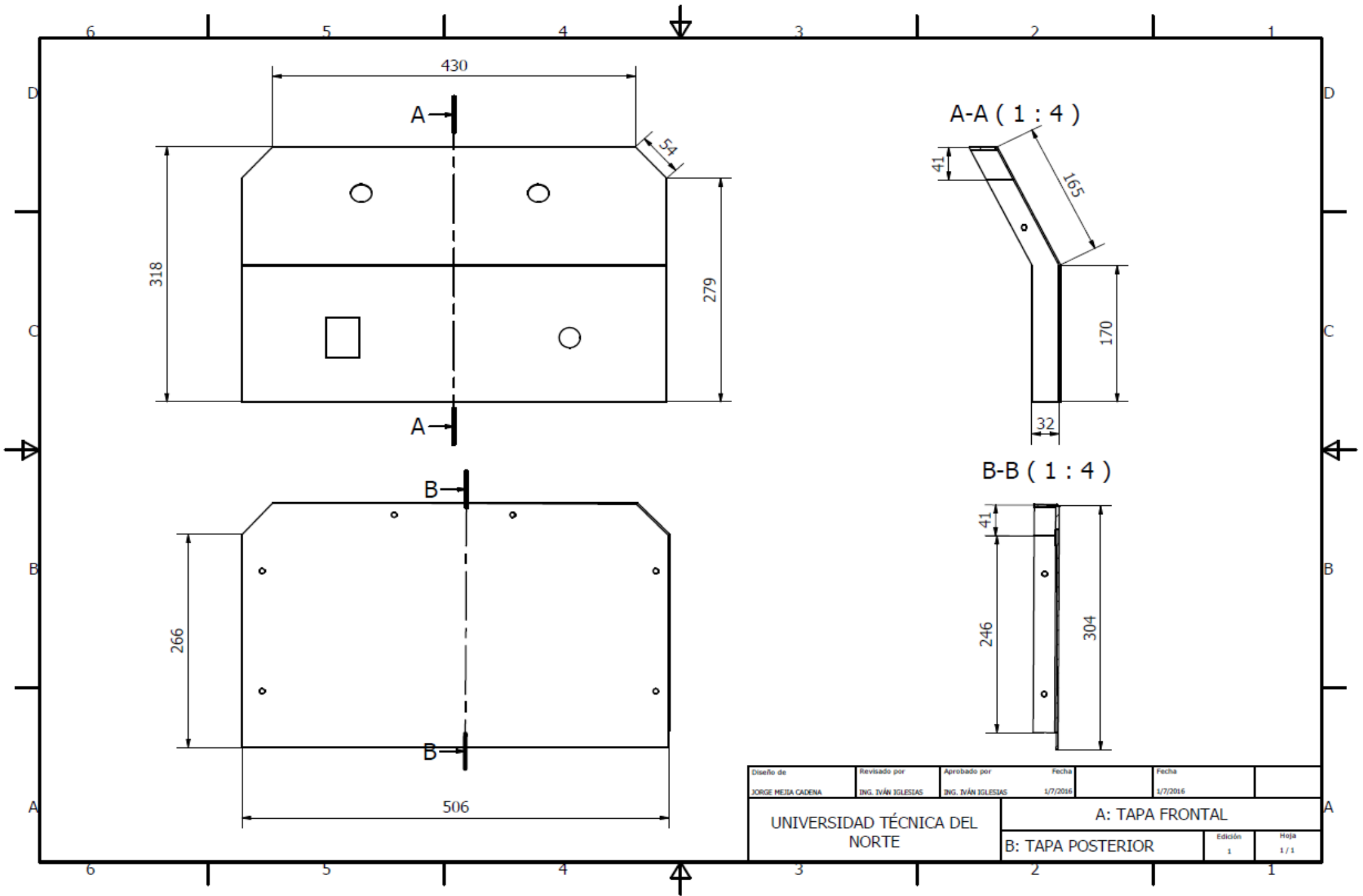


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			A: TANQUE ALIMENTADOR		
			B: TANQUE PORTA PROBE-TAS		Edición 1/1

