



**Construcción de un banco de pruebas para realizar ensayos Jominy de templabilidad
en aceros aleados para la Universidad Antonio Nariño - Sede Neiva**

Fabian Jesús Portilla Ordoñez - Miguel Ángel Devia Manrique

20451818881 - 20451814831

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2023

**Construcción de un banco de pruebas para realizar ensayos Jominy de templabilidad
en aceros aleados para la Universidad Antonio Nariño - Sede Neiva**

Fabian Jesús Portilla Ordoñez - Miguel Ángel Devia Manrique

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ingeniera Mecánica - Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:

Tecnología de Materiales.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
_____, Cumple con
los requisitos para optar
Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

1	Resumen.....	1
2	Abstract	2
3	Introducción	3
4	Objetivos.....	5
4.1.	Objetivo General.....	5
4.2.	Objetivos Específicos	5
5	Justificación.....	6
6	Marco teórico	7
6.1.	Tratamientos térmicos en aceros	7
6.2.	Templabilidad.....	8
6.2.1.	Factores de influencia en el temple.....	8
6.3.	Ensayo Jominy.....	9
6.4.	Dureza.....	11
6.4.1.	Dureza Rockwell.....	11
6.4.2.	Dureza Leeb	12
6.4.3.	Medición de dureza a partir del temple.....	12
7	Estado del arte.....	14
8	Metodología	19
8.1.	Etapa (1) Fase diagnóstica.....	19
8.2.	Etapa (2) Selección de criterios	19
8.2.1.	Alternativa (1) Máquina de prueba de templabilidad EASYLAB JOMINY	20
8.2.2.	Alternativa (2) Máquina de ensayo Jominy con programación PLC.....	22
8.2.3.	Alternativa (3) Banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales.....	24
8.2.4.	Análisis de exigencias a satisfacer	25
8.2.5.	Elección de la alternativa de diseño	27
8.3.	Etapa (3) Diseño preliminar	29
8.3.1.	Caracterización de elementos del sistema hidráulico	29
8.4.	Etapa (4) Diseño del sistema hidráulico	30
8.4.1.	Cálculo de velocidad a la descarga del sistema	30

8.4.2. Cálculo del caudal.....	32
8.4.3. Elección de tubería para el sistema hidráulico.....	33
8.4.4. Cálculo de la carga total sobre la bomba.....	51
8.4.5. Potencia suministrada a la bomba.....	53
8.4.6. Presión crítica en la salida de la bomba.....	54
8.4.7. Cálculo de NPSH.....	56
8.4.8. Selección de la bomba.....	59
8.5. Etapa (5) Diseño estructural.....	61
8.5.1. Parámetros de diseño máquina Jominy.....	61
8.5.2. Diseño de tanques porta probetas y principal.....	63
8.6. Etapa (6) Prueba y funcionamiento de máquina Jominy.....	67
8.6.1. Parámetros de funcionamiento.....	67
8.6.2. Selección de materiales para el ensayo.....	68
8.6.3. Ensayo Jominy para aceros SAE 1045 y SAE 4140.....	70
8.6.4. Ensayo de dureza para aceros SAE 1045 y SAE 4140.....	77
8.7. Etapa (7) Evaluación y control de la ejecución de la máquina de ensayo Jominy.....	83
8.7.1. Control ensayo Jominy.....	83
8.7.2. Análisis de resultados parciales.....	84
8.8. Etapa (8) Planos.....	85
8.9. Etapa (9) Guía de laboratorio y manual de mantenimiento.....	89
9 Conclusiones.....	98
10 Anexos.....	100
10.1. Anexo 1. Selección de tubería.....	100
10.2. Anexo 2. Norma ASTM A255.....	101
10.3. Anexo 3. Bomba de agua.....	109
10.4. Anexo 4. Ficha técnica aceros SAE 1045 y SAE 4140.....	110
10.5. Anexo 5. Cotización prueba ensayo de dureza Rockwell C.....	112
11 Referencias Bibliográficas.....	119

Tabla de Figuras

Figura 1 <i>Dimensiones de la probeta y diámetro de tubería</i>	10
Figura 2 <i>Máquina alternativa 1</i>	20
Figura 3 <i>Máquina alternativa 2</i>	22
Figura 4 <i>Máquina alternativa 3</i>	24
Figura 5 <i>Descripción gráfica del chorro de agua a la salida del sistema (unidades en mm)</i>	30
Figura 6 <i>Válvula de pie con colador.</i>	40
Figura 7 <i>Coefficientes de resistencia de entrada.</i>	41
Figura 8 <i>Codos para tuberías.</i>	44
Figura 9 <i>Válvula de compuerta.</i>	45
Figura 10 <i>Coefficiente de resistencia - contracción súbita.</i>	46
Figura 11 <i>Válvula de bola.</i>	47
Figura 12 <i>Altura desde el punto de referencia del volumen de agua (A) hasta la altura máxima del chorro de agua a la salida del sistema (B).</i>	52
Figura 13 <i>Altura desde la altura de la bomba (C) hasta la altura máxima del chorro de agua a la salida del sistema (B).</i>	54
Figura 14 <i>Bomba periférica KNS-30560.</i>	60
Figura 15 <i>Curvas de la bomba periférica KNS-30560.</i>	60
Figura 16 <i>Partes máquina Jominy.</i>	62
Figura 17 <i>Tanque porta probetas.</i>	64
Figura 18 <i>Tanque principal.</i>	66
Figura 19 <i>Puesta en marcha máquina Jominy.</i>	68
Figura 20 <i>Maquinado pieza ensayo Jominy.</i>	69
Figura 21 <i>Piezas de acero torneadas.</i>	69
Figura 22 <i>Horno de resistencia y máquina de ensayo Jominy.</i>	70
Figura 23 <i>EPP para el ensayo Jominy.</i>	71
Figura 24 <i>Piezas dentro del horno de resistencia.</i>	72
Figura 25 <i>Horno de resistencia en funcionamiento.</i>	73
Figura 26 <i>Retiro de pieza ensayo Jominy del horno.</i>	74
Figura 27 <i>Pieza puesta en placa del tanque porta probetas.</i>	74
Figura 28 <i>Proceso de enfriamiento ensayo Jominy.</i>	75
Figura 29 <i>Pieza ensayo Jominy retirada.</i>	76
Figura 30 <i>Pieza mecanizada a 180°.</i>	76
Figura 31 <i>Durómetro para metales digital TH-170.</i>	78
Figura 32 <i>Curva de templabilidad - acero SAE 1045.</i>	81
Figura 33 <i>Curva de templabilidad – acero aleado 4140.</i>	83

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Composiciones químicas.</i>	9
Tabla 2 <i>Cuadro comparativo para elección de alternativas.</i>	28
Tabla 3 <i>Elementos del sistema hidráulico, succión y descarga.</i>	29
Tabla 4 <i>Rugosidad de la tubería.</i>	36
Tabla 5 <i>Propiedades el agua.</i>	37
Tabla 6 <i>Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, Le/D.</i>	43
Tabla 7 <i>Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua.</i>	58
Tabla 8 <i>Componentes máquina Jominy.</i>	61
Tabla 9 <i>Componentes tanque porta probetas.</i>	64
Tabla 10 <i>Componentes tanque principal.</i>	66
Tabla 11 <i>Temperaturas de normalización y austenización.</i>	71
Tabla 12 <i>Tabla de medición y conversión.</i>	78
Tabla 13 <i>Datos de dureza Leeb para acero SAE 1045.</i>	79
Tabla 14 <i>Datos de dureza Leeb para acero SAE 4140.</i>	79
Tabla 15 <i>Ensayo de dureza - acero SAE 1045.</i>	80
Tabla 16 <i>Ensayo de dureza - acero aleado SAE 4140.</i>	82

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Ecuación de Bernoulli.	31
Ecuación 2: Caudal del sistema hidráulico.	33
Ecuación 3: Ecuación de continuidad.	33
Ecuación 4: Ecuación de Darcy para pérdidas de energía menores.	34
Ecuación 5: Ecuación velocidad del fluido.	35
Ecuación 6: Ecuación número de Reynolds.	37
Ecuación 7: Ecuación factor de fricción flujo turbulento.	38
Ecuación 8: Ecuación constante K para válvulas.	40
Ecuación 9: Ecuación de Darcy para pérdidas de energía mayores.	49
Ecuación 10: Ecuación de la energía.	51
Ecuación 11: Ecuación de la potencia suministrada a la bomba.	53
Ecuación 12: Ecuación factor de seguridad para la carga de succión neta.	56
Ecuación 13: Ecuación carga de succión neta positiva disponible.	56
Ecuación 14: Carga de presión estática (absoluta).	56
Ecuación 15: Carga de la presión de vapor.	56
Ecuación 16: Presión estática (absoluta).	57
Ecuación 17: Ecuación volumen de un cilindro.	65

1 Resumen

En el presente proyecto, se construye un banco de pruebas de ensayo Jominy de templabilidad de aceros aleados para la Universidad Antonio Nariño – Sede Neiva, programa de Ingeniería Mecánica.

El diseño de la máquina elegido es la alternativa tres (Banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales). Este bajo el principio de un sistema hidráulico y demás parámetros que cumplen con lo descrito en la norma ASTM A255.

Se procedió a realizar paso a paso el ensayo Jominy a las piezas, adicionalmente estas se sometieron a una medición de dureza, aplicando métodos llamados dureza Leeb (HL) y dureza Rockwell C (HRC), obteniendo valores con rangos entre 56 – 11 (HRC) acero SAE 1045 y 59 – 16 (HRC) acero aleado SAE 4140, permitiendo ser comparados gracias a las curvas de templabilidad.

Finalmente se elabora una guía de laboratorio y un manual de mantenimiento, estos serán de uso y ayuda para los estudiantes.

Palabras claves: Máquina de ensayo Jominy, templabilidad, sistema hidráulico, dureza.

2 Abstract

In this proposed project a Jominy test bench for steel hardenability is built, for the universidad Antonio Nariño, sede Neiva, Mechanical Engineering program.

The machine design chosen is alternative three (Banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales). This is under the principle of a hydraulic system and other parameters that comply with what is described in the ASTM A255 standard.

The Jominy test was carried out step by step on the parts, in addition to which they were subjected to a hardness measurement, applying methods called Leeb hardness (HL) and Rockwell hardness C (HRC), obtaining values with ranges between 56 - 11 (HRC) steel SAE 1045 and 59 - 16 (HRC) SAE 4140 alloy steel, allowing to be compared thanks to the hardenability curves.

Finally, a laboratory guide and a maintenance manual were elaborated, which will be of use and help to the students.

Keywords: Jominy testing machine, hardenability, hydraulic system, hardness.

3 Introducción

La templabilidad del acero se define como la susceptibilidad del acero al endurecimiento cuando se temple, y está relacionada con la profundidad y distribución de la dureza a lo largo de una sección transversal. Además, posee diferentes factores que afectan la templabilidad de los aceros, tales como el tamaño de grano de austenita, el contenido de carbono y el porcentaje de elementos de aleación. Asimismo, existen diversos métodos para su medición, como es el caso del; método de diámetro crítico de Grossman, la prueba de templado final de Jominy, la estimación de la templabilidad a partir de la composición química y la prueba de fractura. (Chandra Kandpal et al., 2011)

Como ya se mencionó, uno de los métodos más empleados para medir la templabilidad, es el ensayo Jominy, descrito de acuerdo a la norma ASTM A 255, la cual establece entre otras cosas, las principales características que debe tener y el proceso paso a paso que debe cumplir la máquina Jominy para lograr su correcto funcionamiento. También, los materiales usados como objetos de estudio son el acero SAE 1045 y el acero aleado SAE 4140, los cuales tendrán medidas específicas otorgadas de igual forma por la norma ASTM A 255.

Esta máquina de ensayo Jominy es usada ampliamente en la industria metalúrgica y metalmecánica, teniendo a su vez, una alta importancia en el ámbito de la ingeniería mecánica, debido a que primero, permite medir propiedades mecánicas de un material, en este caso específico en los aceros aleados, segundo, porque, aunque es un método popular, continúa siendo un tema de numerosos estudios (Ignacio Alvarez, 2019) y, tercero porque para el caso concreto del TIG, va a satisfacer una necesidad latente al interior de la universidad Antonio Nariño- Sede Neiva, ya que allí no se cuenta con un banco de pruebas para este tipo de ensayos, y por tanto, se

pretende buscar un mejor aprovechamiento de la etapa universitaria, donde el estudiantado no deba enfrentarse sin experiencia a la vida profesional y/o laboral frente a este tipo de máquinas.

La dureza es una de las propiedades mecánicas otorgadas a los materiales gracias a la templabilidad de estos, caracteriza la resistencia que opone el material a ser penetrado o rayado por otro. A partir de lo anterior, se utilizaron dos métodos para medir esta propiedad, la dureza Leeb (HL) y la dureza Rockwell C (HRC). Debido a algunas problemáticas que surgieron a lo largo del TIG, se hizo una equivalencia entre las durezas dichas anteriormente, logrando así que los materiales analizados posterior al ensayo Jominy obtuvieran curvas de templabilidad, estas aportando mayor profundidad al análisis de materiales, ya que son capaces de definir el comportamiento de la dureza en diferentes puntos de las piezas, además, son fácilmente comparables entre ambos materiales utilizando como base la microestructura de estos.

4 Objetivos

4.1. Objetivo General

Construir un banco de pruebas para realizar ensayos Jominy de templabilidad en aceros aleados para la Universidad Antonio Nariño - Sede Neiva.

4.2. Objetivos Específicos

- Identificar especificaciones técnicas y parámetros de templabilidad bajo la norma ASTM A255 del banco de pruebas de ensayo Jominy.
- Seleccionar una de tres alternativas de diseño del banco de prueba de ensayo Jominy, que cumpla el método de selección de criterios, dando cuenta de las necesidades del mismo.
- Realizar planos y cálculos del sistema hidráulico requeridos para la construcción del banco de pruebas de ensayo Jominy.
- Elaborar una guía de laboratorio y un manual de mantenimiento, que permitan evaluar el funcionamiento del banco de pruebas.

5 Justificación

Si bien, en las diferentes sedes de Bogotá se cuenta con los laboratorios que permiten estudiar y analizar las propiedades de diferentes materiales; en el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño - Sede Neiva, actualmente no se realizan prácticas de templabilidad que puedan ser requeridas por los docentes, lo anterior impide tener una mirada más profunda acerca de la variedad de análisis que puedan surgir cuando se realiza el ensayo de Jominy, el cual consiste en un procedimiento estandarizado utilizado para determinar la templabilidad de los aceros aleados, dada su fácil realización aplicada a una aleación para endurecerse por deformación de martensita.

En ese orden de ideas, el presente proyecto integral de grado, tiene por objetivo buscar un mejor aprovechamiento de la etapa universitaria de modo que, el estudiantado no deba enfrentarse sin experiencia en algún momento de la vida profesional y/o laboral a este tipo de máquinas.

En ese sentido, resulta pertinente establecer unos resultados, en donde el estudiante una vez realizado el estudio y visto el comportamiento del material, sea capaz de dar cuenta de una conclusión e identifique la contribución que aporta un ensayo Jominy a su ejercicio como ingeniero.

6 Marco teórico

6.1. Tratamientos térmicos en aceros

Los tratamientos térmicos se realizan a partir de la modificación de las propiedades de un material al sufrir un calentamiento hasta una cierta temperatura, sosteniéndose de manera constante, hasta aplicar un enfriamiento posterior, llegando a una temperatura ambiente en un medio determinado.

Algunos procesos se hacen de manera superficial en la pieza, adquiriendo dureza y resistencia a la corrosión, aquellos como nitruración, carburación, cianuración y a la flama. Otros ayudan a liberar esfuerzos, aumentando la ductilidad, por ejemplo, recocido, esferificación y normalizado. También, el endurecimiento forma parte importante en procesos como templado, aumentando la dureza, pero a su vez, haciendo más frágil y poco dúctil la pieza. (A. Perez, 1996)

Estas propiedades mecánicas que se adquieren, como se expuso anteriormente, dependen del tratamiento térmico que se aplique, en donde la utilidad final de la pieza induce a la existencia de otros factores importantes para evitar errores innecesarios como: el equilibrio en las áreas de masa, realizar acabados curvos, cuñeros para una mejor transmisión de potencia, etc. De esta forma, se puede decir que los tratamientos térmicos no solo se aplican a piezas básicas, sino que, su utilidad en la industria permite cubrir necesidades deseadas en cualquier ámbito ingenieril. (A. Perez, 1996)

6.2. Templabilidad

La templabilidad se define como la capacidad que tiene un acero para llegar a un temple total, esto se da, cuando el acero llega al menos a un 50% de transformación martensítica, dando como resultado, la obtención de una propiedad mecánica llamada dureza. Cuando se aplica a un acero aleado de alta templabilidad, este se endurece no solo superficialmente, sino que también, al interior del mismo con gran intensidad. (F. Perez, s. f.)

6.2.1. Factores de influencia en el temple

La velocidad de calentamiento es un factor importante en el temple, se evidencia de forma que si el calentamiento ocurre demasiado rápido, no existirá mayor diferencia entre el calor en el exterior como en el interior de la pieza, lo que hace que se puedan sufrir deformaciones. Lo más importante a la hora de calentar un material, es hacerlo de forma lenta y progresiva, garantizando la uniformidad, eliminando agrietamientos. Entre mayor sea la sección de la pieza, más lento se hará su calentamiento, entonces se deberá garantizar una temperatura uniforme dentro del periodo de tiempo estimado para que se permita calentar las secciones más gruesas de la pieza. (A. Perez, 1996)

El contenido de carbono en el acero es un factor importante a la hora de realizar el temple, ya que este es el encargado de dar dureza y resistencia al acero, se puede decir que el porcentaje de carbono es directamente proporcional a la dureza del acero, con esto, a mayor porcentaje de carbono, mayor dureza y fragilidad.

Las composiciones químicas de algunos elementos usados en el ensayo Jominy son.

Tabla 1

Composiciones químicas.

Element	Range, %
Carbon	0,1-0,70
Manganese	0,50-1,65
Silicon	0,15-0,60
Nickel	1,50 max
Chromium	1,35 max
Molybdenum	0,55 max
Copper	0,35 max
Vanadium	0,20 max

Fuente: («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014)

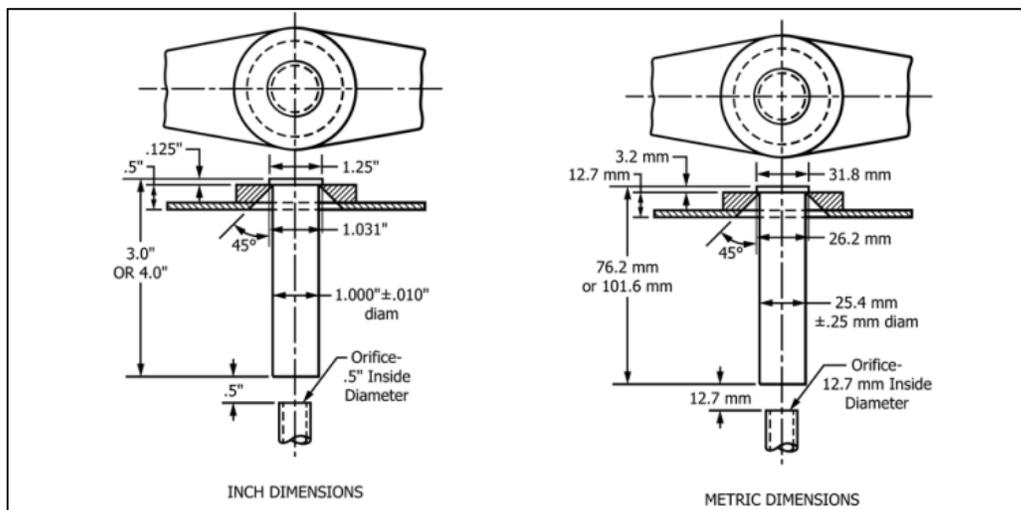
6.3. Ensayo Jominy

El ensayo o prueba Jominy es uno de los métodos más utilizados a la hora de realizar un tratamiento térmico de temple, su fácil ejecución y obtención de resultados, hace que este sea aplicado a varios tipos de aceros. La implementación de este método se da a partir del calentamiento hasta la temperatura de austenización de una pieza mecanizada (probeta) con sección circular, esta misma debe tener 25 mm (1 pulg) de diámetro por 101 mm (4.0 pulg) de largo. Luego se procede a enfriar con agua, entrando en contacto con la cara inferior de la probeta, se debe asegurar que el chorro de agua se eleve a una altura de 63 mm (2.5 pulg) y, cuando se coloque la probeta en el soporte, esta altura deberá ser de 12.7 mm (0.5 pulg), siendo el mismo diámetro del orificio de salida (Anexo 2).

