

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS  
TÉRMICOS DE LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA QUE CUANTIFIQUE  
Y VERIFIQUE LAS VARIABLES PARA UNA CORRECTA REALIZACIÓN DEL  
ENSAYO JOMINY BAJO LA NORMA ASTM-A255**

**JORGE SEBASTIAN RODRIGUEZ RINCON**

**DAVID ALEJANDRO SABOGAL GUTIERREZ**

Proyecto integral de grado para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Orientador

Edgar Arturo Chala Bustamante

Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Edgar Arturo Chala Bustamante

Firma del presidente Jurado

---

Nombre

---

Nombre

Firma del Jurado

---

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá D.C \_\_\_\_\_ de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. ALEXANDRA MEJIA GARZÓN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUÍS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. MARÍA ANGÉLICA ACOSTA PÉREZ

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí para cumplir mis metas personales. Dedico con todo mi corazón este momento para mi familia. Gracias por su amor, comprensión y sacrificio enseñándome el valor más importante de la vida que es el de la humildad. Agradecido eternamente con mi abuelo Jorge, mi madre Yiseth, mi tía Natalia, a Gabor, mi abuela Gloria, mi hermana Zara y a Zabri. También doy las gracias a todos los docentes que en su mayoría aportaron en mi formación como estudiante y persona.

*Jorge Sebastián Rodríguez Rincón*

Dedico este gran logro a mis padres, que fueron los pilares más influyentes e importantes durante toda esta gran etapa de mi vida, que me aconsejaron tanto en los buenos como en los malos momentos y que siempre conté (y contaré) con su apoyo y amor incondicional. Así mismo, por su carisma y su forma de ser, del cual aprendí, que lo más importante en esta vida es cumplir los sueños que me proponga y nunca rendirme.

*David Alejandro Sabogal Gutiérrez*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores de este proyecto agradecen en primer lugar a Dios por la oportunidad de llevar a cabo con éxito lo que se planteó durante todos los semestres.

En segundo lugar, a nuestras familias por el esfuerzo, sacrificio y apoyo brindado en esta etapa tan importante y significativa en nuestras vidas.

En tercer lugar, a todos los docentes y en especial a nuestro director que nos guio con sus aportes en este proyecto, directivos y demás cuerpos administrativos por hacer de la Fundación Universidad de América nuestro segundo lugar.

Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1. Antecedentes	15
1.2. Pregunta de investigación	19
1.3. Justificación	19
1.4. Hipótesis	20
1.5. Objetivo general	20
1.6. Objetivos específicos	21
1.7. Delimitación	21
1.8. Metodología	22
<b>2. TRATAMIENTO TERMICO DE LOS ACEROS</b>	<b>23</b>
2.1 Principales tratamientos térmicos	24
2.1.1 Temple	24
<b>3. ACEROS</b>	<b>25</b>
3.1 Nomenclatura	25
<b>4. ENSAYO JOMINY</b>	<b>26</b>
4.1 Procedimiento	26
<b>5. NORMA ASTM-A255</b>	<b>28</b>
5.1 Dimensiones principales	28
<b>6. TEMPLE</b>	<b>30</b>
6.1 Factores que influyen en el temple	30

<b>7. TEMPLABILIDAD</b>	<b>31</b>
<b>7.1 Factores que afectan la templabilidad</b>	<b>31</b>
<i>7.1.1 El tamaño de grano de la austenita</i>	<b>31</b>
<i>7.1.2 El contenido de carbono</i>	<b>31</b>
<b>7.2 DIAGRAMAS</b>	<b>31</b>
<i>7.2.1 Diagrama Jominy</i>	<b>31</b>
<i>7.2.2 Diagrama TTT</i>	<b>32</b>
<b>8. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO</b>	<b>34</b>
<b>8.1 Selección final de alternativa</b>	<b>36</b>
<b>8.2 Método de selección de diseño</b>	<b>39</b>
<i>8.2.1 Criterios a emplear</i>	<b>40</b>
<b>9. DISEÑO CONCEPTUAL</b>	<b>43</b>
<b>10. DISEÑO DE TANQUES</b>	<b>45</b>
<b>10.1 Tanque porta probetas</b>	<b>45</b>
<i>10.1.1 Volumen del agua</i>	<b>45</b>
<i>10.1.2 Espesor de pared del tanque porta probetas</i>	<b>46</b>
<i>10.1.3 Diseño anillo porta probetas</i>	<b>47</b>
<i>10.1.4 Proceso de soldadura</i>	<b>51</b>
<i>10.1.5 Soldadura tanque porta probeta</i>	<b>53</b>
<b>10.2 Diseño tanque alimentador</b>	<b>58</b>
<i>10.2.1 Parámetros de diseño</i>	<b>58</b>
<i>10.2.2 Espesor de pared del tanque alimentador de agua</i>	<b>58</b>
<i>10.2.3 Soldadura tanque alimentador</i>	<b>59</b>