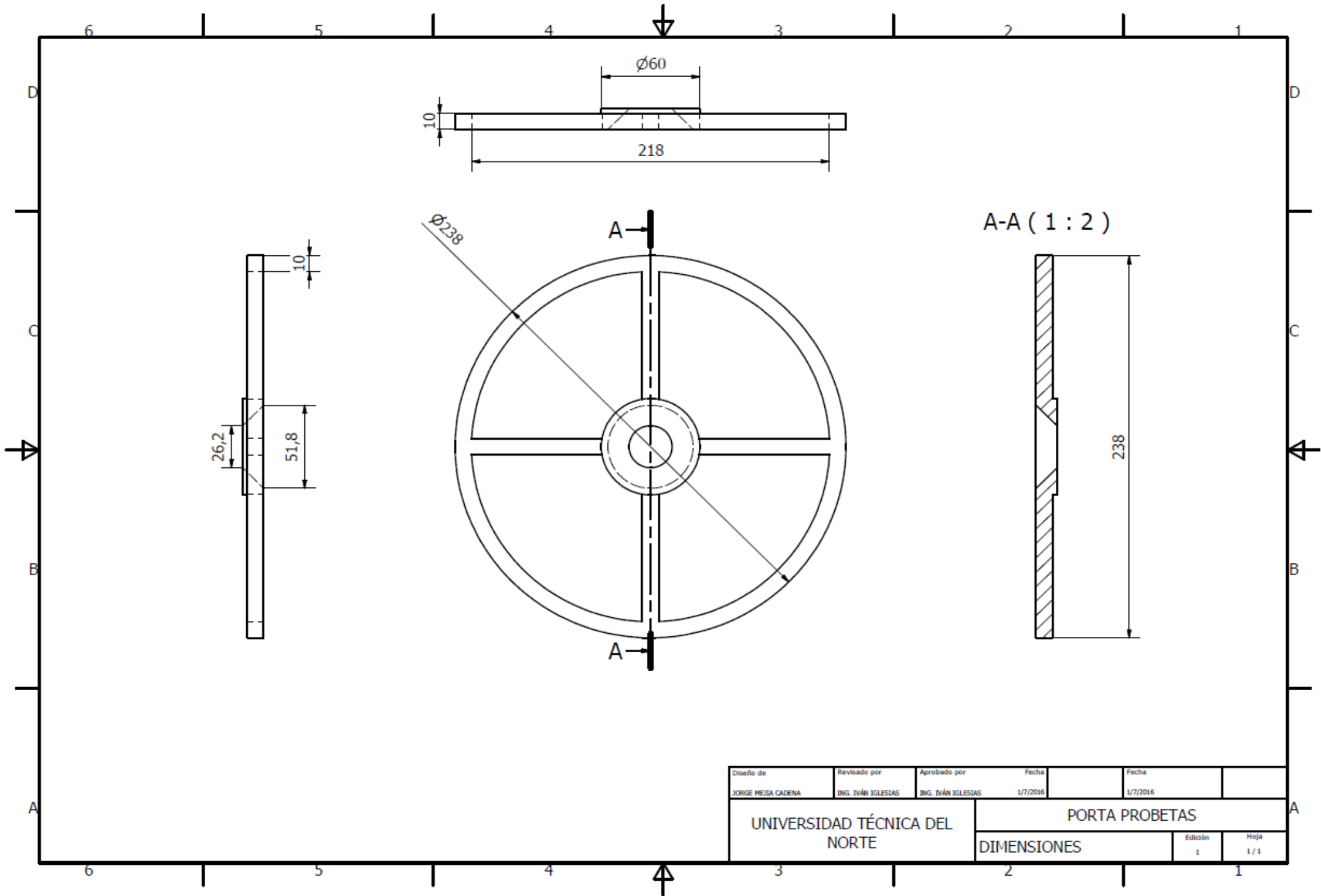
Hoja
1/1



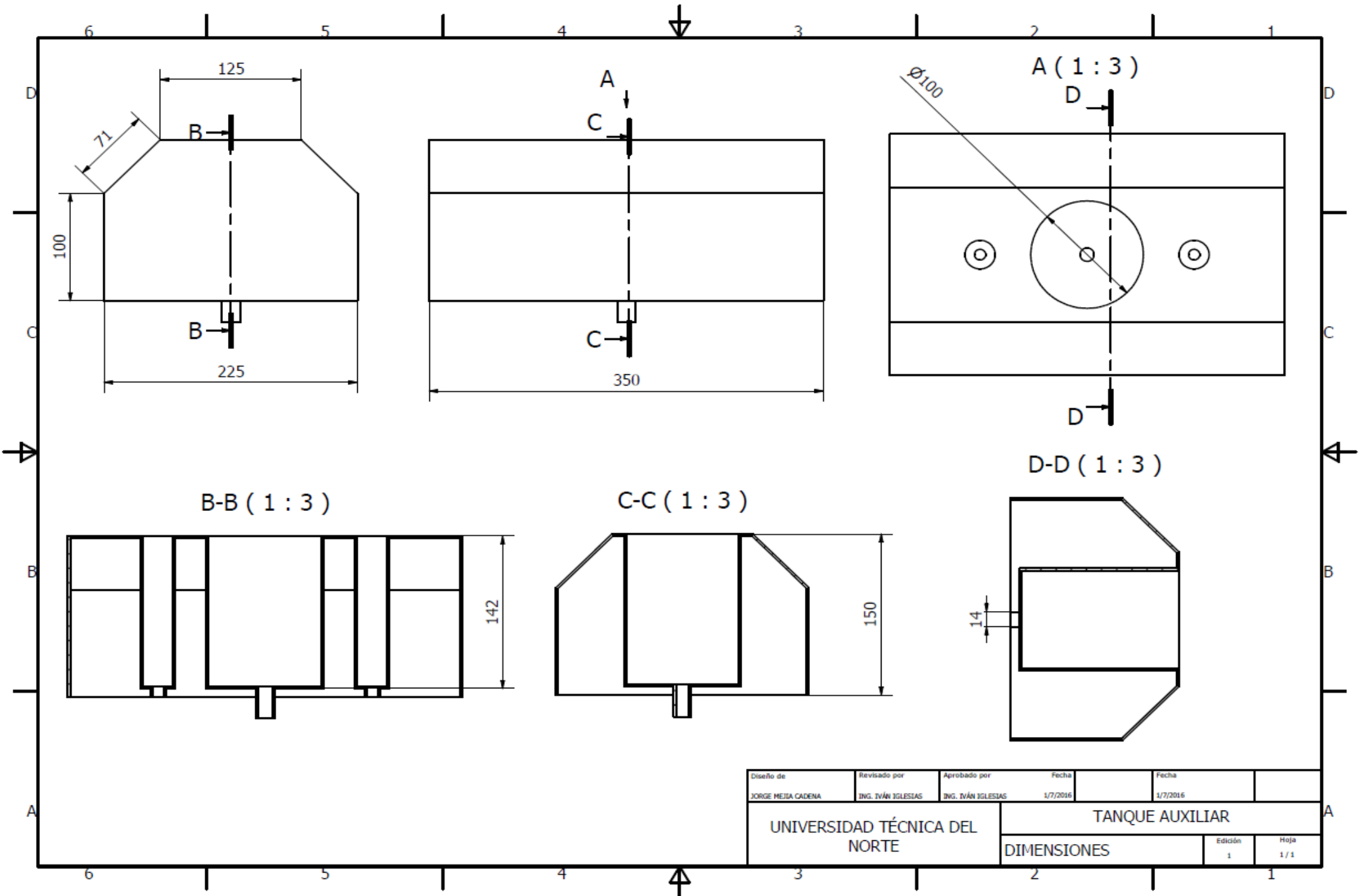
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
JORGE MEJIA CADENA	ING. I VÁN IGLESIAS	ING. I VÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			TAPA SUPERIOR	
DIMENSIONES			Edición	Hoja
			1	1/1