Se tienen en cuenta condiciones de enfriamiento progresivas, ya que estas serán mayores y más rápidas en la cara inferior de la probeta, siendo esta la que entra en contacto directo con el fluido, enfriándose longitudinalmente por conducción hasta la cara superior de la probeta. La temperatura del agua debe estar entre 5 y 30 °C. Figura 1

Figura 1

Dimensiones de la probeta y diámetro de tubería



Fuente: («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014)

Previamente, el soporte porta probetas debe estar totalmente seco, una vez puesta la probeta caliente allí, se permite el paso del agua por medio de la válvula de apertura rápida. El tiempo que debe transcurrir entre la extracción de la probeta del horno y la colocación en el porta probetas, no debe ser mayor a cinco segundos, seguidamente a esto el tiempo en que entra en contacto el chorro de agua y la probeta no debe ser menor a 10 minutos. La corriente de aire alrededor de la probeta no debe ser turbulenta mientras ocurre el enfriamiento y, si la pieza no se enfría por completo, se procese a sumergirla en agua para disminuir la temperatura completamente.

6.4. Dureza

Es la resistencia que ofrece un material a sufrir una deformación plástica en la superficie. Cuanto más duro sea un material, menos vulnerable será al desgaste por rozamiento y más fácil será de mecanizar. Se puede realizar la medición de dureza, esta a partir de la aplicación de una carga progresiva sobre un indentador, el cual puede tener forma de bola o de cono, dependiendo si el material es blando o duro respectivamente. Por lo general, estos son elaborados con materiales más duros (carburo de tungsteno o diamante) con respecto al de dicha pieza a trabajar, de esta forma, al aplicar la carga y retirar la misma de la pieza, dejará una huella, con un área y profundidad específica, indicando el valor de dureza encontrado en ese punto específicamente.

Existen algunos tipos de dureza, en los cuales, siguiendo las indicaciones de la norma. («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014) ,se determina esta propiedad mecánica por medio de la dureza Rockwell.

6.4.1. Dureza Rockwell

Este método es uno de los más sencillos, ya consiste en presionar o penetrar el material con un indentador (en forma de bola o cono), de forma que se pueda medir la profundidad de la huella. Los valores hallados en un ensayo de dureza Rockwell, se dan a partir de la observación en el medidor del durómetro, teniendo en cuenta que se realiza una calibración de cargas antes de realizar la prueba.

Este método se divide en dos procesos de medición: Prueba de dureza Rockwell y prueba de dureza superficial Rockwell. En donde, el valor diferencial son los kgf que se aplican a ambos procesos, de forma que, para el primer proceso se indica una fuerza de 10 kgf y para el segundo se toma una fuerza de 60 kgf correspondientemente. (Pilco & Merino, 2021)

6.4.2. Dureza Leeb

Este método de dureza se empezó a aplicar por primera vez a nivel tecnológico de medición en el año 1978. Este se define como el cociente entre la velocidad de rebote sobre la velocidad de impacto que tiene un cuerpo percutor, multiplicado por 1000. Se tiene en cuenta que este método es para mediciones de dureza superficial, lo que significa que esta no va a rayar ni penetrar la pieza, para materiales blandos la velocidad de rebote es menor en comparación con los materiales duros. El valor de dureza Leeb confirma tener una relación directa respecto a las propiedades de dureza dadas, esto hace que se pueda permitir realizar conversiones de dureza HL en otros valores de dureza. (*MANUAL DE USO DEL MEDIDOR DE DUREZA PCE-2500*, s. f.)

El cuerpo percutor está hecho de carburo de tungsteno en forma de bola, impulsado por un muelle de fuerza a una distancia de 1 mm de la superficie de la muestra. Funciona a partir de una bobina que produce tensiones electricas una vez pasa el cuerpo percutor por la bobina, estas tensiones son proporcionales a las velocidades de impacto. (*MANUAL DE USO DEL MEDIDOR DE DUREZA PCE-2500*, s. f.)

6.4.3. Medición de dureza a partir del temple

Teniendo en cuenta la sección de la probeta a estudiar, esta se debe rectificar con una profundidad mínima de 0.38 mm (0.015 in) en toda su sección transversal, consiguiendo que se puedan tomar las medidas respectivas de dureza Rockwell en toda la sección transversal de la pieza y, a la hora de apoyar la misma, se asegure la sujeción firme a la máquina. De esta forma, la pieza descansará en el yunque, el cuál debe ser capaz de dar pasos precisos en la lectura de las distancias a lo largo de la probeta, siendo estos de 1.6 mm (1/16 in) durante la primera pulgada (25.4 mm), luego serán de 18, 20, 22, 24, 28 y 32 dieciseisavos de pulgada. Si las muestras

tomadas en las dos caras opuestas difieren de en más de 4 puntos HRC, la prueba debe repetirse en planos nuevos a 90° en referencia de los tomados en un principio. Si al realizar de nuevo el ensayo, se vuelve a presentar esta diferencia, la pieza debe ser reemplazada por una nueva.

(«ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014)

7 Estado del arte

Con el objetivo de determinar la pertinencia de los bancos de prueba de ensayo Jominy, se realizó una búsqueda minuciosa acerca de las investigaciones teórico prácticas alrededor de dichos bancos de prueba. La revisión se hizo a través de localizadores de textos científicos y académicos como scholar google, bases de datos bibliográficas como Scopus, repositorios de diferentes universidades como la Antonio Nariño, la Escuela Superior Tecnológica de Chimborazo, Universidad Técnica del Norte, entre otras.

(Casco & Sigcha, 2015)

En dicho proyecto se aborda el diseño y la construcción de una máquina para caracterizar la templabilidad de aceros, con el objetivo de ser una herramienta que aporte a los estudios de los aceros aleados, reconociendo la importancia que tiene con respecto al diseño de elementos de máquinas. El anterior diseño se basó en la norma española UNE-EN ISO 642, la cual estipula un estándar utilizado ampliamente para determinar la templabilidad del llamado ensayo Jominy. La máquina consta de un dispositivo de enfriamiento o de temple, el cual posee un elemento de fijación y centrado de la probeta colocado en la vertical del orificio de salida del agua con el fin de que el enfriamiento tenga lugar únicamente en la base inferior de la probeta. Por lo tanto, con este proyecto fue posible obtener análisis y resultados de templabilidad para comparar y representar el material a partir de sus características de endurecimiento.

(Mejía, 2016)

La presente tesis tiene por objetivo principal construir la máquina de ensayo Jominy para medir la dureza en los aceros sometidos a templabilidad, se utilizaron materiales como ángulo

estructural y plancha de acero ASTM A-36 y plancha de acero inoxidable AISI 305, con lo cual se obtiene una estructura sumamente apropiada para realizar prácticas de ensayo Jominy de templabilidad. Cabe destacar que, dentro de esta tesis, se proporcionaron guías prácticas de laboratorios, con el fin de facilitar el aprendizaje del estudiantado. Finalmente, el autor afirma que los componentes y accesorios utilizados para construir la máquina Jominy, son los acertados puesto que brinda un correcto funcionamiento durante el ensayo, ya que se eligieron teniendo en cuenta estándares, normas de los materiales y accesorios disponibles en el mercado.

(Alves et al., 2017)

Esta monografía se centró en construir un prototipo de máquina Jominy, para realizar de ensayos de templabilidad de aceros de manera fiable y donde a su vez, los resultados obtenidos en las pruebas, permitieran visualizar las transformaciones micro estructurales que se dan en los aceros, cuando se somete a un ciclo térmico. El prototipo fue modelado en el software CAD, Solid Works® 2016, donde se identificaron los tipos y cantidades de materiales adecuados.

Asimismo, la construcción se llevó a cabo en el laboratorio de ingeniería mecánica de la UFERSA basados en la norma de ensayo ASTM A255-10, métodos de ensayo estándar para determinar la templabilidad del acero. Se concluye mencionando que, una vez se obtuvieron los resultados, se logró comprobar que las composiciones químicas de los aceros influyeron de manera directa en la profundidad y dureza del revenido. Finalmente, cabe destacar que el autor sugiere que, para trabajos futuros, se tengan en cuenta acciones fundamentales como; utilizar procesos de mecanizado con mayor precisión dimensional, como la fabricación en torno CNC, efectuar más mediciones de dureza y así, realizar análisis de dispersión, protección del lateral del dispositivo Jominy para evitar posibles corrientes de aire que pueden obstruir con la prueba.

(Alarcón & Berrocal, 2018)

El objetivo de la presente tesis fue proponer el diseño normalizado y construcción de una máquina de ensayo Jominy con los respectivos dispositivos y accesorios auxiliares, lo cual permitió que se ejecutara ensayos de templabilidad de aceros aleados. Para la puesta en marcha del objetivo, tanto el diseño como la construcción se emplearon dimensiones y características constructivas incluidas en la norma ASTM A255. Posteriormente, se analizaron los resultados de un ensayo de templabilidad Jominy para un acero de media y baja aleación, encaminados en validar y verificar no solo la construcción de la máquina, la microestructura mediante el ensayo metalográfico obteniendo la composición de la microestructura física. Concluyen elaborando una guía de prácticas como insumo para el laboratorio de Ensayos de Materiales, lo que permite a futuro que los estudiantes logren resultados normalizados para fines de investigación al interior de la universidad y de control de calidad en la industria.

(Pilco & Merino, 2021)

El presente proyecto tuvo por objetivo diseñar, construir y automatizar una máquina de ensayos Jominy de acuerdo a la norma ASTM A-255, para con ello, realizar ensayos de templabilidad de aceros. Con el ánimo de verificar la funcionalidad de la máquina una vez construida, se comprobó la curva de templabilidad teórica mostrada en (Callister, 1995, p.344) con la curva experimental obtenida para el acero AISI 4340; y se observó que sigue la misma tendencia que la teórica y los valores de dureza no varían significativamente. Finalmente se concluyó que el diseño propuesto para la máquina Jominy cumplió con los requerimientos experimentales establecidos en la norma ASTM A-255 y está apta para usarla en el laboratorio. Es necesario mencionar que este proyecto hace hincapié en cómo las diferentes escuelas de Ingeniería han venido desarrollando proyectos de investigación y construcción de equipos en donde se involucra los conocimientos sobre materiales, sus propiedades y tratamientos.

(Felipe et al., 2021)

Este proyecto de grado buscó diseñar y construir una máquina de ensayo Jominy de templabilidad de aceros, para el laboratorio de materiales de la universidad Antonio Nariño de Bogotá sede sur, ya que la sede en mención no cuenta con dichas instalaciones de aprendizaje. Para la definición de condiciones técnicas de calentamientos por inducción electromagnética, se manejó el software Comsol, efectuando un módulo comercial de calentamiento por inducción, precisando condiciones como temperatura máxima, tiempo aproximado de calentamiento y campo magnético generado por el inductor. Cabe mencionar que el diseño y la construcción de la máquina se efectuaron bajo la norma ASTM A255 para temple de probetas de acero, lo cual garantizó las condiciones de funcionamiento para el tratamiento térmico. Finalmente se señala que para el diseño de la máquina se utilizó el software SolidWorks, el cual permitió definir una estructura vertical apta para acoplar tanto el sistema de flujo y recirculación de agua con el módulo de calentamiento ZVS 2500 y el sistema de posicionamiento de la probeta con un sistema de guaya - polea en la parte superior.

Bajo el panorama anteriormente descrito, se evidenció que este tipo de ensayos, resultan de suma importancia en las instituciones de educación superior con relación a programas afines con los tratamientos térmicos, ya que permite no solo que los estudiantes afiancen lo teórico con lo práctico, sino que logren analizar el comportamiento de los aceros desde la industria misma. Igualmente, la mayoría de las tesis y monografías revisadas dieron cuenta de aquellas recomendaciones y sugerencias que son indispensables tener en cuenta a la hora la construir futuras máquinas de Jominy, por mencionar alguna, la necesidad de que la persona que opere la máquina conozca el procedimiento a seguir antes, durante y después de la práctica. Finalmente,

se evidencia que existe una alta pertinencia para continuar con el proyecto de grado ya que, por un lado, la universidad no cuenta con dicho banco de pruebas de Jominy, por otro lado, porque se suministrarán guías de práctica y manuales de mantenimiento, lo cual no han realizado algunos de los trabajos de grado revisados, y resulta indispensable para que los estudiantes de la UAN sede Neiva, tengan un aprendizaje integral durante su paso por la universidad al hacer uso de sus instalaciones.

8 Metodología

El presente estudio se llevó a cabo por medio de un proceso cualitativo y cuantitativo, dado que se realizó un banco de pruebas de ensayo Jominy para aceros aleados y por consecuencia se obtuvo propiedades mecánicas por medio del templado de una probeta, describiendo el paso a paso, el funcionamiento y, los parámetros al utilizar la norma ASTM A-255.

Desarrollo de las etapas metodológicas, las cuales harán validez a los objetivos planteados:

8.1. Etapa (1) Fase diagnóstica

Se ejecutó una búsqueda bibliográfica sobre diferentes tipos de bancos de pruebas, con el objetivo de poder caracterizar los elementos de forma técnica comercial de una máquina de ensayo Jominy. También, se tuvo en cuenta los parámetros y características que deben tener el banco de pruebas para el correcto funcionamiento del ensayo Jominy, esto último se concibió, dando cumplimiento a las norma ASTM A255.

8.2. Etapa (2) Selección de criterios

En esta etapa se definieron los criterios de evaluación para la elección de una alternativa, respecto a las tres expuestas a continuación. Estos criterios se evaluaron a partir de un análisis de funcionamiento, características, ventajas y desventajas de las mismas. Por otro lado, se puntuó por medio de un sistema cuantitativo de 1 a 10, las necesidades y el ofrecimiento que satisfagan el banco de pruebas mediante las siguientes variables. Cabe aclarar que los criterios expuestos se basan a partir de experiencias propias.

- Seguridad de la máquina.
- Costos de producción.
- Dificultad de construcción.
- Tamaño y lugar de operación.
- Movilidad de la máquina.

8.2.1. Alternativa (1) Máquina de prueba de templabilidad EASYLAB JOMINY

Figura 2

Máquina alternativa 1



Fuente: Tomado de ([Máquina de prueba de templabilidad - EASYLAB JOMINY - HEAT CONCEPT - digital / de acero inoxidable \(directindustry.es\)](#)).

8.2.1.1. Funcionamiento

Aparato destinado a la prueba de templabilidad Jominy de los aceros, que consiste en un horno para tratamientos térmicos con dispositivo de control de la temperatura, colocado encima de un bastidor que incluye un dispositivo de enfriamiento de la pieza de ensayo, conforme en todos los aspectos a la norma NF EN ISO 642 de 1999.

8.2.1.2. Elementos característicos principales.

1. Controlador PID digital.
2. Fin de carrera para la seguridad.
3. Temporizador electrónico.
4. Horno de copela.
5. Estructura en acero inoxidable.
6. Válvula termostática.
7. Cubeta de acero inoxidable (22 L).
8. Chorro de agua a presión constante (refrigeración).

8.2.1.3. Ventajas

- Materiales de alta calidad.
- Automatización en los procesos.
- Errores mínimos en el temple.
- Disminución del tiempo en el calentamiento hasta la posición de enfriamiento.

8.2.1.4. Desventajas

- Costos de mantenimiento elevados.
- Costos de fabricación elevados.
- Alto consumo de energía eléctrica.

8.2.2. *Alternativa (2) Máquina de ensayo Jominy con programación PLC*

Figura 3

Máquina alternativa 2



Fuente: (Contreras & Zúñiga, 2016).

8.2.2.1. Funcionamiento

El funcionamiento básico de la máquina para tratamiento térmico Jominy es un bombeo de agua durante 10 minutos, el proceso del tratamiento es totalmente automático, instalando un PLC para el control del proceso y diferentes sensores que actúan como entradas digitales para que el PLC realice el programa, genere salidas de control y de accionamientos de componentes eléctricos. También incluye sensor réflex y sensores de nivel.

8.2.2.2. Elementos característicos principales

1. Programación PLC.
2. Estructura en acero inoxidable, fibra de carbono y acero estructural.
3. Sensor réflex.
4. Sensores de nivel.
5. Pantalla HMI.
6. Indicadores luminosos.
7. Interruptor parado de emergencia.
8. Fuente 110 VAC – 24 VDC.
9. Electrobomba sumergible.
10. Tanque de recirculación del agua.

8.2.2.3. Ventajas

- Cálculos con mayor exactitud.
- Automatización de los procesos.
- Mayor aprovechamiento del espacio de trabajo.
- Materiales de construcción resistentes.
- Mayor protección de los componentes internos.

8.2.2.4. Desventajas

- Complejidad en su elaboración.
- Costos de mantenimiento elevados.
- Seguridad industrial media.

8.2.3. Alternativa (3) Banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales

Figura 4

Máquina alternativa 3



Fuente: Autores.

8.2.3.1. Funcionamiento

La máquina consiste en un sistema hidráulico cerrado conformado por dos tanques, un sistema de circulación impulsado por una bomba centrífuga y una válvula de acción rápida que regula la velocidad del fluido, este direccionado hacia una tobera con sección normalizada hacia la descarga del sistema en donde se encuentra la probeta caliente lista para enfriarse.

8.2.3.2. Elementos característicos principales

1. Bomba centrífuga.
2. Tubería PCV.
3. Válvula de accionamiento rápido.
4. Válvula de bola.
5. Tanque porta probetas.

6. Tanque principal o de almacenamiento.
7. Codos.
8. Estructura metálica.

8.2.3.3. Ventajas

- Diseño comprensible y didáctico.
- Facilidad en su mantenimiento.
- Área de trabajo reducida.
- Menores costos de fabricación.

8.2.3.4. Desventajas

- Falta de automatizaciones que agilicen el trabajo.
- Seguridad industrial media de la máquina.
- Control de caudal manual (inestable).

8.2.4. *Análisis de exigencias a satisfacer*

En principio se establecieron las exigencias a tener en cuenta para seleccionar la alternativa más óptima del banco de pruebas:

- Seguridad de la máquina.
- Costos de producción.
- Dificultad de construcción.
- Tamaño y lugar de operación.
- Movilidad de la máquina.
- Mantenimiento.

Se continuo con el análisis a cada exigencia.

8.2.4.1. Seguridad de la máquina

Durante el análisis del proceso de cada una de las alternativas de diseño se tuvo en cuenta la magnitud de riesgo al que están expuestos los operarios, por consiguiente, para la puntuación se emplearon valores del 1 al 10, donde 1 representa seguridad baja y 10 seguridad alta.

8.2.4.2. Costos de producción

Se realizó una valoración de los costos requeridos para la construcción de la máquina, tales como, materiales, elementos y procesos de fabricación, lo cual determinó la alternativa de mayor y menor costo. En este sentido, la puntuación se dio de 1 a 10, siendo 1 un costo elevado y 10 bajo costo.

8.2.4.3. Dificultad de construcción

Se realizó un análisis con base a la complejidad de construcción de cada una de las alternativas, en donde se determinaron las características de diseño, los materiales e instrumentos requeridos para la construcción de las mismas. La puntuación se presentó de 1 a 10, donde 1 alta complejidad y 10 baja complejidad.

8.2.4.4. Tamaño y lugar de operación

Se analizó cuál de las alternativas de diseño se acoplaba mejor al lugar de trabajo, determinando el peso, la facilidad de transporte y operación de cada una, para puntuar lo mencionado se utilizaron valores del 1 al 10, donde 1 poca adaptación y 10 adaptación óptima.

8.2.4.5. Movilidad de la máquina

Durante el proceso la máquina de ensayo Jominy debe estar cerca al horno, para evitar corrientes de aire, o fluidos que puedan alterar el procedimiento y cumplir con lo establecido por la norma («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014). En este sentido, la puntuación se da desde 1 hasta 10 de acuerdo a la movilidad que presentaba cada alternativa, donde 1 presenta gran dificultad para mover y 10 facilidad para mover.

8.2.4.6. Mantenimiento

Se evaluó la versatilidad de las alternativas al realizar un mantenimiento o reparación de las mismas, lo cual permitió observar que alternativa presenta mayor o menor ahorro de recursos, asimismo, el tiempo requerido al momento de una reparación o mantenimiento. La puntuación de este se hizo de 1 a 10, siendo 1 gran dificultad de mantenimiento y 10 facilidad de mantenimiento.

8.2.5. Elección de la alternativa de diseño

Para la selección de la alternativa de diseño, se utilizó una matriz que permitió realizar una comparación de cada exigencia planteada por diseño, permitiendo dar una valoración y así establecer la mejor alternativa.

De lo anterior, se estableció que por medio de la matriz, se evaluaron los puntajes de las exigencias para cada diseño y compararon las sumas de todos los valores obtenidos para cada alternativa.

Tabla 2

Cuadro comparativo para elección de alternativas.

Alternativas	1	2	3
Seguridad de la máquina.	9	8	8
Costos de producción.	3	5	8
Dificultad de construcción.	4	4	5
Tamaño y lugar de operación.	4	5	5
Movilidad de la máquina.	10	6	6
Mantenimiento.	4	7	8
Valoración	34	35	40

Fuente: Autores.

Con los resultados obtenidos de la matriz, se decidió que la mejor alternativa para la construcción es la número 3, el banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales.