<b>11. SISTEMA HIDRAULICO</b>	<b>64</b>
<b>11.1 Calculo tuberías</b>	<b>64</b>
<i>11.1.1 Diámetros de succión y descarga</i>	<b>65</b>
<b>11.2 Altura de la bomba</b>	<b>67</b>
<i>11.2.1 Altura de succión</i>	<b>67</b>
<i>11.2.2 Altura de descarga</i>	<b>71</b>
<b>11.3 Cabeza de succión positiva neta (NPSH)</b>	<b>74</b>
<i>11.3.1 Presión del vapor del líquido a temperatura de bombeo</i>	<b>75</b>
<b>11.4 Potencia de la bomba</b>	<b>76</b>
<b>11.5 Ciclo del uso del agua</b>	<b>78</b>
<b>12. CONTROL Y VERIFICACION DE VARIABLES</b>	<b>79</b>
<b>13. DISEÑO APLICATIVO</b>	<b>85</b>
<b>14. GUIA DE LABORATORIO</b>	<b>88</b>
<b>15. COSTOS</b>	<b>103</b>
<b>15.1 Análisis de costos</b>	<b>104</b>
<b>16. CONCLUSIONES</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Etapas de un tratamiento térmico	23
Figura 2. Sistema ANSI – SAE de nomenclatura	25
Figura 3. Dispositivo para ensayo Jominy	27
Figura 4. Dimensiones muestra de prueba en apoyo	29
Figura 5. Temple de materiales	30
Figura 6. Diagrama Jominy	32
Figura 7. Diagrama TTT	33
Figura 8. Diseño propuesto	35
Figura 9. Máquina actual en el laboratorio	36
Figura 10. Diagrama de caja negra	43
Figura 11. Diagrama de caja negra ampliada	44
Figura 12. Análisis sin anillo	48
Figura 13. Anillo de la porta probeta	48
Figura 14. Ubicación del anillo	49
Figura 15. Análisis de calor con el anillo	50
Figura 16. Anillo con el agujero	51
Figura 17. Soldadura a tope	53
Figura 18. Electrobomba	77
Figura 19. Sensor de temperatura	80
Figura 20. Sensor de flujo	80
Figura 21. Sensor de nivel de agua	81

Figura 22. Display para sensores	82
Figura 23. Diagrama sensores	83
Figura 24. Forma en Excel	85
Figura 25. Registro valores dureza	86
Figura 26. Información impresa	87

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Análisis DOFA	34
Tabla 2. Alternativas finales	37
Tabla 3. Asignación de ponderación	40
Tabla 4. Ponderación de criterios	41
Tabla 5. Ponderación lineal	41
Tabla 6. Cálculo de método Scoring para cada alternativa	42
Tabla 7. Diagrama de Moody	69
Tabla 8. Presión de vapor de agua	75
Tabla 9. Simbología diagrama	83
Tabla 10. Análisis de costos	103