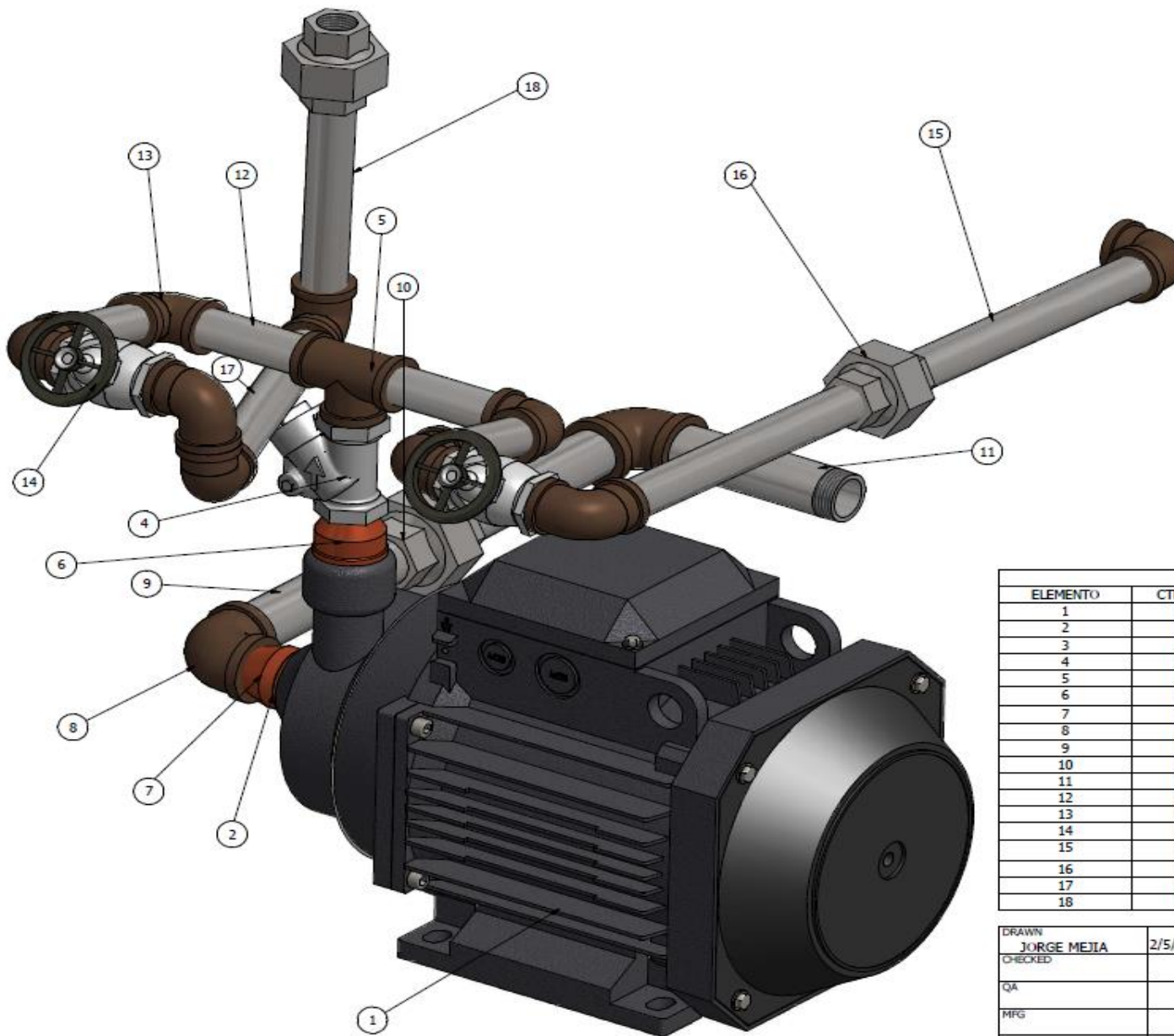
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			A: TAPA FRONTAL	
			B: TAPA POSTERIOR	Edición 1
				Hoja 1 / 1



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			PORTA PROBETAS		
			DIMENSIONES		
			Edición	Hoja	
			1	1/1	



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
JORGE MEJIA CADENA	ING. IVÁN IGLESIAS	ING. IVÁN IGLESIAS	1/7/2016	1/7/2016	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			TANQUE AUXILIAR		
			DIMENSIONES		Edición
					Hoja
			1		1 / 1



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Bomba	Hierro fundido
2	1	Neplo Reductor 1 a 3/4	Galvanizado
3	1	Neplo Perdido 3/4	PVC
4	1	VALVULA CHECK 1/2	Cobre
5	1	Union tipo T - 1/2	Galvanizado
6	1	Neplo reductor 1 x 1/2	Galvanizado
7	1	Neplo reductor 1 x 3/4	Galvanizado
8	2	Codo de 90 grad - 3/4	Galvanizado
9	1	Neplo Largo 3/4 x 6	PVC
10	1	Union Universal 3/4	Galvanizado
11	1	Neplo Largo 3/4 x 6	PVC
12	6	Neplo Corto 1/2 x 3	Galvanizado
13	9	Codo de 90 grad - 1/2	Galvanizado y PVC
14	2	valvula de compuerta 1/2	Cobre
15	2	Neplo Largo 1/2 x 7,5	PVC
16	2	Union Universal 1/2	PVC
17	1	Neplo Largo 1/2 x 6	PVC
18	1	Neplo Largo 1/2 x 5	PVC

DRAWN JORGE MEJIA	2/5/2016	MATERIAL: Acero galvanizado y PVC	
CHECKED		TITLE SISTEMA HIDRAULICO	
QA		SIZE C	DWG NO PLANOS
MFG		SCALE	REV
APPROVED			SHEET 11 OF 11