8.3. Etapa (3) Diseño preliminar

8.3.1. Caracterización de elementos del sistema hidráulico

Figura 4

Máquina alternativa 3



Fuente: Autores.

Tabla 3

Elementos del sistema hidráulico, succión y descarga.

ELEMENTOS DE SUCCIÓN	
Definición	Cantidad
Bomba de agua Karson (KSN-30560)	1
Válvula de pie con colador	1
Codo de 90°	3
Buje entrada	1
ELEMENTOS DE DESCARGA	
Definición	Cantidad
Válvula de bola (acción rápida)	1
Válvula de compuerta	1
Codo de 90°	2
Unión PVC	1
Buje salida	1

Fuente: Autores.

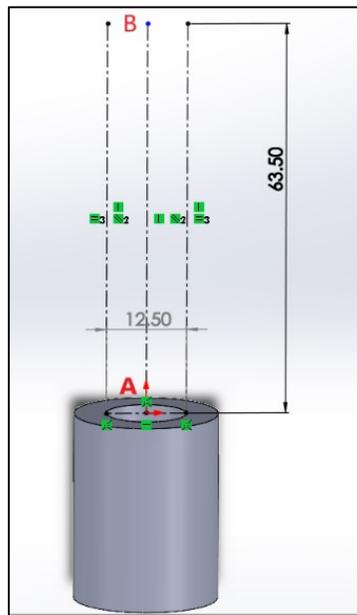
8.4. Etapa (4) Diseño del sistema hidráulico

8.4.1. Cálculo de velocidad a la descarga del sistema

En primera instancia, se realizó el cálculo de la velocidad de salida, está teniendo en cuenta la norma («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014), la cual establece las siguientes condiciones del chorro de agua.

Figura 5

Descripción gráfica del chorro de agua a la salida del sistema (unidades en mm)



Fuente: Autores.

- Altura del chorro libre: 63.5 mm (± 10 mm)
- Diámetro interior de boquilla (salida): 12.5 mm (± 0.5)
- Temperatura del agua (ambiente): 25 °C

Para hallar la velocidad de salida del sistema, se utilizará el Teorema de Torricelli. (Mott et al., 2015)

Ecuación 1: Ecuación de Bernoulli.

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

P_A : Presión en el punto A.

γ : Peso específico del fluido agua.

Z_A : Altura del punto A desde un punto referencial.

g : Gravedad .

V_A : Velocidad del fluido en el punto A.

P_B : Presión en el punto B.

Z_B : Altura del punto B desde un punto referencial.

V_B : Velocidad del fluido en el punto B.

Se procede a realizar el análisis, de forma que como se puede ver en la Figura 5, los puntos A y B están expuestos al medio ambiente, lo que significa que sus presiones se desprecian, seguido a esto, la velocidad en el punto B es igual a 0 ya que es el punto máximo hasta donde llegará el fluido para así comenzar a descender de nuevo.

Se tiene entonces:

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

$$z_A + \frac{V_A^2}{2g} = z_B$$

Despejando V_A se tiene:

$$V_A = \sqrt{(z_B - z_A) * 2g}$$

$$V_A = \sqrt{(0.0635 - 0)(m) * \left(2 * 9.8 \frac{m}{s^2}\right)}$$

$$V_A = 1.115 \text{ m/s}$$

8.4.2. Cálculo del caudal

Una vez hallada la velocidad de salida del fluido, se procesa a calcular el caudal necesario para el sistema hidráulico.

Para lo anterior, se tiene que encontrar el área de la salida del fluido, el cual está dado de forma circular con un diámetro de 12.5 mm, utilizando (Mott et al., 2015), se determino el área del cilindro así:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Dónde:

D_2 : diámetro boquilla de salida del fluido

Entonces:

$$A_2 = \frac{\pi * (0.0125)^2}{4}$$

$$A_2 = 1.227 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

De esta forma, según (Mott et al., 2015), el caudal del sistema hidráulico se calcula teniendo en cuenta que la velocidad de salida no debe ser variante.

Ecuación 2: Caudal del sistema hidráulico.

$$Q = V_A * A_2$$

Donde:

Q : Caudal del sistema hidráulico.

$V_A = V$ = Velocidad.

A_2 : Área salida.

$$Q = \left(1.115 \frac{m}{s}\right) (1.227 * 10^{-4} m^2)$$

$$Q = 1.368 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} \approx 0.492 \frac{m^3}{h} \approx 2.166 \frac{Gal}{min} \approx 8.2 L/min$$

De esta forma, se puede decir que a lo largo del sistema hidráulico, se aplicó la ecuación de continuidad, ya que en el siguiente apartado se definió que abrán dos diámetros diferentes en la tubería del sistema.

Ecuación 3: Ecuación de continuidad.

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

8.4.3. Elección de tubería para el sistema hidráulico

8.4.3.1. Alternativa de sustentación

En («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014) se tiene como diámetro de interior a la salida un valor de 12.5 mm, en este caso, yéndonos al mercado local, se seleccionaron dos tipos de tubería, una en PVC de 1 in de diámetro y una tubería en CPVC de ½ in de diámetro

(diámetros internos para ambos casos), este último con mejores propiedades anticorrosivas y temperaturas de trabajo más altas. Con esto, se cumpliría la medida correspondiente línea de succión que dice la norma.

Se tiene como variable principal el caudal del sistema, en este caso $Q = 2.166 \frac{Gal}{min}$ y observando el valor mínimo de $Q = 10 \frac{Gal}{min}$ que nos ofrece (ver anexo 1) la gráfica, se seleccionaron las dos tuberías.

De este modo, se seccionaron dos partes, desde la línea de succión hasta el codo con el reductor, tendrá la tubería de 1" y, desde esta última parte hasta la línea de descarga se tendrá la tubería de ½".

8.4.3.2. Cálculos de pérdidas de energía en el sistema hidráulico

8.4.3.2.1. Pérdidas menores

Las pérdidas menores son ocasionadas principalmente por las válvulas y los accesorios que estén en el sistema hidráulico, estas ocurren ya que ocasionan turbulencias dentro del sistema, lo que permite la disipación en forma de calor. La aplicación más usada se da a partir de la ecuación Darcy para la pérdida de energía. (Mott et al., 2015)

Ecuación 4: Ecuación de Darcy para pérdidas de energía menores.

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

K : Coeficiente de resistencia

v : Velocidad del fluido

g : Gravedad

Estos coeficientes de resistencia (K), están determinadas a partir de los dispositivos que tenga el sistema, de esta forma, se determinó para nuestro sistema hidráulico pérdidas en la succión y la descarga expuestas aquí:

Antes de eso, se calcula la velocidad del fluido en el sistema, variable importante a la hora de hallar las pérdidas.

Para hallar esta velocidad se utilizó el despeje de la **Ecuación 2**.

Ecuación 5: Ecuación velocidad del fluido.

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

Q : Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ (hallado anteriormente)

A : Área de tubería seleccionada (m^2)

El área de la tubería seleccionada, 1" tubería PVC es de:

$$A_{1"} = \frac{\pi(d)^2}{4} = \frac{\pi(0.029 \text{ m})^2}{4} = 6.6 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

El área de la tubería seleccionada, 1/2" tubería CPVC es de $7.06 * 10^{-4} \text{ m}^2$

$$A_{1/2"} = \frac{\pi(d)^2}{4} = \frac{\pi(0.0197 \text{ m})^2}{4} = 3.04 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Entonces, se puede calcular la velocidad del fluido, teniendo en cuenta cada tubería:

$$V_{f1"} = \frac{\left(1.3681 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{(6.6 * 10^{-4} \text{ m}^2)} = 0.207 \frac{m}{s}$$

$$V_{f_{1/2''}} = \frac{\left(1.3681 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{(3.04 * 10^{-4} m^2)} = 0.450 \frac{m}{s}$$

El factor de fricción f_T se obtiene determinando la rugosidad de la pared (ε), teniendo en cuenta que nuestro material de tuberías es un plástico, con medidas de 1" y ½" respectivamente.

(Mott et al., 2015)

Tabla 4

Rugosidad de la tubería.

Material	Rugosidad ε (m)	Rugosidad ε (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: (Mott et al., 2015)

Se toma el valor de rugosidad para el plástico.

$$\varepsilon = 3.0 * 10^{-7} m$$

Ahora se halla el Número de Reynolds para cada sección de tuberías.

Ecuación 6: Ecuación número de Reynolds.

$$N_R = \frac{v * D * \rho}{\mu}$$

Donde:

v : Velocidad del fluido

D : Diámetro de tubería

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad dinámica del fluido

Se tomaron valores de las propiedades del agua, teniendo en cuenta la temperatura ambiente promedio de Neiva-Huila (Colombia) de 25 °C.

Tabla 5

Propiedades el agua.

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}

Fuente: (Mott et al., 2015)

Entonces, teniendo en cuenta la Tabla 5, se puede dar valor a las variables.

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 8.94 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Reemplazando los datos hallados en la Ecuación 6 se tiene:

$$N_{R_{1''}} = \frac{\left(0.207 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.029 \text{ m}) \left(997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\left(8.94 * 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$

$$N_{R_{1''}} = 6.694 * 10^6$$

$$N_{R_{1/2''}} = \frac{\left(0.450 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0.0197 \text{ m}) \left(997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\left(8.94 * 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$

$$N_{R_{1/2''}} = 9.886 * 10^6$$

Se puede afirmar que el flujo es turbulento para ambas secciones, ya que el valor supera los 4000.

El factor de fricción para el flujo turbulento se da a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 7: Ecuación factor de fricción flujo turbulento.

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\varepsilon}\right)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Reemplazando los datos para sección de tuberías, se tiene:

$$f_{T_{1''}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.029 \text{ m}}{3.0 * 10^{-7} \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{(6.694 * 10^6)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_{T_{1''}} = 0.00939$$

$$f_{T_{1/2''}} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{0.0197 \text{ m}}{3.0 * 10^{-7} \text{ m}} \right)} + \frac{5.74}{(9.886 * 10^6)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f_{T_{1/2''}} = 0.00941$$

- Pérdidas menores en la succión

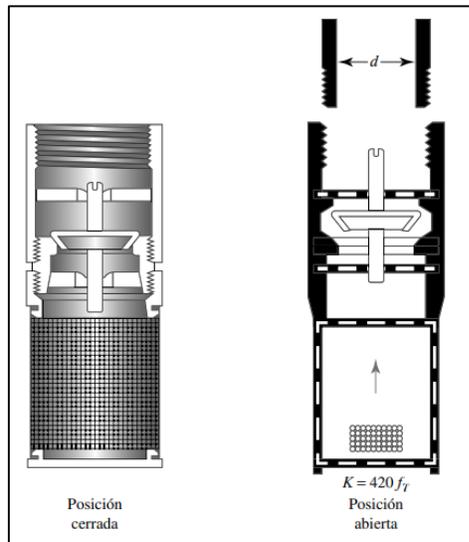
Se determinaron los elementos que generan pérdidas en la succión.

- Válvula de pie (con colador)

Tienen la función direccionar el flujo en un solo sentido, estas se usan en la línea de succión, llevando el fluido desde el tanque hasta la bomba. Se utilizan con un filtro colador, capaz de retener impurezas que puedan entrar en la bomba. (Mott et al., 2015)

Figura 6

Válvula de pie con colador.



Fuente: (Mott et al., 2015)

Con lo dicho en (Mott et al., 2015), se puede tomar un valor de K y dar solución a partir de la ecuación.

Ecuación 8: Ecuación constante K para válvulas.

$$K = ft \left(\frac{L_e}{D} \right) = (420) * (ft)$$

$\frac{L_e}{D}$: Longitud equivalente en diámetros de la tubería.

ft : Factor de fricción para 1"

Se analizó la sección teniendo en cuenta que esta se cuenta en la línea de succión, en donde solo se encuentra un diámetro de tubería, la de 1", entonces se dice que:

$$f_{T_{1''}} = 0.00939$$

Reemplazando en la Ecuación 8.

$$K_{valv.pie\ 1"} = (420) * (0.00939)$$

$$K_{valv.pie\ 1"} = 3.94$$

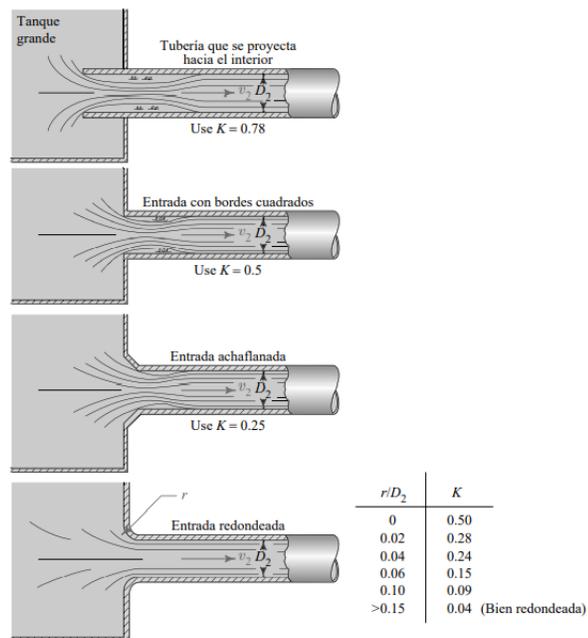
– Entrada en la tubería

En la entrada de la tubería existe un coeficiente de resistencia debido a que el fluido se contrae de forma que pueda moverse desde el depósito hacia la tubería, esto generando pérdidas.

(Mott et al., 2015)

Figura 7

Coefficientes de resistencia de entrada.



Fuente: (Mott et al., 2015)

El coeficiente de resistencia que se eligió para el sistema es:

$$K_{entrada} = 0.78$$

Ahora bien, se aplicó la Ecuación 4 de forma que se determinarán las pérdidas menores en la succión, esto con los coeficientes K determinados a partir de la sección con diámetro 1”

$$K_{total} = K_{valv.pie\ 1''} + K_{entrada}$$

$$K_{total} = 3.94 + 0.78$$

$$K_{total} = 4.72$$

Con esto, se puede reemplazar valores en la Ecuación 4, teniendo en cuenta el área de la sección y el resultado de la Ecuación 5.

Pérdidas menores en la succión:

$$h_{L.succión} = (4.72) \left(\frac{\left(0.207 \frac{m}{s}\right)^2}{(2) \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)} \right)$$

$$h_{L.succión} = 0.01\ m$$

- Pérdidas menores en la descarga

Se determinaron los elementos que generan pérdidas en la descarga.

Tabla 6

Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, L_e/D .

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

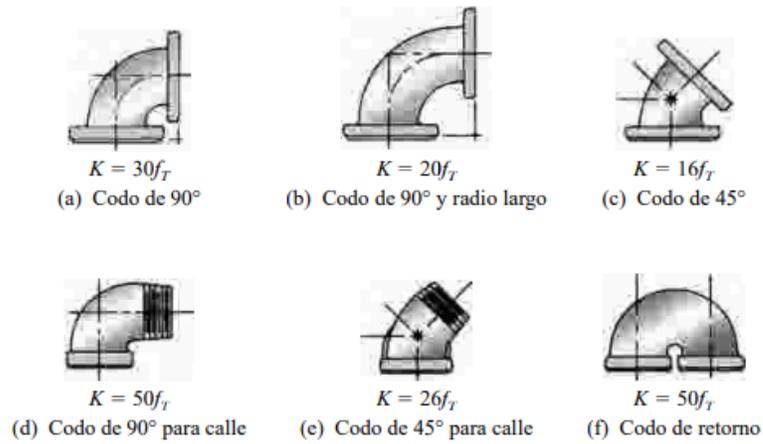
Fuente: (Mott et al., 2015)

– Codos estándar de 90°

Estos acoplamientos se utilizaron para el redireccionamiento del trayecto del sistema hidráulico. Las pérdidas que generan estos componentes se expresan teniendo en cuenta su longitud equivalente, la cual es en este caso $\frac{L_e}{D} = 30$ (Tabla 6). (Mott et al., 2015)

Figura 8

Codos para tuberías.



Fuente: (Mott et al., 2015)

Entonces, con la Ecuación 8 se tiene:

$$K_{codo\ 1''} = 30 * 0.00939$$

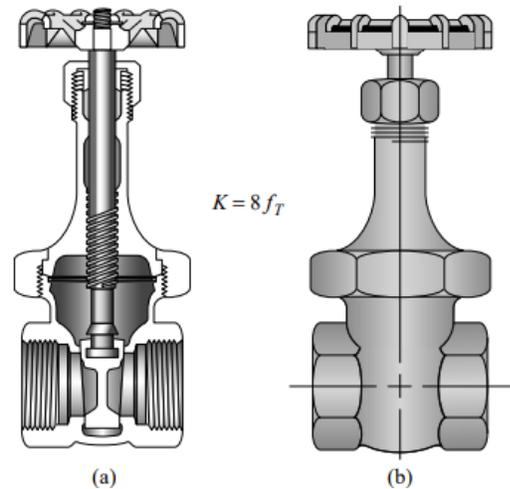
$$K_{codo\ 1''} = 0.2817$$

$$K_{codo\ 1/2''} = 30 * 0.00941$$

$$K_{codo\ 1/2''} = 0.2823$$

– Válvula de compuerta

Esta válvula es uno de los mejores para la limitación de pérdida de energía.

Figura 9*Válvula de compuerta.*

Fuente: (Mott et al., 2015)

Según (Mott et al., 2015), se calculó el K con la Ecuación 8 con un $\frac{L_e}{D} = 8$ para una apertura al 100%, para una apertura de 50% es de 160 y cuando este 25% abierta tendrá 900 (Tabla 6). De esta forma se tiene:

Válvula de compuerta en 1/2"

$$K_{val.com\ 100\%-1/2"} = 8 * 0.00941$$

$$K_{val.com\ 100\%-1/2"} = 0.07$$

$$K_{val.com\ 50\%-1/2"} = 160 * 0.00941$$

$$K_{val.com\ 50\%-1/2"} = 1.50$$

$$K_{val.com\ 25\%-1/2"} = 900 * 0.00941$$

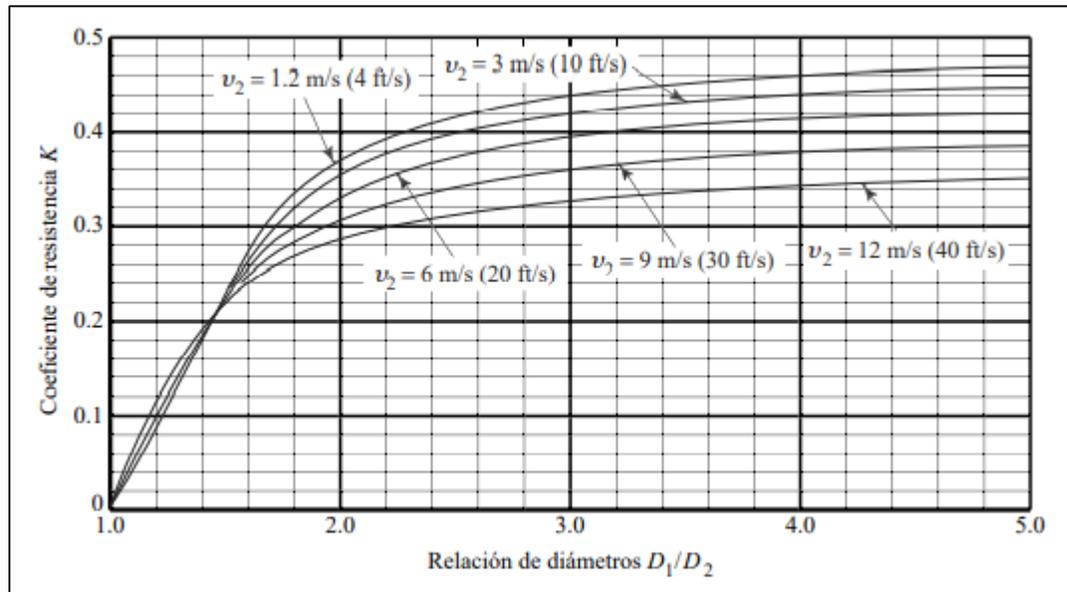
$$K_{val.com\ 25\%-1/2"} = 8.46$$

– Contracción súbita

La pérdida de energía debida a una contracción súbita.

Figura 10

Coefficiente de resistencia - contracción súbita.



Fuente: (Mott et al., 2015)

Reducción de 1" a 1/2":

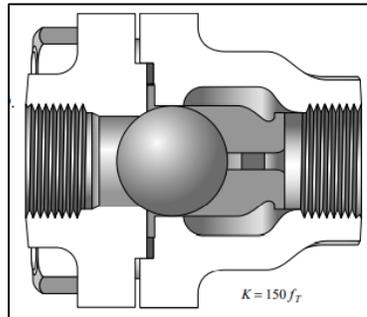
$$\frac{D_{1''}}{D_{1/2''}} = \frac{0.029 \text{ m}}{0.0197 \text{ m}} = 1.472$$

$$V_{1/2''} = 0.450 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al observar la Figura 10, se dice que aproximadamente $K_{c,s} = 0.25$.