## INTRODUCCIÓN

El ensayo Jominy es aquel donde su propósito es el de determinar la dureza de alguno metal, este proceso consiste en calentar una probeta a una temperatura de austenización por medio de una estufa, mufla o algún método electromagnético que ayude a llegar a este punto. Una de las principales variables es la temperatura, ya que en ese estado podemos encontrar elementos dentro del material que hacen viable un buen procedimiento y unas correctas interpretaciones al final. Una vez se alcance la temperatura de la probeta, esta es llevada a una estructura que tiene ciertas dimensiones para que quede suspendida. Debajo de esta estructura hay una manguera que lanza un chorro de agua con un caudal constante que proporciona una bomba para evitar variaciones en los resultados. El chorro tiene una altura determinada, entre la parte de debajo de la probeta y la boquilla de la manguera, esto según la norma ASTM-A255 que rige las normativas para un ensayo de templabilidad. El agua golpea la probeta caliente durante 10 o 13 minutos según corresponda el metal, durante este lapso no debe de existir algún otro agente que pueda afectar el resultado de los datos. El material se va a enfriar de manera progresiva longitudinalmente y lo que se espera es que la dureza no sea la misma en toda la probeta debido al gradiente existente al momento del choque térmico. Una vez se haya completado el tiempo dejará de fluir agua y el material, que ya no estará tan caliente, se le hará un pequeño desbaste de aproximadamente 4mm por un lado para realizarle una prueba de dureza con un durómetro y así determinar en qué grado cambio las propiedades mecánicas del metal.

Para este ensayo podemos encontrar una serie de graficas que nos permiten visualizar el cambio de temperatura o transformación del material a través del tiempo, así mismo se establece unas graficas de dureza

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los laboratorios de la Fundación Universidad de América tienen varios equipos para el estudio y análisis de las propiedades de los aceros, estos cumplen una función importante para la comprensión y el conocimiento de las principales aleaciones que se usan diariamente en los diferentes mercados. Con el tiempo, la Universidad ha obtenido nuevos dispositivos que demuestran resultados más precisos, confiables y fiables, dando una mejor experiencia para el estudio de estos materiales. Dentro del plan de estudio de la Universidad existe una asignatura que aborda la temática referente a los tratamientos térmicos, donde se realizan prácticas de laboratorio que consisten en aumentar la temperatura del material y que posteriormente se enfría en diferentes medios (agua, aceite o aire), esto es, para analizar las diferentes reacciones que puedan tener las propiedades del acero. En la actualidad, el laboratorio de tratamientos térmicos consta de un equipo que fue diseñado sin alguna normativa para el ensayo de templabilidad el cual no valida de manera efectiva las variables involucradas que exige la norma ASTM-A255 que contempla parámetros mínimos para que este tipo de ensayos se realicen de manera correcta. Además, el equipo no está diseñado para una recirculación del agua generando un uso no responsable de esta, lo que conlleva en un impacto ambiental negativo cada vez que se usa el dispositivo. Para la realización de un buen análisis que cumpla los estándares de la norma ASTM-A255 referente al ensayo Jominy, es necesario la consolidación del diseño de un equipo que cumpla con dichos estándares de manera que se obtengan resultados confiables y precisos. De manera que se puedan controlar las variables involucradas en dicho ensayo como lo son la temperatura de la probeta, la temperatura del agua del tanque, el caudal, el volumen del tanque y la altura del chorro. En el mercado se encuentran dispositivos para realizar el ensayo Jominy, sin embargo, no es claro que tengan en cuenta las variables a controlar según lo estipulado en la norma ASTM-A255, algunos son muy básicos ya que solo constan de una estructura de montaje y una cámara sellada donde se realiza el contacto entre el material caliente y el fluido de enfriamiento.

## 1.1 Antecedentes

Los tratamientos térmicos son procesos controlados que son usados para modificar las propiedades mecánicas de los componentes según las necesidades del funcionamiento. Estos procesos involucran diversos factores como el tipo de material, la temperatura, la velocidad de enfriamiento y el tiempo expuesto al tratamiento.

Bajo este contexto el presente documento consolida una propuesta para contribuir al estudio de los tratamientos térmicos en la Fundación Universidad de América. Actualmente en la universidad, se realizan pruebas de templabilidad con algunos aceros incrementando la temperatura, pero no se tiene un equipo para realizar procesos con velocidades de enfriamiento controladas.

Con el diseño de la máquina para ensayos Jominy se pretende consolidar un proceso controlado con el fin de obtener análisis más precisos. El equipo se regirá bajo la norma ASTM A225 que especifica los requerimientos para realizar un ensayo de templabilidad.