– Válvula de bola

Válvulas usualmente utilizadas para parrar o arrancar el fluido, éstas no se requieren activar por completo para que ya sufra efectos completos en el fluido. (Mott et al., 2015)

Figura 11*Válvula de bola.*

Fuente: (Mott et al., 2015)

Para este tipo de válvulas $\frac{L_e}{D} = 150$ y también, se tiene que está ubicada en la sección de la tubería de 1”:

$$K_{val.bola} = 150 * 0.00939$$

$$K_{val.bola} = 1.408$$

Se tuvieron en cuenta ambas secciones de diámetros 1” y ½”, ya que, en la línea de descarga, ambas están presentes. Se hará una sumatoria de los mayores factores de resistencia K para determinar las pérdidas menores en la descarga.

Para la línea de descarga de 1”:

$$K_{1"} = K_{codo\ 1"} + K_{c.s} + K_{val.bola}$$

$$K_{1"} = (0.2817(3)) + 0.25 + 1.408$$

$$K_{1"} = 2.503$$

Para la línea de descarga de ½”:

$$K_{1/2"} = K_{codo\ 1/2"} + K_{val.com\ 25\%-1/2"}$$

$$K_{1/2"} = 0.2823 + 8.46$$

$$K_{1/2"} = 8.742$$

Se suma y se determina el total de pérdidas menores en la descarga del sistema.

$$K_T = K_{1''} + K_{1/2''}$$

$$K_T = 2.503 + 8.742$$

$$K_T = 11.245$$

Ahora, se reemplazaron los datos en la Ecuación 4, de esta manera, se hallan las pérdidas menores en la línea de descarga para cada sección de 1'' y 1/2''.

Línea de descarga 1'':

$$h_{L_{1''}} = \frac{(2.503) \left(0.207 \frac{m}{s}\right)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{L_{1''}} = 0.0054 \text{ m}$$

Línea de descarga 1/2'':

$$h_{L_{1/2''}} = \frac{(8.742) \left(0.450 \frac{m}{s}\right)^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{L_{1/2''}} = 0.0903 \text{ m}$$

Las pérdidas menores totales en la descarga son:

$$h_{L.\text{descarga}} = h_{L_{1''}} + h_{L_{1/2''}}$$

$$h_{L.\text{descarga}} = 0.0054 \text{ m} + 0.0903 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{L.\text{descarga}} = 0.0957 \text{ m}}$$

Las pérdidas menores totales se dieron a partir de la sumatoria:

$$h_{L.\text{perdidas,menores}} = h_{L.\text{descarga}} + h_{L.\text{succión}}$$

$$h_{L.\text{perdidas,menores}} = 0.0957 \text{ m} + 0.01 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{L.\text{perdidas,menores}} = 0.1057 \text{ m}}$$

8.4.3.2.2. Pérdidas mayores

Las pérdidas mayores h_{Lm} están definidas a partir de la sección de tuberías elegidas, (Mott et al., 2015) de este modo, la ecuación que define estas pérdidas de energía es.

Ecuación 9: Ecuación de Darcy para pérdidas de energía mayores.

$$h_{Lm} = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Dónde:

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

v : Velocidad del fluido (m/s)

g : Gravedad (m/s^2)

Para estos cálculos, se necesita el factor de fricción, el cual ya fue calculado anteriormente (Ecuación 7).

- Pérdidas mayores en la línea de succión.

Se calcularon a partir de la longitud en el sistema de succión, en este caso, la sección de la tubería es 1".

$$L_{succión.1"} = 0.13 \text{ m}$$

Reemplazando los datos en la Ecuación 9, se tiene:

$$h_{L \text{ succión-1}"} = (0.00939) \left(\frac{0.13}{0.029 \text{ m}} \right) * \frac{\left(0.207 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)}$$

$$h_{L \text{ succión-1}"} = 9.202 * 10^{-5} \text{ m}$$

- Pérdidas mayores en la línea de descarga.

Se calcularon teniendo en cuenta la longitud de las secciones de tubería 1" y 1/2" para el sistema de descarga.

$$L_{descarga\ 1"} = 0.685\ m$$

$$L_{descarga\ 1/2"} = 0.331\ m$$

Aplicando la Ecuación 9, se tiene:

$$h_{L\ descarga\ 1"} = (0.00939) \left(\frac{0.685\ m}{0.029\ m} \right) * \frac{\left(0.207 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)}$$

$$h_{L\ descarga\ 1"} = 4.848 * 10^{-4}\ m$$

$$h_{L\ descarga\ 1/2"} = (0.00941) \left(\frac{0.331\ m}{0.0197\ m} \right) * \frac{\left(0.450 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left(9.8 \frac{m}{s^2} \right)}$$

$$h_{L\ descarga\ 1/2"} = 16.33 * 10^{-4}\ m$$

Ahora bien, se realizó la sumatoria de pérdidas mayores en la descarga.

$$h_{L\ mayores} = h_{L\ descarga\ 1"} + h_{L\ descarga\ 1/2"}$$

$$h_{L\ mayores} = 4.848 * 10^{-4}\ m + 16.33 * 10^{-4}\ m$$

$$h_{L\ mayores} = 0.0021\ m$$

Una vez teniendo las pérdidas mayores en la succión y descarga, se realizó una sumatoria entre ambas.

$$h_{L\ perdidas, mayores} = h_{L\ succión-1"} + h_{L\ mayores}$$

$$h_{L\ perdidas, mayores} = 9.202 * 10^{-5}\ m + 0.0021\ m$$

$$\mathbf{h_{L\ perdidas, mayores} = 0.0021\ m}$$

8.4.3.2.3. Pérdidas totales de energía

Se ejecutó la sumatoria de pérdidas mayores y menores de energía, siendo esto las pérdidas totales del sistema, estas cuando la válvula de compuerta está 25% abierta, donde se presentan más pérdidas.

Entonces:

$$h_{L_{total}} = h_{L_{perdidas,menores}} + h_{L_{perdidas,mayores}}$$

$$h_{L_{total}} = 0.1057 \text{ m} + 0.0021 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{L_{total}} = 0.1078 \text{ m}}$$

8.4.4. Cálculo de la carga total sobre la bomba

La carga total sobre la bomba es la energía que una bomba agrega al sistema y se emplea como uno de los parámetros principales para seleccionar una bomba. (Mott et al., 2015)

Ecuación 10: Ecuación de la energía.

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Donde:

p_A : Presión en el punto A.

γ : Peso específico (agua).

z_A : Altura del punto A.

g : Gravedad

V_A : Velocidad del fluido en el punto A.

p_B : Presión en el punto B.

z_B : Altura del punto B desde un punto referencial.

V_B : Velocidad del fluido en el punto B.

h_A : Carga total sobre la bomba.

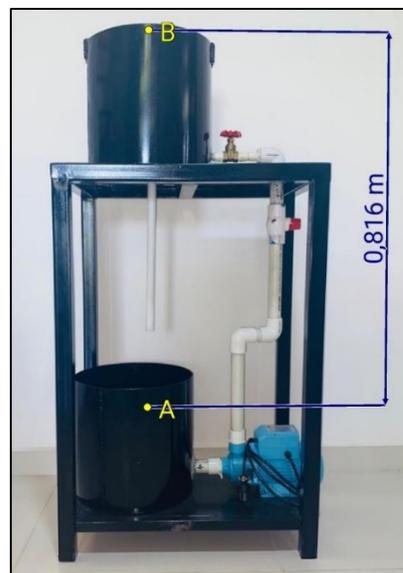
h_L : Pérdidas totales de energía.

Se analizó el sistema hidráulico de la máquina, en primera instancia los puntos A y B por donde pasa el fluido están expuestos al ambiente, por lo que las presiones en esos puntos son cero, el punto B es el de máxima altura para el fluido, llegado a este punto, el fluido retorna hasta el tanque principal entonces, se dijo que la velocidad del fluido allí es cero.

Considerando la altura que se genera con el chorro del agua, hasta el punto de referencia del volumen del agua en el tanque principal como lo muestra la Figura 12.

Figura 12

Altura desde el punto de referencia del volumen de agua (A) hasta la altura máxima del chorro de agua a la salida del sistema (B).



Fuente: Autores.

De la Ecuación 10, se considera lo siguiente:

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A - h_L = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Despejando h_A se tiene:

$$h_A = h_L + z_B$$

$$h_A = 0.1078 \text{ m} + 0.816 \text{ m}$$

$$h_A = 0.9238 \text{ m}$$

8.4.5. Potencia suministrada a la bomba

La potencia que requiere la bomba para el sistema se halla mediante la siguiente ecuación (Mott et al., 2015):

Ecuación 11: Ecuación de la potencia suministrada a la bomba.

$$P = h_A * \gamma * Q$$

Dónde:

h_A : Carga total sobre la bomba.

γ_{agua} : Peso específico del fluido (kg/m^3)

Q : Caudal ($\frac{m^3}{s}$)

El peso específico del agua a 25°C observando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es 9780 N/m^3

Entonces, reemplazando los datos ya encontrados se tiene:

$$P = h_A * \gamma * Q$$

$$P = (0.9238 \text{ m}) \left(9780 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) \left(1.3681 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$P = 1.2360 \text{ N} * \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se hace conversión de unidades a HP, así:

$$1 \text{ N} * \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0.001341 \text{ HP}$$

$$P = 1.2360 \text{ N} * \frac{\text{m}}{\text{s}} \left(\frac{0.001341 \text{ HP}}{1 \text{ N} * \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right)$$

$$P = 1.66 * 10^{-3} \text{ HP}$$

8.4.6. Presión crítica en la salida de la bomba

La presión crítica en el sistema se halla con la ecuación de la energía, teniendo en cuenta los puntos B y C, de forma que la presión más crítica se encuentra en la salida de la bomba.

Figura 13

Altura desde la altura de la bomba (C) hasta la altura máxima del chorro de agua a la salida del sistema (B).



Fuente: Autores.

La presión más crítica se encuentra en la salida de la bomba, teniendo en cuenta la

Ecuación 10 Ecuación 10: Ecuación de la energía. se tiene:

$$\frac{p_C}{\gamma} + z_C + \frac{V_C^2}{2g} = \frac{p_B}{\gamma} + z_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_L$$

Donde:

p_C : Presión en el punto C.

γ : Peso específico (agua).

z_C : Altura del punto C.

g : Gravedad

V_C : Velocidad del fluido en el punto C.

p_B : Presión en el punto B.

z_B : Altura del punto B desde un punto referencial.

V_B : Velocidad del fluido en el punto B.

h_L : Pérdidas totales de energía.

$$p_C = \left(z_B - z_C + h_L - \frac{V_C^2}{2g} \right) \gamma$$

$$p_C = \left(0 - (-1.01 \text{ m}) + 0.1078 \text{ m} - \frac{\left(0.207 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{(2) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} \right) \left(9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$$

$$p_C = 10933.01 \text{ Pa}$$

Transformando Pa a PSI se tiene:

$$p_C = 10933.01 \text{ Pa} * \frac{1 \text{ PSI}}{6894.76 \text{ Pa}}$$

$$p_C \approx 1.6 \text{ PSI}$$

8.4.7. Cálculo de NPSH

Para evitar la cavitación, cada fabricante de bombas prueba esta misma, de forma que cumpla con la carga de succión neta requerida ($NPSH_R$). Es importante que esta última este por debajo de la carga de succión neta positiva disponible ($NPSH_A$). (Mott et al., 2015)

En los problemas de diseño se pide un margen mínimo de 10%, es decir:

Ecuación 12: Ecuación factor de seguridad para la carga de succión neta.

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R$$

Ecuación 13: Ecuación carga de succión neta positiva disponible.

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

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

Ecuación 14: Carga de presión estática (absoluta).

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

h_s : Diferencia de elevación, expresada en metros o pies, entre el nivel del fluido contenido en el depósito y la línea central de la entrada de succión en la bomba.

h_f : Pérdida de carga en la tubería de succión debida a las pérdidas por fricción y pérdidas menores.

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

Ecuación 15: Carga de la presión de vapor.

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

De la **Ecuación 14** se tiene:

- γ : Peso específico (agua).
- p_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre del líquido contenido en el depósito.

Ecuación 16: Presión estática (absoluta).

$$p_{sp} = p_m + p_{atm,Neiva}$$

$$p_{sp} = (\rho_{agua})(g)(h_{tanque}) + p_{atm,Neiva}$$

$$p_{sp} = \left(997 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) (0.3 m) + 96125.4 P_a$$

$$p_{sp} = 99056.6 P_a = 99056.6 N/m^2$$

Reemplazando los valores en la **Ecuación 14** se dice que:

$$h_{sp} = \frac{99056.6 N/m^2}{9780 N/m^3}$$

$$h_{sp} = 10.13 \text{ m}$$

La bomba está en nivel más bajo que el nivel del agua en el depósito, por lo tanto h_s es positiva. Para saber este valor, se tomaron en cuenta la diferencia de los valores de altura mostrados en la Figura 13 menos la Figura 12, de forma que:

$$h_s = 1.01 \text{ m} - 0.816 \text{ m}$$

$$h_s = 0.194 \text{ m}$$

Para el h_f se consideraron las pérdidas menores en la succión entonces:

$$h_f = 0.01 \text{ m}$$

De la **Ecuación 15** se tiene.

- γ : Peso específico (agua).
- p_{vp} : Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura de bombeo.

Para saber el dato de la presión de vapor y carga de presión a diferentes temperaturas del agua, se utilizó la siguiente tabla. (Mott et al., 2015)

Tabla 7

Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua.

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

Fuente: (Mott et al., 2015)

Se realizó una interpolación para saber la presión de vapor de agua a una temperatura de 25 °C, de esta forma se reemplazaron las variables en la **Ecuación 15** para hallar la carga de presión de vapor h_{vp} así:

$$h_{vp} = \frac{p_{vp}}{\gamma} = \frac{3.29 * 10^3 P_a}{9780 N/m^3} = \frac{3.29 * 10^3 N/m^2}{9780 N/m^3}$$

$$h_{vp} = 0.336 m$$

Una vez se hallaron todas las variables, éstas se reemplazaron en la **Ecuación 13**.

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 10.13 m + 0.194 m - 0.01 m - 0.336 m$$

$$NPSH_A = 9.978 m$$

Ahora se reemplazó en la **Ecuación 12** para calcular la $NPSH_R$ máxima permisible para la bomba:

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R$$

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

$$NPSH_R < \frac{9.978}{1.10}$$

$$NPSH_R < 9.07$$

8.4.8. Selección de la bomba

La selección de nuestra bomba fue tomada gracias a los datos calculados previamente, en donde el sistema requiere una bomba de agua con una potencia de $1.66 * 10^{-3} \text{ HP} =$

0.00166 HP y que pueda asegurar un caudal del sistema de $0.492 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 2.166 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} \approx 8.2 \text{ L/min.}$

Dando cumplimiento y seguridad a lo dicho anteriormente, se eligió una bomba con la menor potencia existente, ya que el trabajo al que estará sometido esta misma será mínimo (Anexo 3).

Figura 14

Bomba periférica KNS-30560.

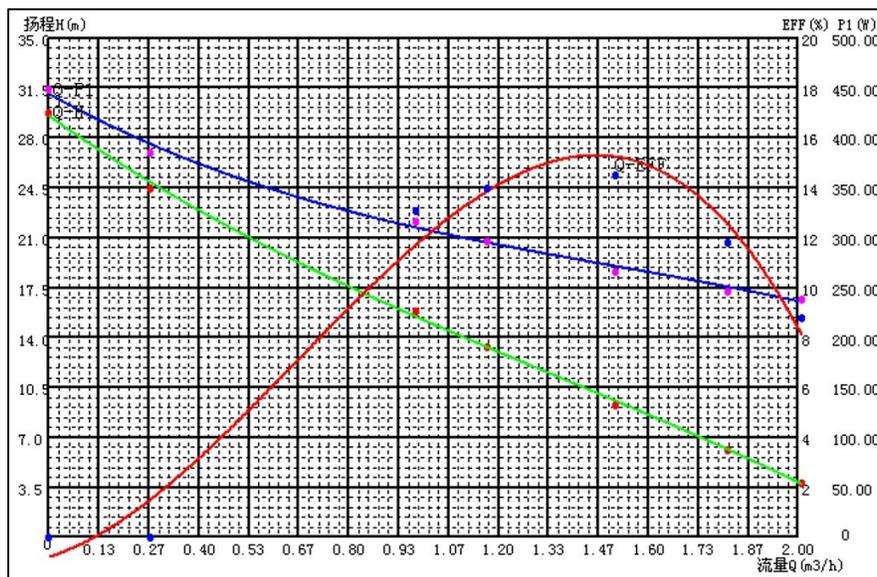


Fuente: Autores.

Para el análisis de la curva, se realizaron conversiones de unidades.

Figura 15

Curvas de la bomba periférica KNS-30560.



Fuente: Proveedor.

8.5. Etapa (5) Diseño estructural

8.5.1. *Parámetros de diseño máquina Jominy*

Según la norma ASTM A255 (Anexo 2), se tuvieron las siguientes consideraciones a la hora de realizar el diseño actual.

- Dimensiones de componentes y datos específicos.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.

Los posteriores componentes dan cumplimiento a los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento de la máquina Jominy:

Tabla 8

Componentes máquina Jominy.

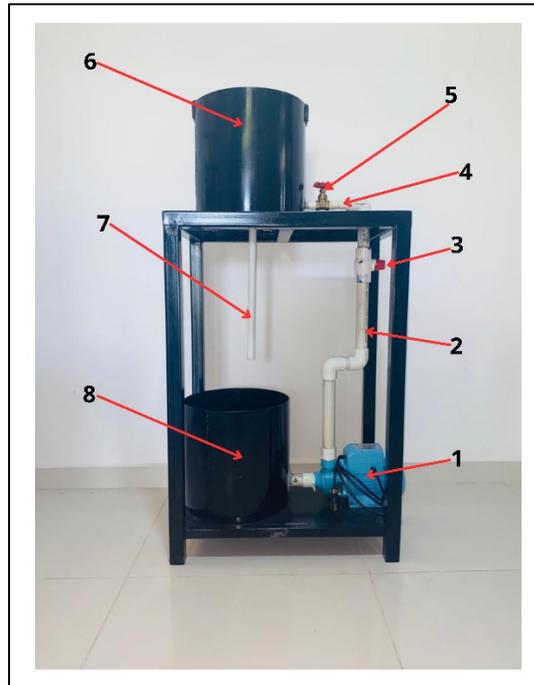
ÍTEM	NOMBRE
1	Bomba hidráulica
2	Línea de descarga 1"
3	Llave de bola 1"
4	Línea de descarga de 1/2"
5	Llave de compuerta 1/2"
6	Tanque porta probetas
7	Línea de drenaje 1/2"
8	Tanque de almacenamiento

Fuente: Autores.

Especificación de las partes.

Figura 16

Partes máquina Jominy.



Fuente: Autores.

La estructura tendrá que soportar el peso de los dos tanques, la bomba periférica y el sistema de tuberías, por consiguiente se tuvo como material de uso el hierro, con esto se obtuvo un ahorro económico sin afectar el objetivo final de la estructura, siendo un material fácil de maquinar. Para contrarrestar la corrosión que se llegase a formar, se aplicó una capa de pintura anticorrosiva de color negro. Las medidas de la estructura están dadas en la “Etapa (8) Planos”.

8.5.2.

Diseño de tanques porta probetas y principal

8.5.2.1. Parámetros tanque porta probetas

El diseño de este tanque esta condicionado a la altura que deberá estar entre la salida del chorro de agua y la parte inferior de la probeta a 12.7 mm («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014), el dimensionamiento correcto para la buena circulación del refrigerante, siendo la altura del fluido no mayor a 2 cm , considerando una línea de drenaje de $\frac{1}{2}\text{ in}$ y un material fácil de maquinar como lo es el hierro, con un espesor de “calibre 16”.

Cabe aclarar que, se realizaron mecanizados a los tanques, orificios para la línea de descarga y para la línea de drenaje, teniendo en cuenta las dimensiones de las tuberías necesarias, además se aplicaron capas de pintura anticorrosiva de color negro, en busca de una mayor vida útil del material. También, se fabricó la placa porta probetas, en donde como su nombre lo dice, es el lugar en el que reposa la probeta luego de que se calienta, para su seguido enfriamiento.

De esta forma, se consideraron las siguientes dimensiones

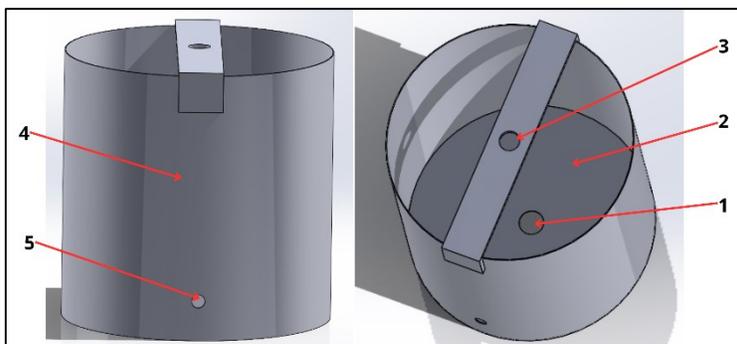
$$D_{tpp} = 30\text{ cm} = 0.3\text{ m}$$

$$h_{tpp} = 30\text{ cm} = 0.3\text{ m}$$

$$\text{Espesor} = 1.5\text{ mm}$$

Figura 17

Tanque porta probetas.



Fuente: Autores.

Tabla 9

Componentes tanque porta probetas.

ÍTEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Línea de drenaje
2	1	Base del tanque
3	1	Porta probeta
4	1	Anillo del tanque
5	1	Línea de descarga de 1/2"

Fuente: Autores.

8.5.2.2. Cálculo volumen de agua tanque porta probetas

Se calculó el volumen mediante la siguiente ecuación (Stewart & Redlin, s. f.), teniendo en cuenta la altura del nivel del fluido máximo que debe alcanzar este tanque.

Ecuación 17: Ecuación volumen de un cilindro.

$$V_1 = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V_1 : Volumen de tanque.

r : Radio de tanque.

h : Altura del fluido.

$$V_1 = (\pi)(15 \text{ cm})^2(2 \text{ cm})$$

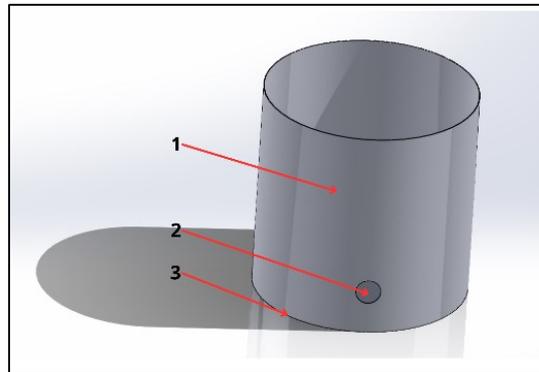
$$V_1 = 1413.7 \text{ cm}^3 = 1.4 \text{ L}$$

8.5.2.3. Parámetros tanque principal

El diseño de este tanque tendrá las mismas dimensiones que el tanque porta probetas, su material y la forma en que fue construido también serán tomados de la misma manera. Se realizará una perforación para conectar la línea de succión, esta conectada de forma directa con la bomba. Por otro lado, el volumen de este tanque deberá ser mucho mayor al del tanque porta probetas, esto se realiza de forma que exista una recirculación del agua, dando cumplimiento a la continuidad que tendrá el caudal del sistema.

Figura 18

Tanque principal.



Fuente: Autores.

Tabla 10

Componentes tanque principal.

ITEM	CANTIDAD	NOMBRE
1	1	Anillo del tanque
2	1	Línea de succión
3	1	Base del tanque

Fuente: Autores.

Las mediciones del tanque principal, dando cumplimiento a los requerimientos de este son

$$D_{tp} = 29 \text{ cm} = 0.29 \text{ m}$$

$$h_{tp} = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Espesor} = 1.5 \text{ mm}$$

8.5.2.4. Cálculo volumen de agua tanque principal

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente y la **Ecuación 17**, se calculó el volumen del tanque principal así.

$$V_1 = (\pi)(14.5 \text{ cm})^2(30 \text{ cm})$$

$$V_1 = 19155 \text{ cm}^3 = 19 \text{ L}$$

8.6. Etapa (6) Prueba y funcionamiento de máquina Jominy

8.6.1. *Parámetros de funcionamiento*

Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros previos a la realización del ensayo.

- La bomba es sometida a el cebado, de forma que esta este lista para el encendido.
- Llenar el tanque principal con el volumen necesario (12 L) para la buena circulación del agua por todo el sistema.
- Encender la bomba periférica con la conexión a la corriente, de forma que empiece a circular el agua por las tuberías.
- La válvula de bola y la válvula de mariposa se regulan de tal forma que la altura del chorro de agua en la línea de descarga sea de 63.5 mm según los requerimientos de («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014).

Figura 19

Puesta en marcha máquina Jominy.



Fuente: Autores.

8.6.2. Selección de materiales para el ensayo

Para la realización experimental del ensayo Jominy, se eligieron dos tipos de aceros, SAE 1045 y 4140 (Anexo 4). Estos tendrán las medidas correspondientes mostradas en la Figura 1.

Teniendo claro lo dicho anteriormente, se procedieron a maquinar las piezas en un torno.

Figura 20

Maquinado pieza ensayo Jominy.



Fuente: Autores.

Figura 21

Piezas de acero torneadas.



Fuente: Autores.

8.6.3. Ensayo Jominy para aceros SAE 1045 y SAE 4140

Al mecanizar las piezas (probetas) de acero con sus dimensiones específicas («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014), se procedió a realizar el ensayo Jominy.

- Ambiente de trabajo, horno de resistencia y máquina de ensayo Jominy.

Figura 22

Horno de resistencia y máquina de ensayo Jominy.



Fuente: Autores.

- Se utilizaron los equipos de protección personal (EPP) necesarios para nuestra seguridad mientras de realizó la prueba.

Figura 23

EPP para el ensayo Jominy.



Fuente: Autores.

- La temperatura de autenización del material es muy importante a la hora de aplicar el ensayo Jominy, de esta forma, se observó la siguiente tabla para algunas series de aceros.

Tabla 11

Temperaturas de normalización y austenización.

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)
9200	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1500 (815)
	0.37 and over	1600 (870)	1475 (800)
	0.50 and over	1650 (900)	1600 (870)

Fuente: («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014)

Para los dos tipos de aceros, observando la Tabla 11, la temperatura de austenización correspondiente es de 925 °C.

- Se procedió a encender el horno de resistencia y luego se colocaron las piezas, una vez el horno alcance la temperatura de austenización (925 °C), esta se mantiene constante 30 minutos más con las probetas dentro del horno.

Figura 24

Piezas dentro del horno de resistencia.



Fuente: Autores.

Figura 25

Horno de resistencia en funcionamiento.



Fuente: Autores.

- Algunas condiciones deben estar presentes antes de sacar la pieza del horno, la placa del tanque porta probetas debe estar totalmente seca, la temperatura del agua debe estar entre 5 a 30 °C, el flujo de aire debe estar sin alteraciones en la habitación donde se encuentre la máquina Jominy, la altura del chorro del agua a la descarga debe ser regulada en 63.5 mm y, el tiempo que transcurre entre sacar la pieza del horno y colocarla en la placa no deberá ser mayor a 5 segundos.

Figura 26

Retiro de pieza ensayo Jominy del horno.



Fuente: Autores.

Figura 27

Pieza puesta en placa del tanque porta probetas.



Fuente: Autores.

- Una vez puesta la pieza de acero en la placa del tanque porta probetas, el chorro de agua que va directamente hacia la cara inferior de la pieza, se mantuvo a flujo constante durante 10 minutos.

Figura 28

Proceso de enfriamiento ensayo Jominy.



Fuente: Autores.

- Transcurrido el tiempo requerido, se retiró la pieza y se procedió a sumergirla completamente en el tanque principal para su enfriado final.

Figura 29

Pieza ensayo Jominy retirada.



Fuente: Autores.

- Pasado el enfriamiento de la pieza, se llevó a cabo un último mecanizado, este se hizo en forma de barrido a 180° de la pieza, formando dos superficies planas a lo largo de la pieza con una profundidad mínima de 0.38 mm («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014).

Figura 30

Pieza mecanizada a 180° .



Fuente: Autores.

8.6.4. Ensayo de dureza para aceros SAE 1045 y SAE 4140

El procedimiento para la medición de dureza adquirida en los materiales templados anteriormente, fue considerada a partir de la norma ASTM A255 (anexo 2) y una equivalencia de valores asociados a la comparación de dos métodos de ensayos de dureza, Rockwell C y Leeb.

A continuación se presentó la justificación y demostración del motivo por el cual se utilizó otro método de ensayo de dureza, buscando corroborar asertivamente los valores de dureza tomados en las medidas y distancias descritas por normativa directa.

- Teniendo las piezas ya mecanizadas, se procedió a medir la dureza teniendo en cuenta la norma ASTM A255. Para ello, surgió la problemática respecto a la máquina de dureza Rockwell C, dicha máquina a pesar de encontrarse en las instalaciones universitarias, actualmente no está en condiciones óptimas de funcionamiento (máquina descalibrada). También, se buscó realizar la prueba de ensayo de dureza Rockwell C en empresas independientes, pero debido al alto valor que conlleva hacerla esto hace que se salga del presupuesto original y además, para este tipo de empresas, las condiciones son restringidas, teniendo solo 5 puntos de medición por pieza (ver Anexo 5). Por consecuencia, no se cumple con el procedimiento adecuado para lo dicho en la norma ASTM A255.

Por los motivos dichos anteriormente, se optó por realizar de manera externa la prueba, utilizando otro método de medición de dureza llamado “dureza Leeb HL”.

Con esto, se afirmaron equivalencias respecto a los datos del ensayo, teniendo en cuenta un rango de valores asociados a la siguiente gráfica de medición y conversión de unidades.

Tabla 12

Tabla de medición y conversión.

DISPOSITIVO DE IMPACTO D	HLD: 200-900						
	H R C	H R B	H B	H V	H S	HRA	σ_b (N/mm ²)
ACERO	20.0-67.9	59.6-99.5	80-647	80-940	32.5-99.5	30-88	375-1710
ALEACIÓN DE ACERO	20.5-67.1			80-898			1170-2639
ACERO INOXIDABLE	19.6-62.4	46.5-101.7	85-655	85-802			740-1725
COLADA GRIS			93-334				
FUNDICIÓN ESFEREULITAS			131-387				
ALEACIÓN DE ALUMINIO		24-85	30-159	75-227			
LATÓN		13.5-95.3	40-173				
BRONCE			60-290				
COBRE			45-315				

Fuente: (*MANUAL DE USO DEL MEDIDOR DE DUREZA PCE-2500*, s. f.)

Una vez se tiene claro el rango de dureza “Leeb” al cual deberían las piezas templadas, se desarrolló el respectivo ensayo para ambos materiales con el siguiente instrumento de medición.

Figura 31

Durómetro para metales digital TH-170.



Fuente: Autores.

Utilizando el durómetro digital se realizó el ensayo para ambas piezas.

Tabla 13

Datos de dureza Leeb para acero SAE 1045.

HLD	SAE 1045	
DISTANCIA (mm)	CARA 1	CARA 2
1,9	401	401
3,8	387	389
5,7	344	389

Fuente: Autores.

Tabla 14

Datos de dureza Leeb para acero SAE 4140.

HLD	SAE 4140	
DISTANCIA (mm)	CARA 1	CARA 2
1,9	683	670
3,8	577	601
5,7	417	368

Fuente: Autores.

- Ya realizados ambos ensayos de dureza, se observó que para el acero SAE 1045 (acero no aleado) y acero SAE 4140 (acero aleado) existe una congruencia con respecto a sus rangos de dureza “Leeb” entre 200 y 900 HLD, los cuales se tuvieron en cuenta a partir de la Tabla 12.

Con lo afirmado anteriormente, se efectuó una equivalencia de valores de dureza enfocados en el ensayo de dureza Rockwell C (HRC), de forma que, para los materiales, estos deberán estar entre rangos de 20.0 a 67.9 HRC (acero SAE 1045) y 20.5 a 67.1 (acero SAE 4140).

- De forma demostrativa, se tomaron estudios similares como base de la equivalencia, en donde se podrán observar los valores de dureza Rockwell C para los dos materiales. La toma de estos datos se elaboró a diferentes distancias y siguiendo las especificaciones dadas para la correcta medición de dureza. («ASTM A 255 INTERNATIONAL», 2014)

Tabla 15

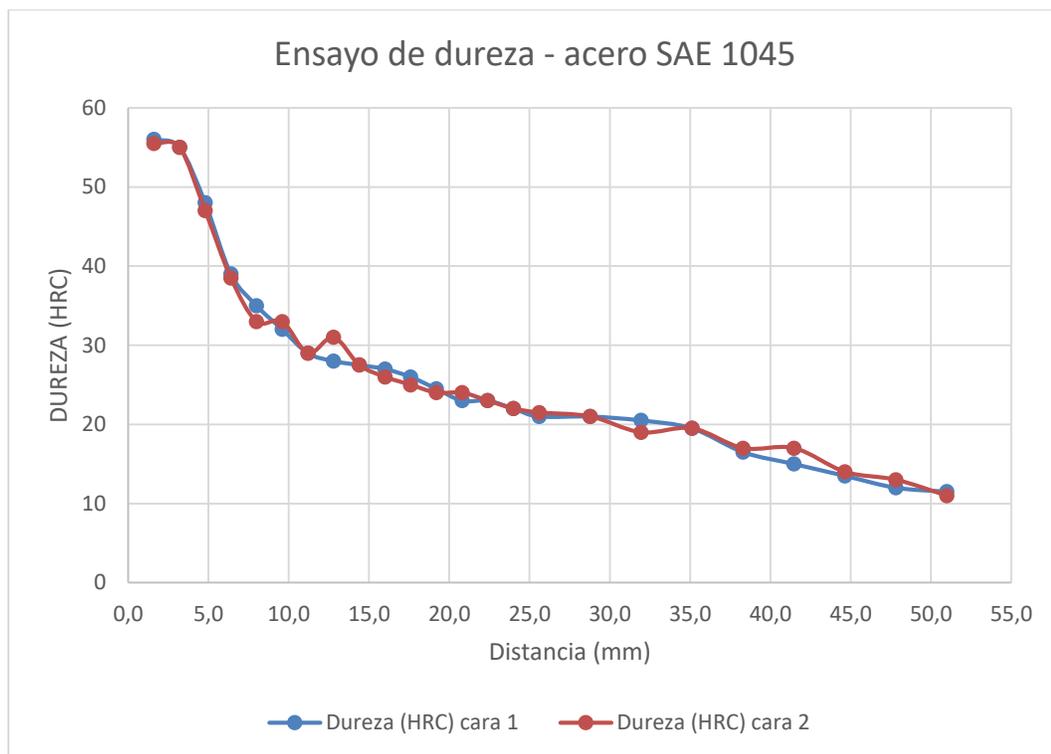
Ensayo de dureza - acero SAE 1045.

DUREZA ROCKWELLC ACERO 1045			
DISTANCIA (mm)	DUREZA HRC		
	CARA 1	CARA 2	DIFERENCIA
1,6	56	55,5	0,5
3,2	55	55	0
4,8	48	47	1
6,4	39	38,5	0,5
8,0	35	33	2
9,6	32	33	1
11,2	29	29	0
12,8	28	31	3
14,4	27,5	27,5	0
16,0	27	26	1
17,6	26	25	1
19,2	24,5	24	0,5
20,8	23	24	1
22,4	23	23	0
24,0	22	22	0
25,6	21	21,5	0,5
28,8	21	21	0
32,0	20,5	19	1,5
35,1	19,5	19,5	0
38,3	16,5	17	0,5
41,5	15	17	2
44,7	13,5	14	0,5
47,8	12	13	1
51,0	11,5	11	0,5

Fuente: (Alarcón & Berrocal, 2018)

Figura 32

Curva de templabilidad - acero SAE 1045.



Fuente: Autores

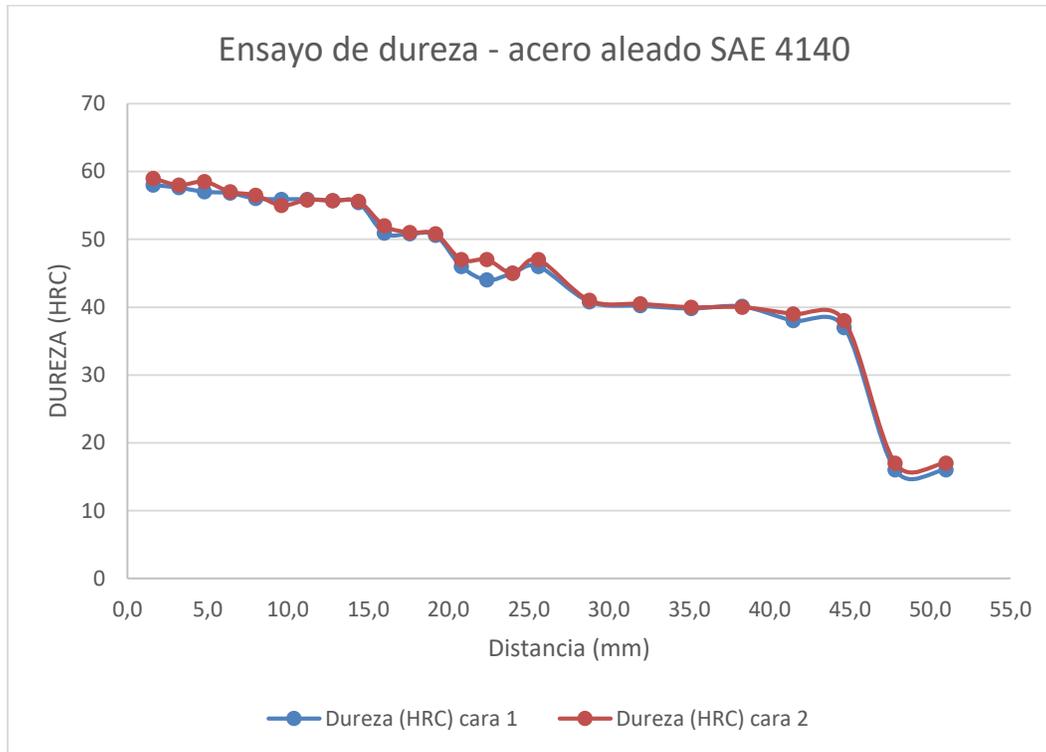
Tabla 16*Ensayo de dureza - acero aleado SAE 4140.*

DUREZA ROCKWELL C ACERO 4140			
DISTANCIA (mm)	DUREZA HRC		
	CARA 1	CARA 2	DIFERENCIA
1,6	58	59	1
3,2	57,6	58	0,4
4,8	57	58,5	1,5
6,4	56,8	57	0,2
8,0	56	56,5	0,5
9,6	55,9	55	0,9
11,2	55,9	55,8	0,1
12,8	55,7	55,7	0
14,4	55,4	55,6	0,2
16,0	50,9	52	1,1
17,6	50,8	51	0,2
19,2	50,6	50,8	0,2
20,8	46	47	1
22,4	44	47	3
24,0	45	45	0
25,6	46	47	1
28,8	40,8	41	0,2
32,0	40,2	40,5	0,3
35,1	39,8	40	0,2
38,3	40,1	40	0,1
41,5	38	39	1
44,7	37	38	1
47,8	16	17	1
51,0	16	17	1

Fuente: (Azuay et al., 2009)

Figura 33

Curva de templabilidad – acero aleado 4140.



Fuente: Autores.

8.7.Etapa (7) Evaluación y control de la ejecución de la máquina de ensayo Jominy

8.7.1. Control ensayo Jominy

Las evidencias adjuntas y el proceso paso a paso que se llevó a cabo en la ejecución de la máquina de ensayo Jominy como se ha dicho a lo largo del proyecto fue controlado a partir de la norma ASTM A255 (anexo 2), esto hizo que el procedimiento simplificara en gran medida los puntos a tener en cuenta antes, durante y después del ensayo.