En la exploración del fenómeno de interés y buscando una solución o alternativa a la problemática que se ajuste a la realidad, sensata, enfocada y viable de desarrollo, se dio a la tarea de revisar la literatura existente, buscando antecedentes de estudios previos, investigaciones, proyectos o artículos similares o relacionados, que permitan construir una base sólida para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

En el artículo titulado **DEVELOPMENT AND FINANCIAL ANALYSIS FOR THE ELABORATION JOMINY TEST DEVICE: CONCEPTION OF AN ENGINEERING PROJECT FROM THE POINT OF VIEW UNDERGRADUATE STUDENTS** de los autores Luís Gustavo Fortes Ferreira Giroto, Giulliano Assis Soderro Boaventura, Renann Pereira Gama, Regina Elaine Santos Cabette, Wilson de Freitas Muniz, Ramon Oliveira Borges dos Santos, Carlos Dolberth Jaeger, Pedro Henrique Colman Prado, Thiago Averaldo Bimestre, Joselito Moreira Chagas, Luiz Felipe Freire Honorato, Mariana Ferreira Benessiuti Motta, Livya Vitoriano Morando de Oliveira, Leonardo César da Silva, Beatriz Santos, Luiz Gustavo Lameu Marques, Cesar Augusto Botura publicado en International Journal of Advanced Engineering Research and Science en el año 2020, se enfoca principalmente en realizar un estudio sobre tipos de aceros, tratamientos térmicos

y sus características, componentes, ensayos, con el fin de agregar conocimientos y habilidades para poder diseñar un dispositivo para las pruebas de templabilidad de Jominy. El proyecto está alineado con el objetivo de realizar un análisis cuantitativo y cualitativo en el proyecto de prueba Jominy desarrollado por estudiantes de ingeniería mecánica, en particular en cuanto a habilidades y rendimiento, en de forma multidisciplinar, trabajo en grupo, contexto, diseño y diagnóstico.[1]

El presente trabajo da un punto de partida para determinar las consideraciones iniciales en cuanto a temática del proyecto, también da fundamentos simples como generar bocetos físicos que sirve como punto de inicio del diseño.

En el artículo titulado **DEVELOPMENT OF AUTOMATIC JOMINY TEST APPARATUS** de los autores Masakatsu UENO, Katsuji NAKAMURA, Kametaro ITO, Hiroyuki MINEMATSU publicado en J-STAGE en el año 1982, Se desarrollo un aparato de prueba Jominy, cuyas características son las siguientes: [2]

1. Adopción de la muestra de prueba más pequeña (convencional: 25 mm tipo nuevo: 10 mm), que permita aplicación del método de prueba Jominy a los productos más delgados hasta ahora es extremadamente difícil.
2. Adopción del método de calentamiento por inducción, lo que resulta en una velocidad de calentamiento rápida.
3. Adopción del presente sistema de control, mediante el cual el patrón de calentamiento deseado simula el real se pueden obtener condiciones de calentamiento.
4. Adopción del sistema de control de secuencia completamente automático.

A través de este estudio se evidencian las consideraciones al entorno y el espacio específico que va a ocupar la máquina, en este caso un laboratorio, que se deben tener a la hora de comenzar con el diseño.

En la norma titulada **STANDARD TEST METHODS FOR DETERMINING HARDENABILITY OF STEEL DE ASTM INTERNATIONAL** afirma que, este método de prueba cubre el procedimiento para determinar la templabilidad del acero mediante la prueba de temple final o Jominy. La prueba consiste en enfriar con agua un extremo de una muestra de prueba cilíndrica de 1.0 pulgada de diámetro y medir la respuesta de



endurecimiento en función de la distancia desde el extremo enfriado. Estos métodos de prueba cubren la identificación y descripción de métodos de prueba para determinar la templabilidad de los aceros. La selección del método de prueba que se utilizará para determinar la templabilidad de un acero dado se acordará entre el proveedor y el usuario. El Informe de prueba de material certificado deberá indicar el método de determinación de la templabilidad. [3]

Para el presente trabajo brinda las normas esenciales para llevar a cabo el ensayo Jominy. Además, brinda información clara sobre las variables involucradas en el diseño y práctica de este tipo ensayo.

En el artículo titulado **EMS-45 TOOL STEELS HARDENABILITY EXPERIMENT USING JOMINY ASTM A255 TEST METHOD** de los autores Syamsul Hadi, Eddy Widiyono, Winarto, Dedy Z. Noor publicado en The Journal for Technology and Science en el año 2013 contempla que, antes de someterse a la prueba de Jominy, las muestras se le han dado el tratamiento térmico con el tiempo de calentamiento de 40 minutos y la variación de temperatura de 900 C, 860 C, y 830 C. La dureza disminuyó para la ubicación lejana desde la punta. La diferente dureza se mostró claramente en la distancia de 25 mm desde la punta. A esta distancia los valores de dureza para la variación de temperatura de 900 C, 860 C y 830C fueron 48 HRC, 35 HRC y 22 HRC, respectivamente. La temperatura más alta dio más capacidad para que el grano de austenita crezca en tamaño y en átomos, la difusión se produjo correctamente hasta que la condición homogénea se alcanzó. Además, las muestras se enfriaron rápidamente, de modo que aparecen tensiones residuales y microestructura. [4]

El presente artículo proporciona conocimiento acerca de la importancia de que la probeta mantenga una temperatura mínima a la hora de iniciar el ensayo Jominy, esto permite que las gráficas que se generan para representar el enfriamiento muestren el gradiente de enfriamiento de manera asertiva.

El artículo denominado **EFFECTS OF WATER JET HEIGHT AND END DIPPING ON THE COOLING RATE AND HARDENABILITY IN THE JOMINY END QUENCH TEST** del autor Joong-Ki Hwang publicado en Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) en el año 2021, se investigaron los efectos de la altura del chorro de agua y la

inmersión final sobre la velocidad de enfriamiento y la capacidad de endurecimiento en la prueba de temple final de Jominy para comprender la prueba de Jominy con más detalle. Se llevaron a cabo pruebas experimentales en condiciones de enfriamiento por inmersión final, así como para alturas de chorro de agua específicas de 35, 65 y 100 mm. El comportamiento térmico y las propiedades mecánicas de la muestra de Jominy con región se evaluaron utilizando termopares y medidas de dureza, respectivamente. [5]

Por medio de este estudio se puede apreciar la importancia de la altura del chorro ya que este se debe regir bajo una norma para obtener valores estandarizados, y que este se tiene que mantener constante para no alterar los resultados.

El documento técnico titulado **DESIGN AND FABRICATION OF JOMINY END-QUENCH TESTING MACHINE: HARDENABILITY EVALUATION OF AISI-8620 CASE-HARDENING STEEL DE ASTM COMPASS** del año 2017 se diseñó y fabricó una máquina de pruebas de enfriamiento final Jominy siguiendo la norma ASTM-A255, Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel, a través del diseño asistido por ordenador. El diseño posee la novedad de reciclaje de agua, torre de refrigeración, indicador de nivel de agua, e interfaz fácil, y es compatible con el medio ambiente. Se ha realizado una prueba de evaluación de la solidez del acero endurecible para cajas AISI-8620 en la máquina. Los resultados confirmaron que el AISI-8620 alcanzó la dureza máxima de 43,6 HRC en su extremo de enfriamiento mediante el enfriamiento por agua. Los estudios metalográficos revelan la formación de una cantidad suficiente de martensita y otras microestructuras como austenita retenida, bainita, sorbita y perlita. [6]

Por medio del documento se puede tener una base sobre el diseño del dispositivo por medio de software, además de brindar información sobre componentes del sistema.

En el documento **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA MAQUINA DE ENSAYO JOMINY PARA LA DETERMINACIÓN DE TEMPLABILIDAD DE ACEROS ALEADOS SEGÚN NORMA ASTM A255 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA DE LA UCSM** de los autores Alarcón Llerena Guillermo Manuel y Berrocal Rojas Carlos Alberto presentada en el 2018, expone de forma

específica las dimensiones y procedimientos a realizar de cada parte y componente de una máquina para ensayo Jominy, donde existen parámetros de diseño y cálculos mínimos. [7]

Por otro lado, dispone de las gráficas TTT (Tiempo – Temperatura – Transformación) que analizan las curvas de enfriamiento de la probeta durante todo el ensayo.