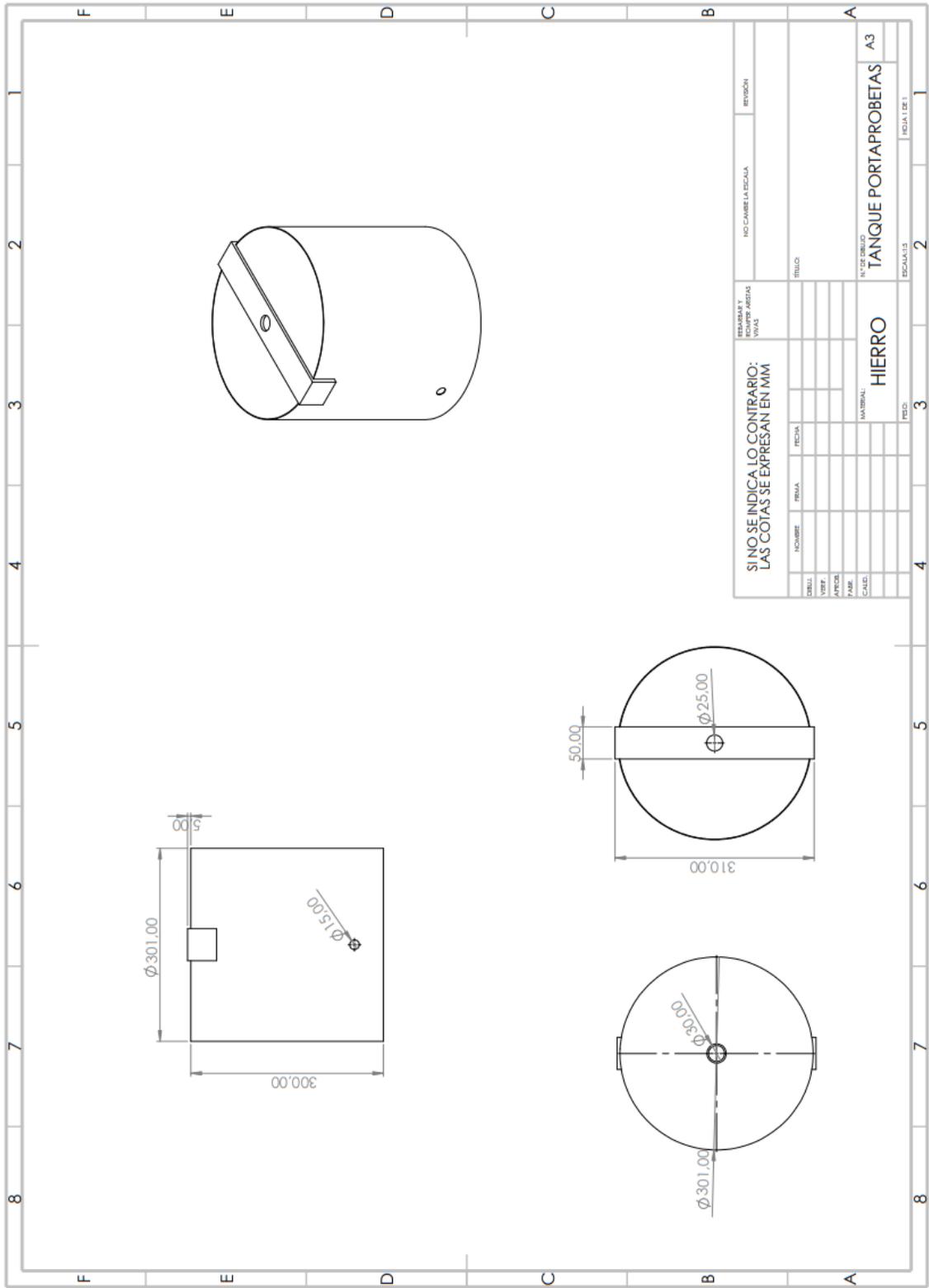
8.7.2. *Análisis de resultados parciales*

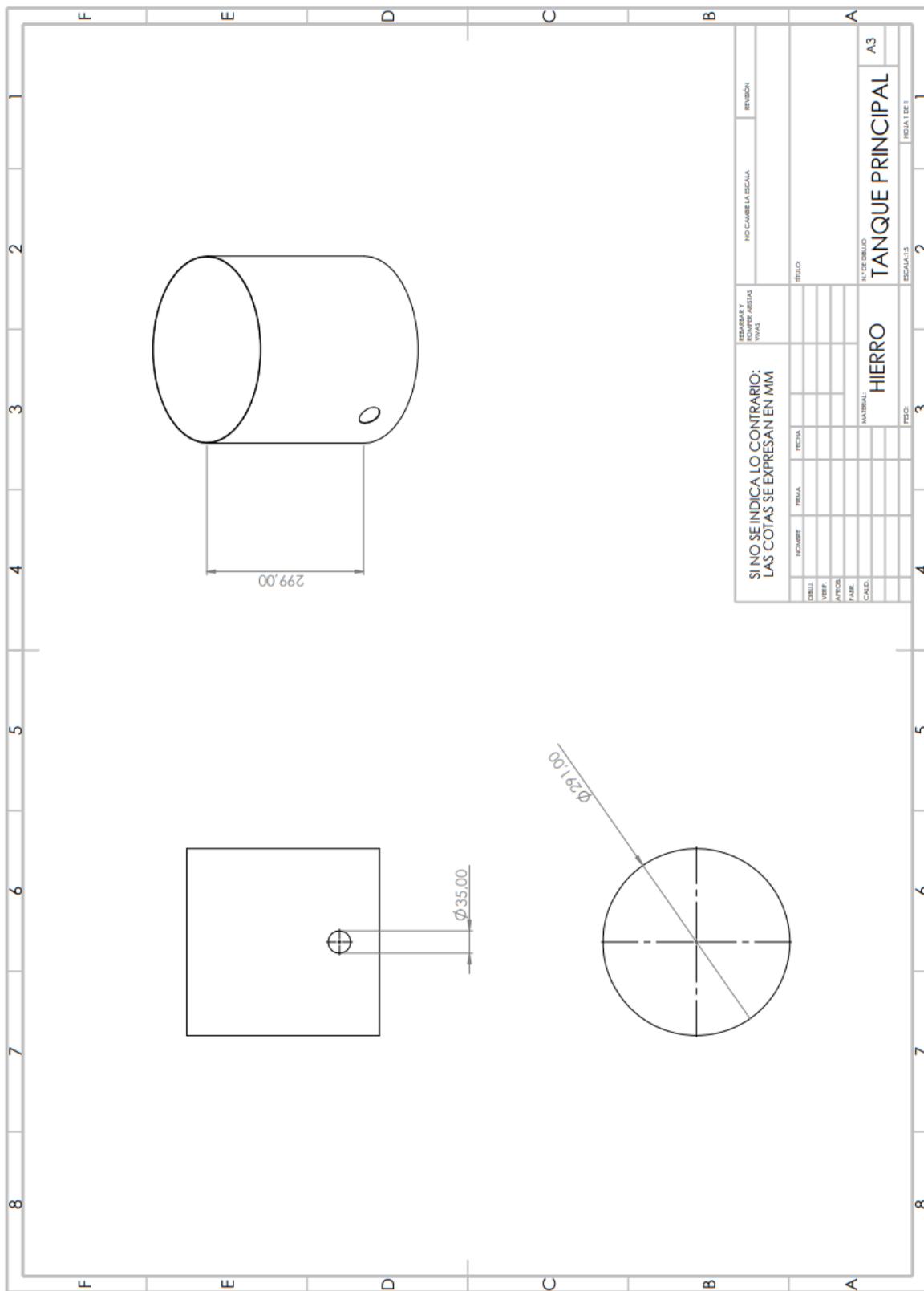
Una vez realizado todo el procedimiento de templado, este llevado a cabo por medio de la máquina de ensayo Jominy, se comparó el ensayo de dureza Rockwell C y el ensayo de dureza Leeb con el fin de caracterizar la dureza de las piezas.

Por normativa se concedieron resultados válidos, los cuales son mostrados en dos tablas, la Tabla 15 y

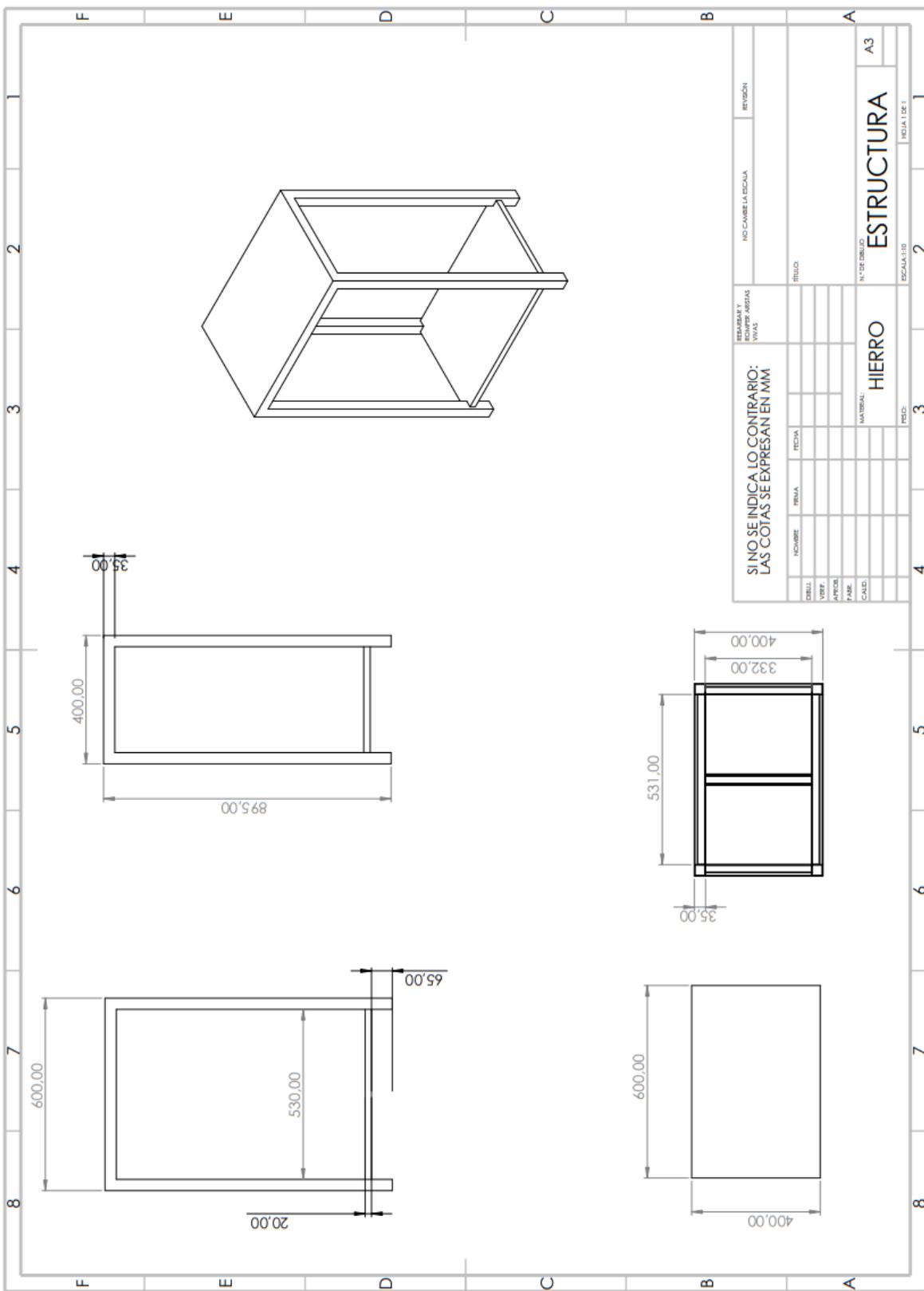
Tabla **16**. Se dio veracidad de esta validez ya que entre todas las muestras que se obtuvieron, el máximo diferencial de dureza fue 3 HRC, concluyendo en un valor que según la norma ASTM A255 no debe ser mayor a una dureza de 4 HRC, por esta razón el funcionamiento de la máquina es correcto.

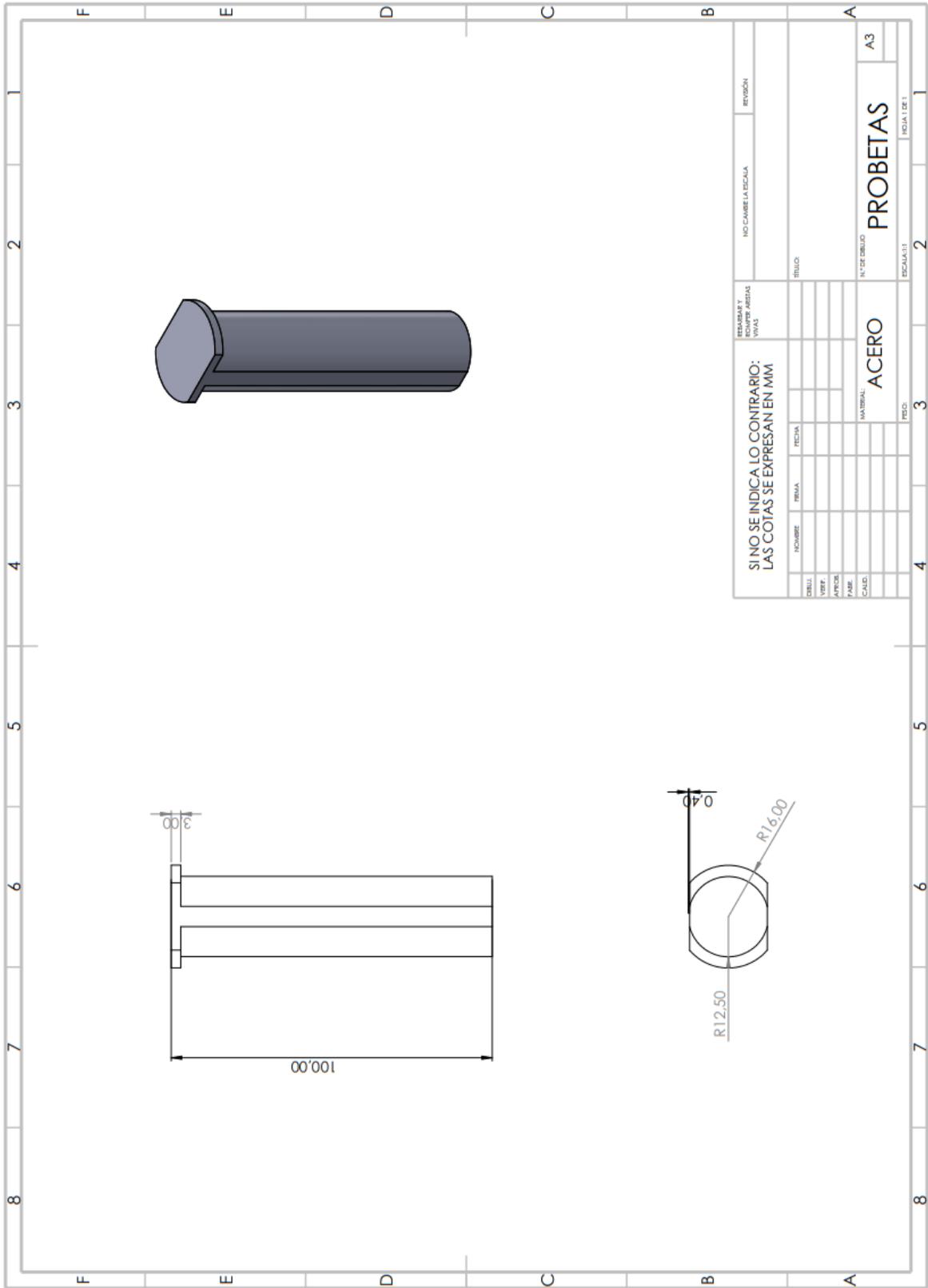
8.8. Etapa (8) Planos





REVISOR Y REVISOR AJUSTAS VIVAS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISION	
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		N° DE DIBUJO		TITULO	
DISEÑO	FECHA	HIERRO		TANQUE PRINCIPAL	
VERIF.	FECHA	MATERIAL:		A3	
APROB.	FECHA	HIERRO		ESCALA(S)	
PAIS.	FECHA	HIERRO		HOJA(S) DE 1	
CALD.	FECHA	HIERRO		2	
	FECHA	HIERRO		3	
	FECHA	HIERRO		4	
	FECHA	HIERRO		5	
	FECHA	HIERRO		6	
	FECHA	HIERRO		7	
	FECHA	HIERRO		8	





8.9. Etapa (9) Guía de laboratorio y manual de mantenimiento

Manual de Mantenimiento de la Máquina de Ensayo Jominy

El presente manual de mantenimiento tiene por objetivo proporcionar una serie de aspectos y parámetros que deben ser tenidos en cuenta al momento de operar la máquina o cuando se encuentre almacenada. Dicho de manera más explícita, se requiere de una revisión tanto de las condiciones de índole interna y externa en donde estará el equipo, como la inspección detallada del mismo, ya que de esa forma se logra usar correctamente la máquina, se conserva y se deja a disposición de la comunidad educativa, para que contraste el conocimiento teórico con la práctica.

1. Verificación de las Condiciones Ambientales

Resulta importante determinar bajo qué condiciones ambientales debe encontrarse la máquina durante su operatividad y almacenamiento. De modo que, se deben tener en cuenta aspectos como la humedad, el polvo y la seguridad de instalación.

- **Humedad:** Es un aspecto a tener en cuenta, ya que, al existir una humedad mayor a la recomendada por el fabricante, se puede ver afectada la máquina; levantándose la pintura y posteriormente oxidándose.
- **Polvo:** Resulta importante revisar de manera constante la presencia de este, dado que puede impedir el correcto funcionamiento de la máquina.
- **Seguridad de Instalación:** Instalar de manera adecuada la máquina y bajo una ubicación estratégica, lo cual mitiga el riesgo de la persona quien la opera y del cuidado de la máquina.

2. Limpieza e Inspección Integral Externa

Este aspecto comprende la trascendencia que tiene para la máquina, el hecho de limpiar su estructura externa: desechos, polvo, agua, hongos, entre otros. Que, para el caso en concreto, son los tanques y la estructura de la máquina.

Asimismo, la puesta en funcionamiento de la máquina Jominy exige una verificación previa de las partes, piezas y/o accesorios; con el fin de detectar posibles daños, impactos, roturas o algún elemento, ya que, de ser así, se deben tomar medidas de mantenimiento, como, por ejemplo, el reemplazo de partes afectadas.

3. Limpieza e Inspección Integral Interna

En este aspecto se deben tener en cuenta elementos internos relacionados con la limpieza en el área electrónica y de la tubería de la máquina.

En lo que respecta a la inspección integral interna, y conforme a nuestro caso, se debe verificar la tubería, el sobrecalentamiento de la bomba y la corrosión de la máquina, dado que para efectuar este proceso puede ser necesario que la máquina se encuentre en funcionamiento.

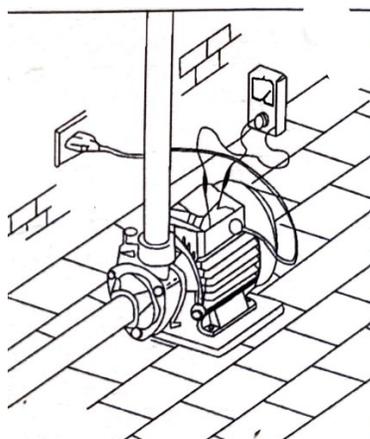
Ajuste y Calibración de la Máquina

Una vez realizada la inspección externa e interna de la máquina, se procede a realizar un ajuste y calibración de la misma, que, para este caso en particular, se requiere ajustar la altura del chorro del agua en 63.5 mm (± 10 mm) y el volumen de agua en el tanque principal para que se asegure la circulación del agua en 12 L. Lo anterior, teniendo en cuenta que dichos elementos de ajuste se encuentran establecidos en la norma ASTM A255.

4. Revisión de Seguridad Eléctrica

Resulta obligatorio revisar la seguridad eléctrica de la máquina, teniendo de presente las especificaciones dadas por cada componente de la máquina y por el fabricante. Tales como cableado y voltaje requerido de la bomba. Para ello, a continuación, se presenta el gráfico número 1. correspondiente a la misma, en donde se observa la conexión eléctrica.

Gráfico 1. *Conexión eléctrica de la bomba.*



Nota. Adaptada de (KSN-30560 Bomba de agua, instrucciones de uso y mantenimiento)

Calendarización de Mantenimiento

Con el fin de lograr un correcto funcionamiento en la máquina, se requiere de una programación continua en los mantenimientos, los cuales se aplican de acuerdo al uso y la necesidad del equipo. Razón por la cual es fundamental tener en cuenta los aspectos anteriormente mencionados, especificando, por ejemplo, observaciones técnicas, tipo de mantenimiento, descripción de la falla y el reporte final.

Facultad de Ingeniería FIMEB

Guía Práctica de Ensayo Jominy

El presente formato tiene por objetivo facilitar a la comunidad educativa una guía práctica de ensayo Jominy, la cual permite afianzar conocimientos teóricos, llevándolos a la implementación de dichos procesos térmicos. Lo anterior, reconociendo la importancia de poder hacer uso de máquinas y equipos, que fomenten el aprendizaje por medio de ejercicios prácticos durante todo el proceso académico del estudiantado.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Ejecutar ensayo de templabilidad Jominy para conocer el comportamiento de la propiedad de dureza en aceros.

1.2 Objetivos Específicos

- Conocer el proceso de templeado en aceros a través de la máquina de Jominy.
- Realizar el temple del acero con base en la norma ASTM A-255.
- Determinar y analizar los datos obtenidos durante la guía.

2. Marco Teórico

Los tratamientos térmicos se realizan a partir de la modificación de las propiedades de un material al sufrir un calentamiento hasta una cierta temperatura, sosteniéndose de manera constante, hasta aplicar un enfriamiento posterior, llegando a una temperatura ambiente en un medio determinado.