En el documento **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA** de los autores Diego Felipe Garzón Cagüño y Cesar David Mosquera Salazar, expuesto en el año 2021 en la Universidad Antonio Nariño, se analiza la construcción y verificación de operación de una máquina para ensayo Jominy, aunque el calentamiento de la probeta se debe a una inducción electromagnética, el diseño de esta se rige bajo la norma ASTM-A255 que da a lugar a la finalidad de este proyecto. [8]

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿El diseño de la maquina garantiza la realización de un ensayo Jominy bajo los estándares de la norma ASTM-A255?

## **1.3 Justificación**

Tomando como referente el curso de tratamientos térmicos para la práctica de ensayo Jominy, el laboratorio cuenta con un dispositivo de enfriamiento controlado muy simple, el cual permite el enfriamiento de la probeta mas no tiene la capacidad de verificar las variables que se rigen bajo la norma ASTM-A255. El equipo utilizado actualmente en los ensayos de templabilidad no es el adecuado ya que su diseño no permite saber si las variables están en condiciones óptimas para llevar a cabo este. Así mismo en el mercado se ofrece este tipo de dispositivos desde precios muy bajos hasta precios altos. Los dispositivos de bajo costo no cuentan con ningún tipo de estudio de diseño ni de control, además de ser fabricados de manera rudimentaria. Por otro lado, los dispositivos de precio alto no tienen claros que tipo de norma usan para certificar la efectividad de esta.

De este modo ninguno verifica si las variables son óptimas para llevar a cabo el ensayo con éxito. Con base a lo expuesto anteriormente, es necesario un equipo en el cual se pueda confiar a la hora de realizar estos ensayos y que se adapte a las necesidades (espacio, ubicación, suministro independiente de agua) del laboratorio de tratamientos térmicos. También el equipo tiene que ser fiable a la hora de validar las variables involucradas con el objetivo de concluir el ensayo exitosamente. El diseño propuesto tiene como fin cuantificar y verificar las variables presentes en el ensayo Jominy, para cumplir con esto se hará uso de instrumentos de medición y control (electroválvula, sensor capacitivo, sensor de temperatura, bomba, termómetro) de las variables que son: temperatura del tanque de agua, temperatura de la probeta, caudal, altura de chorro y volumen del tanque de agua. Así mismo el diseño de la estructura se adaptará al espacio del laboratorio ajustándose a una geometría determinada, por ende, será validado por medio de un software que certifique que el equipo cumple con los estándares de seguridad. Usualmente para este tipo de ensayos los equipos tradicionales hacen uso del agua de manera indiscriminada debido a que cae directamente al sifón una vez el chorro alcanza la altura ideal, sin contemplar ningún tipo de recirculación que ayude a mitigar el impacto ambiental que genera. Para este proyecto se tendrá como prioridad disminuir esta problemática por medio de un tanque de recirculación del agua que cae en el sifón, que se usará de nuevo en el mismo proceso, verificando que la temperatura durante el ensayo este dentro del rango establecido en la norma ASTM-A255.

#### **1.4 Hipótesis**

La consolidación del diseño de una máquina de ensayo Jominy para la Fundación Universidad de América constituye una alternativa viable a materializar en un futuro frente a los dispositivos ofrecidos actualmente en el mercado, la cual permite tener un control más efectivo y preciso de las variables a un menor costo económico.

#### **1.5 Objetivo general**

Diseñar una máquina para el laboratorio de tratamientos térmicos de la Fundación Universidad de América que cuantifique las variables para una correcta realización del ensayo Jominy bajo la norma ASTM-A255.

## 1.6 Objetivos específicos

- Análisis de los beneficios y limitaciones de las maquinas que se ofrecen en el mercado.
- Consolidar un diseño que solucione las limitaciones que se tienen con los equipos en la actualidad.
- Evaluar los costos del desarrollo y fabricación del equipo

## 1.7 Delimitación

En la presente propuesta de proyecto de grado se incluyen las áreas de conocimiento de ingeniería mecánica, relacionadas con las ramas de diseño, automatización, y tratamientos térmicos con el objetivo de diseñar una máquina para ensayo Jominy en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Fundación Universidad de América. El proyecto se desarrollará entre noviembre de 2021 y mayo de 2022.