Algunos procesos se hacen de manera superficial en la pieza, adquiriendo dureza y resistencia a la corrosión, aquellos como nitruración, carburación, cianuración y a la flama. Otros ayudan a liberar esfuerzos, aumentando la ductilidad, por ejemplo, recocido, esferificación y normalizado. También, el endurecimiento forma parte importante en procesos como templado, aumentando la dureza, pero a su vez, haciendo más frágil y poco dúctil la pieza. (A. Perez, 1996)

Estas propiedades mecánicas que se adquieren, como se expuso anteriormente, dependen del tratamiento térmico que se aplique, en donde la utilidad final de la pieza induce a la existencia de otros factores importantes para evitar errores innecesarios como: el equilibrio en las áreas de masa, realizar acabados curvos, cuñeros para una mejor transmisión de potencia, etc. De esta forma, se puede decir que los tratamientos térmicos no solo se aplican a piezas básicas, sino que, su utilidad en la industria permite cubrir necesidades deseadas en cualquier ámbito ingenieril. (A. Perez, 1996)

En ese orden de ideas, la templabilidad es definida como la capacidad que tiene un acero para llegar a un temple total, esto se da, cuando el acero llega al menos a un 50% de transformación martensítica, dando como resultado, la obtención de una propiedad mecánica llamada dureza. Cuando se aplica a un acero aleado de alta templabilidad, este se

endurece no solo superficialmente, sino que también, al interior del mismo con gran intensidad.

(F. Perez, s. f.)

3. Materiales y Equipos

- Máquina de Jominy.
- Horno.
- 2 probetas con base en la ASTM A-255.
- Durómetro.
- Cronómetro.
- Pinzas aptas para altas temperaturas.
- Ácido nítrico.
- Lijas 150, 220, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 y 1200.
- Calibrador.

4. Elementos de Seguridad

- Indumentaria industrial.
- Gafas de seguridad.
- Botas industriales.
- Guantes aptos para altas temperaturas.
- Se recomienda tener cabello recogido.

5. Procedimiento

1. Una vez puestos los elementos de seguridad, se procede a verificar las condiciones generales del entorno y de los equipos que confirmar que todo se encuentre en correcto funcionamiento.
2. Realizar el cebado de la bomba, posteriormente, se llena el tanque teniendo en cuenta el volumen estimado para la circulación del agua por todo el sistema
3. Ajustar la altura del chorro de agua la cual debe ser 6,35 cm.
4. Calentar la probeta en el horno hasta los 925 °C, durante treinta (30) minutos. Seguidamente, se pone en funcionamiento la máquina de Jominy.
5. De manera rápida se debe extraer la probeta del horno y colocarla en la placa del tanque porta probetas. Exactamente no deben transcurrir más de (5) segundos entre las dos acciones descritas anteriormente.
6. Se realiza el enfriamiento de la probeta durante diez (10) minutos, con el chorro de agua, dando a la cara inferior de la probeta.
7. Pasado el tiempo determinado, se sumerge la probeta en su totalidad en el tanque principal de agua, las cuales se deberán maquinar dos (2) superficies planas a 180° teniendo en cuenta una profundidad mínima de 0.38 mm.
8. Aplicar ácido nítrico sobre las caras maquinadas probetas y se limpia.

9. Posteriormente, se realizan las pruebas de dureza para analizar los resultados obtenidos a partir de las tablas con distancias estandarizadas para cada material y/o en su defecto, pieza de estudio elegida. Esta pieza debe ser mecanizada y condicionada con medidas dichas en la norma ASTM A255.

DUREZA ROCKWELL C ACERO “ “			
DISTANCIA (mm)	DUREZA HRC		
	CARA 1	CARA 2	DIFERENCIA
1,6			
3,2			
4,8			
6,4			
8,0			
9,6			
11,2			
12,8			
14,4			
16,0			
17,6			
19,2			
20,8			
22,4			
24,0			
25,6			
28,8			
32,0			
35,1			
38,3			
41,5			
44,7			
47,8			
51,0			

6. Cuestionario Base

- ¿En qué consisten los tratamientos térmicos?
- ¿Qué es el temple?
- ¿Cuál es el objetivo principal del temple?
- ¿Cuáles son los medios empleados durante el temple de un material?
- ¿Cuáles son los factores que afectan el proceso del temple?
- ¿A qué se debe el aumento después del temple?

7. Conclusiones



9 Conclusiones

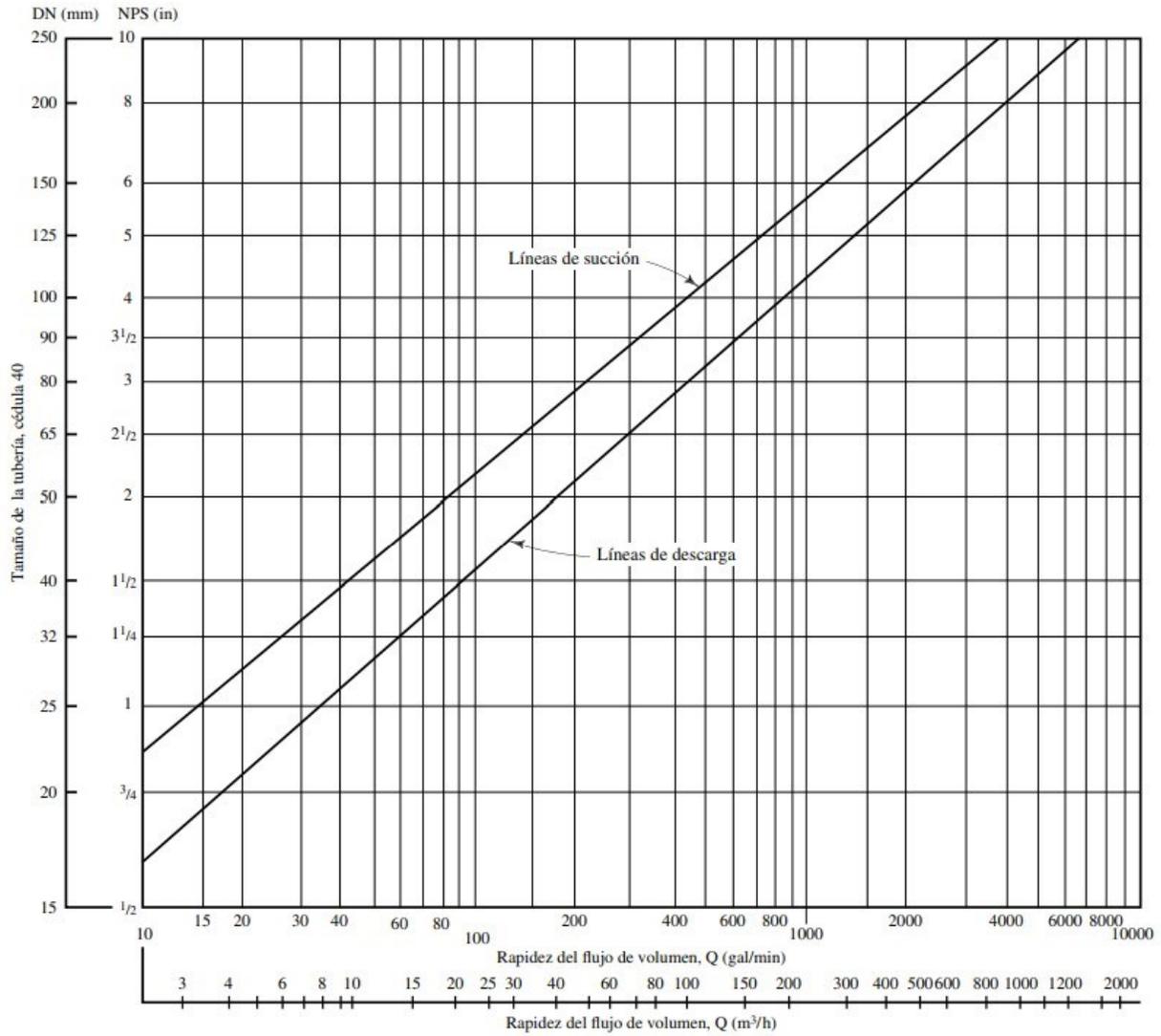
- Se construyó un banco de pruebas de ensayo Jominy totalmente funcional, aplicando un sistema hidráulico como base ingenieril. Este conocimiento, asegura el correcto desarrollo y diseño de la máquina.
- Tras el análisis de tres alternativas de diseño, la elegida fue la número 3 (Banco de pruebas ensayo Jominy con accionamientos manuales). Está basada en la practicidad y funcionalidad necesaria para cumplir con los parámetros de diseño que están dentro de la norma ASTM A255; se seleccionaron materiales como el hierro para la construcción de componentes importantes de la máquina, y para las piezas tomadas como objetos de estudio, se eligió un acero SAE 1045 y un acero aleado SAE 4140. Los materiales dichos anteriormente, fueron considerados de fácil obtención en el mercado, aplicando maquinados a estos mismos para la realización del banco de pruebas de ensayo Jominy, todo esto expuesto en la norma ya nombrada.
- A partir de la norma ASTM A255, más la selección de diseño, se elaboraron planos de la estructura, tanques y pieza a temprar, utilizando el software de modelaje Solid Works.
- Se detectó una problemática enfocada en el análisis de resultados del ensayo Jominy. Lo anterior se expone con dos justificantes; la máquina de dureza

Rockwell C (HRC) que se encuentra en la universidad no está en condiciones de uso y también, el alto costo que conllevaría hacerla en entidades externas. Dado a esto, se optó por realizar un método de ensayo de dureza llamado dureza Leeb (HL) que caracterizó la dureza de las piezas y además, permitió realizar una equivalencia de valores entre ambos métodos. Con base en lo anterior, se determinó que las piezas están dentro de un rango de valores de dureza de 200-900 (HLD), por consiguiente, 56 – 11 (HRC) acero SAE 1045 y 59 – 16 (HRC) acero aleado SAE 4140, cumpliendo con la equivalencia de valores de dureza.

- Para los valores obtenidos se puede concluir que, el máximo diferencial de durezas medido en ambas caras es de 3 (HRC), dando por válido el análisis, ya que según la norma ASTM A255, el mínimo diferencial de dureza debe ser de 4 (HRC). Para los aceros SAE 1045 y SAE 4140, los valores de dureza se definen en las curvas de templabilidad, las cuales demuestran que a mayor contenido de carbono en la estructura del material, mejor será la templabilidad aplicada en el ensayo Jominy y por consecuencia mayor será la dureza. Dado a la forma en como es expuesta la pieza al contacto con el agua, la dureza en ese punto es mayor, pero esta va disminuyendo a medida que se aleja de la parte inferior de la pieza.
- Por último, se elaboró una guía de laboratorio y un manual de mantenimiento, en donde se pueda explicar el uso paso a paso de la máquina de ensayo Jominy y también, mantenerla en optimas condiciones respectivamente. Esto con el fin de poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos.

10 Anexos

10.1. Anexo 1. Selección de tubería



10.2. Anexo 2. Norma ASTM A255



Designation: A255 – 10 (Reapproved 2014)

Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A255; 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 U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the identification and description of test methods for determining the hardenability of steels. The two test methods include the quantitative end-quench or Jominy Test and a method for calculating the hardenability of steel from the chemical composition based on the original work by M. A. Grossman.

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

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

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

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

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

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

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 Oct. 1, 2014. Published October 2014. Originally approved in 1942. Last previous edition approved in 2010 as A255 – 10. DOI: 10.1520/A0255-10R14.

responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E112 Test Methods for Determining Average Grain Size

2.2 *ASTM Adjuncts:*

ASTM Hardenability Chart³

END-QUENCH OR JOMINY TEST

3. Description

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

4. Apparatus

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

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

4.2 *Water-Quenching Device*—A water-quenching device of suitable capacity to provide a vertical stream of water that can be controlled to a height of 2.5 in. (63.5 mm) when passing through an orifice 0.5 in. (12.7 mm) in diameter. A tank of

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

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

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.

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 continuous cast billet. The test specimen shall be 1.0 in. (25.4 mm) in diameter by 4.0 in. (101.6 mm) in length, with means for hanging it in a vertical position for end quenching. Dimensions of the preferred specimen and of an optional specimen (Note 2) are given in Figs. 2 and 3. The specimen shall be machined from a bar previously normalized in accordance with 6.1 and of such size as to permit the removal of all decarburization in machining to 1.0 in. round. The end of the specimen to be water cooled shall have a reasonably smooth finish, preferably produced by grinding. Normalizing may be waived by agreement between the supplier and the user. The previous thermal history of the specimen tested shall always be recorded.

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

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

6. Procedure

6.1 Normalizing—The wrought product from which the specimen is to be prepared shall be normalized to ensure proper

hardening characteristics. The sample shall be held at the temperature listed in Table 1 for 1 h and cooled in air. Tempering of the normalized sample to improve machinability is permitted.

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

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

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

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

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

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

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

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

 A255 - 10 (2014)

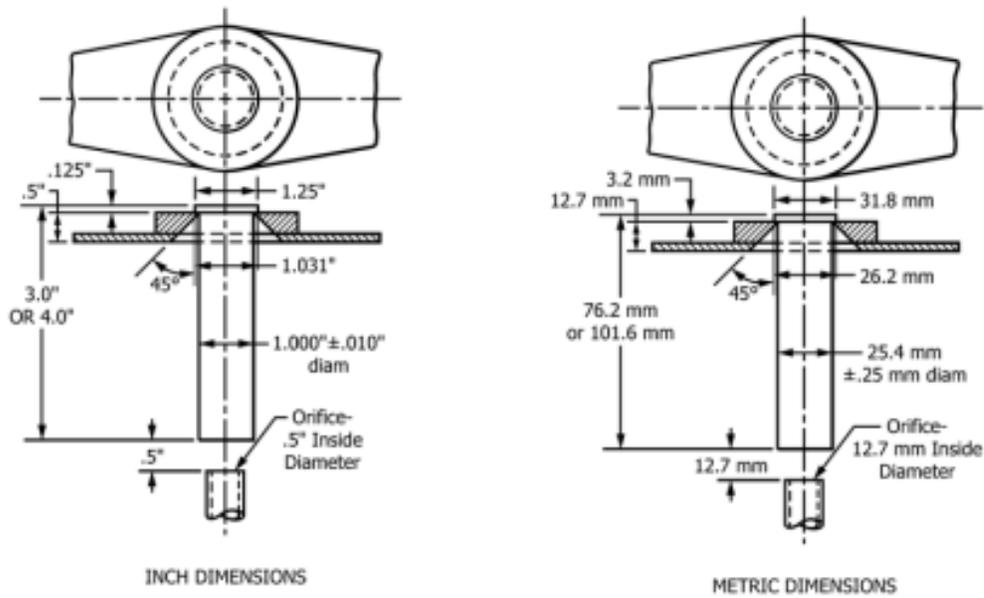


FIG. 1 Test Specimen in Support for Water Quenching



FIG. 2 Preferred Test Specimen

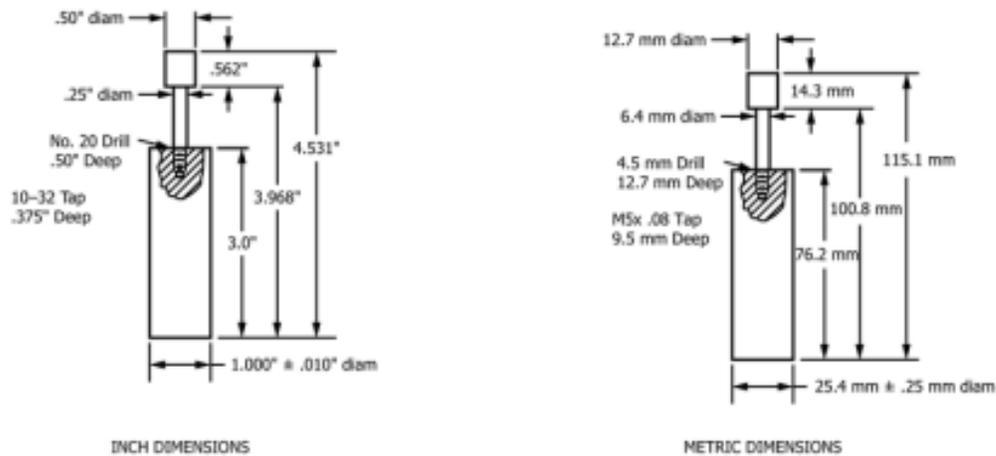


FIG. 3 Optional Test Specimen


A255 – 10 (2014)

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.

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 E18.

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

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

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

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

7. Plotting Test Results

7.1 Test results should be plotted on a standard hardenability chart prepared for this purpose, in which the ordinates

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

8. Index of Hardenability

8.1 The hardenability of a steel can be designated by a specific HRC hardness value or HRC hardness value range at a given Jominy ("J") distance. Examples of this method are J $\frac{4}{16}$ in. (6.4 mm) = 47 HRC min, J $\frac{7}{16}$ in. (11.1 mm) = 50 HRC max, and J $\frac{5}{16}$ in. (7.9 mm) = 38–49 HRC.

9. Report

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

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

9.1.2 Chemical Composition,

9.1.3 ASTM grain size (McQuaid-Ehn) as determined by Test Methods E112, unless otherwise indicated, and

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

CALCULATION OF HARDENABILITY

10. Introduction

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

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

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

ASTM A255 - 10 (2014)

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	19297	8-7	.44	.89	.019	.016	.27	.58	.50	.25	±600	1550
8620	621271	7-8	.19	.80	.015	.015	.23	.46	.52	.22	1700	1700

REMARKS:

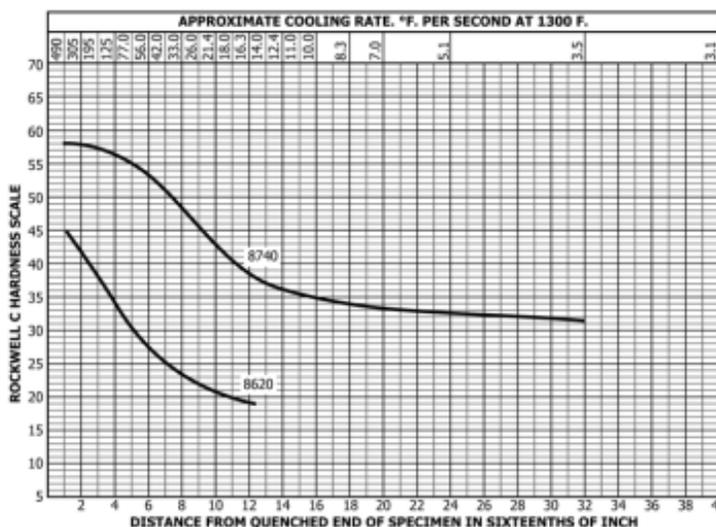


FIG. 4 Facsimile of Standard ASTM Hardenability Chart, Showing Typical Hardenability Curves [Chart Size: 8½ by 11 in. (216 by 279 mm)]

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

10.2 Tables 2-18 are to be used to calculate hardenability from the chemical ideal diameter for the grades shown in 10.1. Hardenability results are to be reported for the first 10 sixteenths (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.

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:

phorous and sulfur are not considered since they tend to cancel one another. A No. 7 austenitic grain size is assumed since most steels with hardenability control are melted to a fine-grain practice where experience has demonstrated that a high percentage of heats conform to this grain size. An example DI calculation is given as follows for an SAE 4118 modified steel:

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

where:

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

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


A255 – 10 (2014)

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

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

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

Composition, %	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	Calculated DI (boron excluded)	
								0.0015	1.35 in.
	0.29	1.25	0.20	0.13	0.07	0.03	0.24	0.0015	1.35
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 3/16 in. from the quenched end (interpolation required).

10.4.4 From **Table 8** (in.), a "J" distance of 3/16 in. equates to a measured DI of 2.97 in. (interpolation required).

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

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

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

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

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

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

10.4.6 Calculate the DI with boron as follows:

where:

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

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

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

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

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

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

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

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

11. Keywords

11.1 end-quench hardenability; hardenability

 A255 – 10 (2014)

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

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


A255 – 10 (2014)
TABLE 3 Distance Hardness Dividing Factors for Non-Boron Steels, mm

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

10.3. Anexo 3. Bomba de agua

KSN-30560

**BOMBA DE AGUA
INSTRUCCIONES DE USO
Y MANTENIMIENTO**

Siga cuidadosamente las instrucciones para obtener el mejor rendimiento y una prolongada vida de su bomba. Contacte a su proveedor local si tiene algún problema.

CONDICIONES DE OPERACIÓN:

TRABAJA CON ESTE FLUIDO: Agua limpia neutral sin contenido de abrasivos o sólidos.

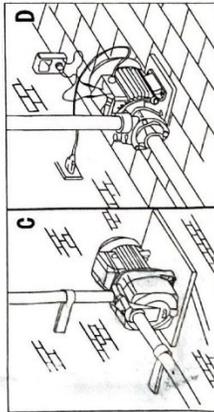
CARACTERÍSTICAS:

370W / 4.6Amp. / 1/2 HP.

ESPECIFICACIONES:

VOLTAJE: 125V.
FRECUENCIA: 60 Hz.
POTENCIA: 370 W 1/2 HP.
CORRIENTE: 4.6 Amp.
CAPACIDAD MÁX.: 28 L / min.
SUCCIÓN MÁX.: 8 Mts
ALTURA MÁX.: 18 Metros
CONEXIÓN 1"

CONEXIONES ELÉCTRICAS:



1. La bomba debe ser instalada en un lugar seco y bien ventilado, con una temperatura ambiente no mayor a 40°C.
2. Fije la bomba con tornillos apropiados en una superficie sólida para evitar vibraciones.
3. La bomba debe ser instalada en posición horizontal para asegurar que los rodamientos y sello mecánico puedan operar correctamente.
4. El diámetro del tubo de succión no debe ser más pequeño que el nominal, lo recomendable es mantener el diámetro de fábrica.
5. Si la altura de succión es mayor a 4 metros, utilice un tubo de mayor diámetro.

6. Asegúrese que el tubo de succión este completamente sellado e inmerso en agua hasta al menos 0.5 metros bajo el espejo ó nivel de agua, para evitar la formación de vacíos.
7. Siempre ponga una válvula de pie al final del tubo de succión.
8. Es recomendable instalar una válvula de retención en la descarga y una válvula de compuerta para regular de la cantidad de flujo a fin de evitar peligrosos martillos (cavitación) lo cual puede ser perjudicial para la bomba.
9. La medida es obligatoria si la columna de entrega de agua es mayor a 6 metros. Los tubos hacia la succión y provenientes de la bomba deben ser instalados con soportes para evitar transmitir el estrés al cuerpo de la bomba. Tenga cuidado al instalar los tubos para que no sean forzados o causen daños a alguna parte.

CONEXIONES ELÉCTRICAS:

El instalador de la bomba es el responsable de hacer las conexiones eléctricas a la fuente principal de corriente de acuerdo a las regulaciones relevantes:

- Regulaciones internacionales requieren que las instalaciones fijas incorporen un dispositivo que asegure una desconexión (guardamotor) según amperaje indicado en placa (nominal) para que asiste la fuente principal.
- Asegúrese que los valores indicados en la fuente de poder sean compatibles con las especificaciones en la placa de valores de la bomba.
- Conecte la bomba a un circuito de tierra efectivo y luego conecte las fases de acuerdo al diagrama en el bloque terminal o en la placa de valores.

PREPARACIÓN DE LA BOMBA / CEBADO:

Llene la bomba completamente con agua limpia antes de encenderla. El agua debe ser echada tras quitar el tapón de cebado. Luego atornille nuevamente el tapón y encienda la bomba. La bomba debe cebarse nuevamente cuando no haya sido usada por periodos prolongados o cuando el aire se ha metido en el sistema.

PRECAUCIÓN:

Nunca ponga en marcha la bomba vacía. Si esto ocurre por error, apague la bomba lo más rápido posible, deje que enfrie e intente cebarla nuevamente con agua limpia, luego enciéndala para llevar a cabo cualquier trabajo en la bomba, primero desconectada de la fuente de poder.

MANTENIMIENTO:

- Cuando hay riesgo de congelamiento, vacíe la bomba por el tapón de drenaje en la parte inferior de la bomba. Cuando la temperatura ambiente sea más favorable, cébela nuevamente y enciéndala.
- Limpie la válvula de pie en intervalos regulares.
- Si la bomba va a permanecer inutilizada por más de 3 días, es recomendable vaciarla completamente, lavarla con agua limpia, secarla y poner un poco de aceite (puede ser de cocina) en el impulsor de agua para evitar la oxidación.
- Si el eje no gira fácilmente, inserte un destornillador en la ranura. Si no es suficiente para resolver el problema, remueva el cuerpo de la bomba, deshaga el tornillo de montaje y límpielo para remover cualquier incrustación.

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
La bomba de agua no prende.	1. No hay energía. 2. El impulsor esta obstruido.	1. Revise la conexión. 2. Siga las instrucciones de mantenimiento.
El motor corre sin bombear agua.	1. El filtro esta obstruido. 2. Altura excesiva de la entrada. 3. ire dentro de la línea.	1. Limpie el filtro. 2. Ponga la bomba más cerca del nivel de entrada. 3. Revise si el tubo de entrada esta hermético. 4. Asegurase que la válvula de pie esta sumergida al menos 50cm. 5. Cebé la bomba nuevamente.
Rango de fluido insuficiente.	1. La altura de la entrada esta al limite. 2. El filtro esta parcialmente obstruido. 3. El impulsor esta bloqueado	1. Revise la altura de entrada. 2. Limpie la válvula de pie, y si es necesario todo el tubo de succión. 3. Desarme la bomba y limpie cuidadosamente el cuerpo de la bomba y el impulsor.
El motor se detiene por sobrecarga.	1. El motor esta recalentado. 2. El impulsor esta obstruido.	1. Revise el voltaje y la ventilación. 2. Suelte el impulsor 3. Siga las instrucciones de mantenimiento.

10.4. Anexo 4. Ficha técnica aceros SAE 1045 y SAE 4140

ACEROS ESPECIALES
Para aplicaciones Industriales

GA Cía. General de Aceros

Acero Grado Ingeniería

Referencia:

Aceros al Carbono



AISI / SAE: 1045

Composición química (%)			
C	0.43 - 0.50	P	0.04 Max.
Mn	0.60 - 0.90	S	0.05 Max.
Si	0.20 - 0.40		

Dureza de suministro 180 - 220 HB.

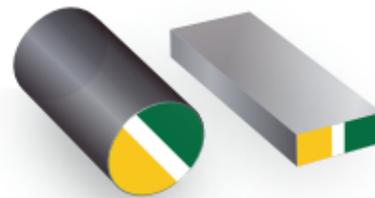
EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	1045
DIN	CK45
AFNOR	XC45
UNI	C45
BS	060 A45

Características:

Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Usos: Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, pasadores, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.



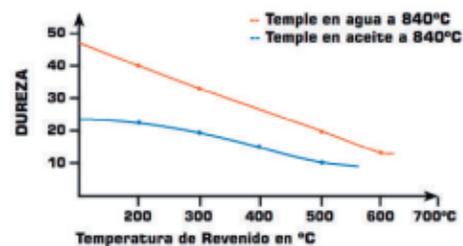
Láminas desde 15.88 mm hasta 300 mm de espesor

Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60	32	> = 16	> = 40	180/220
Calibrado	60	42	> = 16	> = 40	180/220

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	815/870	Aceite
Normalizado	856/900	Aire
Recocido total	650/700	Horno
Revenido	450/600	Aire

* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.

Diagrama de Revenido



El tiempo de sostenimiento a esta temperatura es de 1 hora + 1 hora por pulgada de espesor o diámetro de la pieza. Posteriormente se enfría en el horno o al aire.

Acero Grado Ingeniería

 Referencia:
Aceros Aleados

AISI / SAE: 4140


Composición química (%)			
C	0.33 - 0.43	Cr	0.80 - 1.10
Mn	0.75 - 1.00	Mo	0.15 - 0.25
Si	0.15 - 0.35	S	0.040 Máx.
P	0.035 Máx.		

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

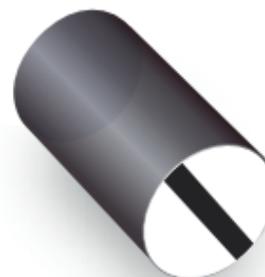
EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	4140
DIN	42CrMo4
AFNOR	42CD4
UNI	40CD4
BS	708M40

Características:

Acero de medio carbono aleado con Cr y Mo. Posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.

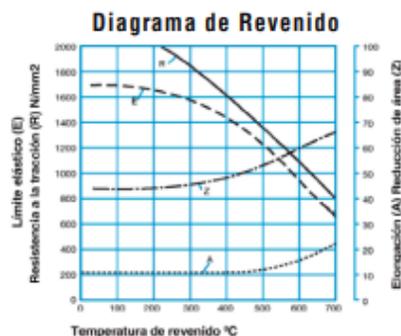
Usos: Se utiliza en piñones, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la industria petrolera. Cigüeñales, espárragos, árboles, engranajes de transmisión, etc.



Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	830/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire

* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.



10.5. Anexo 5. Cotización prueba ensayo de dureza Rockwell C



SGS COLOMBIA S.A.S.
Líder mundial en inspección, verificación,
pruebas y certificación

**SECTOR
INDUSTRIAL**

COTIZACION N° IND-50NDT – 507822-1

Fecha de emisión: 23/03/2023

Señor:
FABIAN JESUS PORTILLA
E-mail: yunior11p@gmail.com

Referencia: REALIZAR ENSAYO NDT DE DUREZA ROCKWELL C, UBICACIÓN NEIVA (HUILA).

Estimado señor:

Reciban un cordial saludo de parte de **SGS Colombia S.A.S. (SGS o la Compañía)** En atención a su amable solicitud, tenemos el agrado de remitir a ustedes nuestra Oferta Comercial o Cotización para los servicios de la referencia, la cual detallamos en el presente documento. Esperamos cumpla sus expectativas como Cliente.

Agradecemos la confianza depositada y reiteramos nuestro compromiso de convertirnos en su mejor aliado. Si desea ampliar información sobre esta Oferta, o tiene alguna inquietud, no dude comunicarse con nosotros.

Cordialmente,

Abel Alejandro López Quintero
Industrial Services
Ingeniero Comercial
Laboratorio de construcción

SGS COLOMBIA S.A.
Av. Miroldo # 70 – 02
Ibagué, Colombia
Mobile: +57 (1) 313 4207134
Email: Abel.Lopez@sgs.com



CONDICIONES ESPECÍFICAS DEL SERVICIO

1. OBJETO

Realizar ensayo NDT de Dureza Rockwell C, ubicación Neiva (Huila).

ALCANCE Y ESPECIFICACIONES DEL SERVICIO

Realizar dos ensayos de dureza Rockwell C a dos tipos de aceros, SAE 1045 y SAE 4140.

Los aceros tienen medidas específicas en forma de probetas. Éste ensayo debe hacerse a lo largo del material como lo muestra la imagen adjunta, en el laboratorio de la ciudad de Bogotá D.C. de acuerdo con las especificaciones de norma ASTM 370.



- Campo espectral amplio. Tubo óptico de 3.0 mt con cubierta protectora, marca ESA PORT. Fuente de Arco de CC, 35 vol, hasta 5Amp.
- Pistola de material ligero. Electrodo de tungsteno para modo spark.
- Electrodo de cobre para análisis de arco continuo.
- Es la herramienta ideal para la clasificación e identificación de materiales, basándose en análisis cuantitativo y cualitativo de la concentración de constituyentes químicos que componen un material metálico.
- El uso de la pistola de argón permite obtener resultados comparables a los suministrados por un instrumento de laboratorio con muestras preparadas adecuadamente.
- La herramienta es altamente funcional y permite una rápida identificación de todas las aleaciones metálicas y análisis de elementos como C, Al, Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu y Fe.
- Junto al ensayo de dureza, se obtiene el valor de la resistencia a la tracción equivalente y se establecen las propiedades mecánicas de los equipos. Esta inspección se ejecutará al 100% de las muestras.



2. LUGAR DE PRESTACIÓN

Los servicios serán prestados en los laboratorios de SGS en la ciudad de Bogotá.

Nota: Las muestras deben hacerse llegar a los laboratorios de SGS en una caja sellada y rotulada con el contenido de esta, las pruebas se realizarán una vez se tenga la orden de compra y el diligenciamiento del formato de ingreso al laboratorio.

3. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo total estimado para la ejecución de los servicios ofertados dependerá de la disponibilidad de los equipos.

- Tiempo estimado de entrega de resultados: veinte (10) días hábiles a partir de recepción de muestras por el laboratorio y recepción de orden de compra conforme la capacidad del laboratorio.
- El plazo de ejecución solo podrá contabilizarse a partir del momento en que se cuente con todos los permisos de ingreso o con la totalidad de la información que debe suministrar el Cliente para la prestación.
- El plazo de ejecución se entenderá suspendido por causas de fuerza mayor o caso fortuito que impidan la ejecución de los servicios. En estos eventos cada parte asumirá sus propios costos.
- Los trabajos se ejecutarán con una intensidad horaria diaria no mayor a 8 horas y no habrá prestación en días no hábiles. Para estos efectos el sábado se considera No Hábil.
- Las interrupciones o pérdidas de tiempo causadas por motivos ajenos a SGS Colombia serán contabilizadas dentro de las 8 horas diarias o dentro de los días de ejecución y sus costos correrán por cuenta del Cliente.
- El Cliente deberá solicitar a SGS Colombia el Servicio con, por lo menos, Cinco (5) días hábiles de anterioridad a la fecha en que desee que inicie la prestación.

4. OFERTA ECONÓMICA

ITEM	DESCRIPCION DEL ALCANCE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	INSPECCION POR PUNTO DE DUREZA EN CCM (5 PUNTOS POR PIEZA)	Un.	10	\$ 69.000	\$ 690.000
2	INFORME DE ANALISIS DE RESULTADOS	Un.	1	\$ 137.000	\$ 137.000
				TOTAL SIN IVA PESOS	\$ 827.000



NIT. 830.126.502-9

MANTENIMIENTO PREDICTIVO INTEGRAL

OFERTA COMERCIAL

Código: COM-P01-F01

Versión: 01

Vigencia: 23-09-16

Bogotá, 27 De marzo de 2023

Señores
MIGUEL ANGEL
Ciudad

DIT – 0105 – 23

Referencia: PRUEBA DE DUREZA

Diteinco es una empresa que ha estado en el mercado más de 19 años con experiencia en mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo abarcando varias ciudades de Colombia y en el exterior.

A continuación, presentamos propuesta económica a los servicios solicitados por usted, esperamos se ajusten a sus expectativas técnicas y económicas.

1. ALCANCE:

Realizar ensayos de laboratorio para prueba de dureza



2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

El espectrómetro de emisión óptica portátil E3 ESAPORT para análisis químico, equipado con fuente de excitación de arco y chispa es el instrumento perfecto para todos los campos de aplicaciones en clasificación de metales, identificación positiva de materiales (PMI), controles de calidad entrantes, etc. Utilizando la pistola lavada con gas argón los resultados son comparables a los obtenidos con un instrumento de laboratorio, según la preparación de la muestra.

2.1. EQUIPO DE ANALISIS QUIMICO POR ESPECTOMETRIA Y PRUEBA DE DUREZA

Calle 57 G Sur No. 70 A 59 Villa del Río TEL. (1) 204 1605 / 703 1287 Cel. 314 471 8156
Comercial@diteinco.com.co / info@diteinco.com.co / www.diteinco.com.co



NIT. 830.126.502-9

MANTENIMIENTO PREDICTIVO INTEGRAL

Código: COM-P01-F01

Versión: 01

OFERTA COMERCIAL

Vigencia: 23-09-16



- Campo espectral amplio. Tubo óptico de 3.0 mt con cubierta protectora. Marca: ESA PORT
- Fuente de Arco de CC, 35 vol, hasta 5 Amp
- Pistola de material ligero. Electrodo de tungsteno para modo Spark
- Electrodo de cobre para análisis de arco continuo.
- Es la herramienta ideal para la clasificación e identificación de materiales, basándose en análisis cuantitativo y cualitativo de la concentración de constituyentes químicos que componen un material metálico.
- El uso de la pistola de argón permite obtener resultados comparables a los suministrados por un instrumento de laboratorio con muestras preparadas adecuadamente.
- La herramienta es altamente funcional y permite una rápida identificación de todas las aleaciones metálicas y análisis de elementos como C, Al, Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Cu y Fe.
- Junto al ensayo de dureza, se obtiene el valor de la resistencia a la atracción equivalente y se establecen las propiedades mecánicas de los equipos. Esta inspección se ejecutará al 100% de las muestras.

2.2 EQUIPÓ DE DUREZA

Este ensayo permite en sitio la obtención del valor de dureza real del material y con ellos la resistencia a la tracción equivalente. Esta permite establecer la conformidad en las propiedades mecánicas de los equipos. Determina la resistencia que tiene el material proporcionando información sobre propiedades mecánicas, se realiza de acuerdo con las normas ASTM E18, E10 y E384.





NIT. 830.126.502-9

MANTENIMIENTO PREDICTIVO INTEGRAL

OFERTA COMERCIAL

3. OFERTA COMERCIAL

Código: COM-P01-F01

Versión: 01

Vigencia: 23-09-16

ITEM	DESCRIPCION	CAN	V. UNITARIO	V.TOTAL
1	Inspección por punto de dureza en CCM (5 puntos por pieza)	10 puntos	\$2.000.000	\$ 2.000.000
2	Informe de análisis de Resultados	1		

4. NOTAS ACLARATORIAS

- Los anteriores valores no incluyen el impuesto del IVA.
- Para poder realizar el servicio recuerde que el/los equipos deben estar funcionando al 100%
- Los equipos que se requieran inspeccionar en alturas tendrán un costo adicional de ciento cincuenta mil pesos (\$ 150.000)
- En caso de stand-by por razones imputables al cliente (limpieza incompleta, falta de permisos, equipo no en óptimas condiciones para iniciar pruebas etc.) se cobrará una tarifa por turno de Setecientos mil pesos (\$ 700.000)
- En caso de inspeccionar equipos en altura el cliente suministrará andamios, permisos de trabajo y la infraestructura necesaria para acceder a los equipos.
- Se solicita que el cliente garantice las condiciones de accesibilidad al equipo a inspeccionar.
- Prueba Covid PCR: En caso de requerir prueba PCR esta tendrá un costo adicional de Ciento Veinte mil pesos (\$120.000) por persona.
- Igualmente, si se requiere el cumplimiento de algún requisito especial de autorización para realizar trabajos, por parte del estado por la crisis de salud, será tramitado directamente por EL CLIENTE.
- La presente oferta no incluye servicio ni ningún suministro que no esté especificado en el presente documento.
- Entregar las soldaduras pulidas y/o limpias, sin salpicadura de soldadura, óxido ni pintura, u otros elementos que obstruyan los trabajos y que permitan el desarrollo correcto de las actividades de inspección.

5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN E INFORME TÉCNICO

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos citados anteriormente, se realizará el análisis de información, el informe técnico y recomendaciones del caso, cada reporte generado es el resultado de encontrar un estado de operación anormal con alguna condición de severidad de acuerdo a los criterios técnicos pertinentes.

Para poder generar una ayuda en el análisis de la información se generan unos comentarios de cuál es la posible causa que origina la falla y algunas recomendaciones para solucionarlas.

Por último, se establece una ayuda de documentación de la información para establecer la información interna de quien como y bajo qué orden de trabajo realiza el correctivo.

Dicho informe se entregará 5 días hábiles posteriores a la finalización del servicio.

Calle 57 G Sur No. 70 A 59 Villa del Río TEL. (1) 204 1605 / 703 1287 Cel. 314 471 8156

Comercial@diteinco.com.co / info@diteinco.com.co / www.diteinco.com.co

11 Referencias Bibliográficas

- Alarcón, M., & Berrocal, C. (2018). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY PARA LA DETERMINACIÓN DE TEMPLABILIDAD DE ACEROS ALEADOS SEGÚN NORMA ASTM A255 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA DE LA UCSM.*
- Alves, F., De, M., Júnior, A., & Jominy, E. (2017). *UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO CENTRO DE ENGENHARIAS CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO E VALIDAÇÃO DE UMA MÁQUINA PARA.*
- ASTM A 255 INTERNATIONAL. (2014). *Norma ASTM A-255.* <https://doi.org/10.1520/A0255-10R14>
- Azuay, D., Rivera, M., Daniel, P., & Salgado, V. (2009). *Universidad del Azuay.*
- Casco, S., & Sigcha, A. (2015). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO.*
- Chandra Kandpal, B., Chutani, A., Gulia, A., & Sadanna, C. (2011). A review on Jominy test and determination of effect of alloying elements on hardenability of steel using Jominy end quench test. En *International Journal of Advances in Engineering & Technology* (Vol. 65). <https://www.researchgate.net/publication/281130778>
- Contreras, J., & Zúñiga, S. (2016). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS JOMINY EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA ESCUELA TECNOLÓGICA INSTITUTO TÉCNICO CENTRAL.*
- Felipe, D., Cagüño, G., David, C., & Salazar, M. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.*
- Ignacio Alvarez, M. (2019). «*Ensayo Jominy y templabilidad*» *Universidad de Santiago de Chile. Metalurgia.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24191.15526>
- MANUAL DE USO DEL MEDIDOR DE DUREZA PCE-2500.* (s. f.). www.pce-iberica.es
- Mejía, J. (2016). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE.*

Mott, R. L., Untener, J. A., Murrieta Murrieta, J. E., & Hernández Cárdenas, R. (2015). *Mecánica de fluidos*. Pearson.

Perez, A. (1996). *UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA y ELECTRICA QUE PRESENTA EL m M.*

Perez, F. (s. f.). *Metodología para el cálculo de la templabilidad de piezas de acero.*

Pilco, E., & Merino, M. (2021). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA ENSAYOS JOMINY DE ACUERDO A LA NORMATIVA ASTM A255 PARA LA DETERMINACIÓN DE CURVAS DE TEMPLABILIDAD EN ACEROS».*

Stewart, J., & Redlin, L. (s. f.). *PRECÁLCULO MATEMÁTICAS PARA EL CÁLCULO 6e.*