En primer lugar, el proyecto dará inicio realizando una revisión de la bibliografía acerca de propuestas similares implementadas en instituciones académicas que servirán como antecedentes, también se indaga en máquinas de ensayo Jominy disponibles en el mercado con el fin de identificar las carencias. También se hará uso de la norma ASTM-A255 para identificar las normas estandarizadas en pro de desarrollar el diseño de manera correcta.

Posteriormente, con ayuda de textos sobre diseño mecánico, se identificarán las variables involucradas en el diseño a realizar. Se tomarán las variables más representativas que permitan que el diseño a consolidar tenga una alta fiabilidad para poder ser usado. Se analizarán las opciones de diseño tomando las variables identificadas anteriormente como eje principal del análisis. Después se selecciona la mejor alternativa que cumpla con las variables y los requisitos contemplados en la norma ASTM-A255. Se hará uso de software CAD y CAM para la validación del diseño de manera que si satisfaga los estándares de diseño.

Por otra parte, cuando el diseño se ha consolidado bajo los estándares ya establecidos y cumpla con los factores que lo hacen la opción apropiada se procederá a generar los planos de los diferentes componentes de la máquina. Los planos se realizarán con ayuda de software como Solid Edge o Solid Works.

Los presentes autores de la propuesta se comprometen a entregar los planos de la máquina de ensayo Jominy, las respectivas guías para la realización de dicho ensayo, los costos de diseño y fabricación. El diseño no incluye la fabricación de éste.

### **1.8 Metodología**

La metodología para usar en el desarrollo de la propuesta es de tipo descriptivo en donde se identifican los procesos y las variables para tener en cuenta para la consolidación del diseño del equipo. Estas variables serán obtenidas por medio de un análisis y su posterior simulación, donde se evidenciará la seguridad del diseño, de los materiales y a la alta exposición de calor. Este diseño cumplirá con todos los estándares que exige la norma ASTM A255, que da las pautas para realizar ensayos de templabilidad estandarizados.

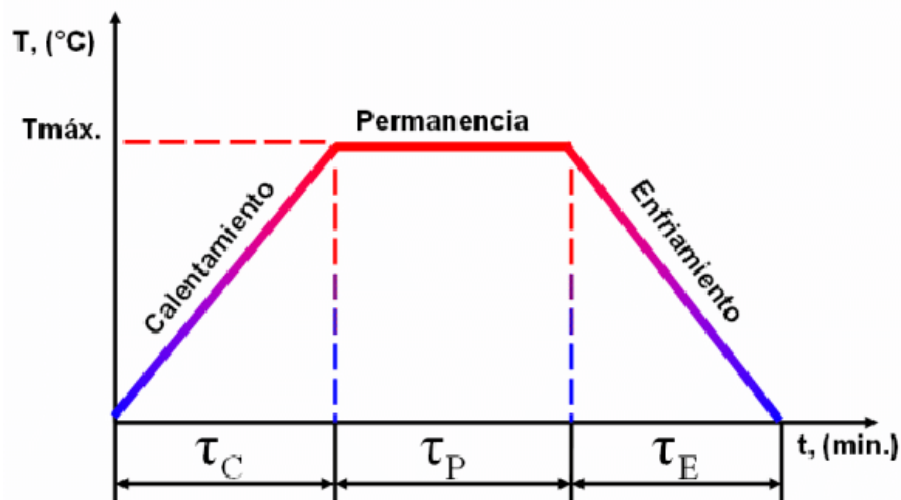
## 2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

Son diferentes procesos de enfriamiento y calentamiento realizados con el fin de modificar características de un acero. Los tratamientos térmicos tienen por objeto mejorar las propiedades y características de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas, durante un cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones convenientes. De esta forma, se modifica la estructura microscópica de los aceros, se verifican transformaciones físicas y a veces hay también cambios en la composición del metal [9]

Como se observa en el gráfico de la figura 1 el tratamiento térmico trata de tres etapas: calentamiento, permanencia, enfriamiento

**Figura 1.**

Etapas de un tratamiento térmico



**Nota:** Gráfico de representación general de un tratamiento térmico. Tomado de: I. Rodríguez, Y. Díaz, A. Fiol, N. Caballero, "Método para el cálculo de hornos metódicos de pozo para el revenido de aceros" La Habana, Cuba, nov, 2012. [PDF]. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/308417027 Metodo para el calculo de hornos metodicos de pozo para el revenido de aceros Metodo para el calculo de hornos metodicos de pozo para el revenido de aceros](https://www.researchgate.net/publication/308417027_Metodo_para_el_calculo_de_hornos_metodicos_de_pozo_para_el_revenido_de_aceros_Metodo_para_el_calculo_de_hornos_metodicos_de_pozo_para_el_revenido_de_aceros) .Acceso: agos, 09, 2022.

## **2.1 Principales tratamientos térmicos**

### **2.1.1 Temple**

El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados. [10]



### 3. ACEROS

El acero es una aleación de hierro con carbono en una proporción que oscila entre 0,03 y 2%. Se suele componer de otros elementos, ya inmersos en el material del que se obtienen. Pero se le pueden añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades. [11]

#### 3.1 Nomenclatura

La nomenclatura de los aceros nos permite clasificarlos para su aplicación y también el tipo de acero, el porcentaje del material aleante y el porcentaje de carbono que contiene (figura 2). El AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers) tienen sistemas para clasificar los aceros utilizando un número de cuatro o cinco dígitos. [12]

#### Figura 2

Sistema ANSI – SAE de nomenclatura



**Nota:** Clasificación de los aceros. Tomado de: A. M. Marín. (2016). "CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS". [Soldadura y Estructuras]. [En línea].

<http://soldadurayestructuras.com/clasificacion-de-los-aceros-1.html>. [Acceso: 09, ago, 2022].

## 4. ENSAYO JOMINY

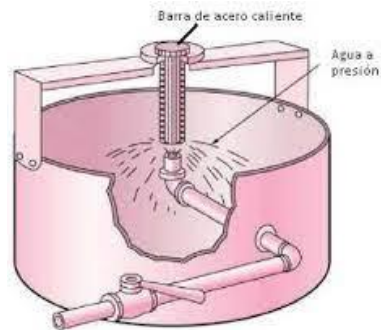
El ensayo Jominy es un procedimiento que permite determinar la templabilidad de una probeta de acero estandarizada por la norma ASTM -A255. El ensayo Jominy es recibido de buena manera en el contexto de los tratamientos térmicos debido que desde sus inicios ha aportado resultados importantes dentro del contexto educativo.

### 4.1 Procedimiento

- 1- Una probeta normalizada de 25 mm de diámetro y 100 mm de longitud se lleva a la temperatura de austenización el tiempo necesario para conseguir que la estructura se convierta en austenita. [13]
- 2- Se saca del horno, y el extremo de la pieza se temple mediante un chorro de agua de caudal y temperatura constante, de manera que la velocidad de enfriamiento es máxima en el extremo templado y disminuye a lo largo de la probeta. [13]
- 3- Una vez que la probeta se ha enfriado a temperatura ambiente, se desbasta una tira de 0,4 mm de espesor y se determina la dureza a lo largo de los primeros 50 mm. Se traza una curva de templabilidad, representando los valores de dureza en función de la distancia al extremo templado. [13]

### Figura 3

Dispositivo para ensayo Jominy



**Nota:** Representación de un dispositivo Jominy. Tomado de: P. Arriagada, "Laboratorio A: Ensayo Jominy" Santiago de Chile, Chile,9,oct,2012.[PDF].Disponible: [https://nanopdf.com/download/ensayo-jominy-u\\_pdf](https://nanopdf.com/download/ensayo-jominy-u_pdf) . Acceso: ago,09,2022.

## 5.NORMA ASTM-A255

Las normas ASTM son una serie de normas técnicas para desarrollo de investigaciones y proyectos. La norma ASTM-A255 dice que estos métodos de prueba cubren la identificación y descripción de métodos de prueba para determinar la templabilidad de los aceros. Los dos métodos de prueba incluyen el temple final cuantitativo o prueba de Jominy y un método para calcular la templabilidad del acero a partir de la composición química basado en el trabajo original de MA Grossman. [14]

### 5.1 Dimensiones principales

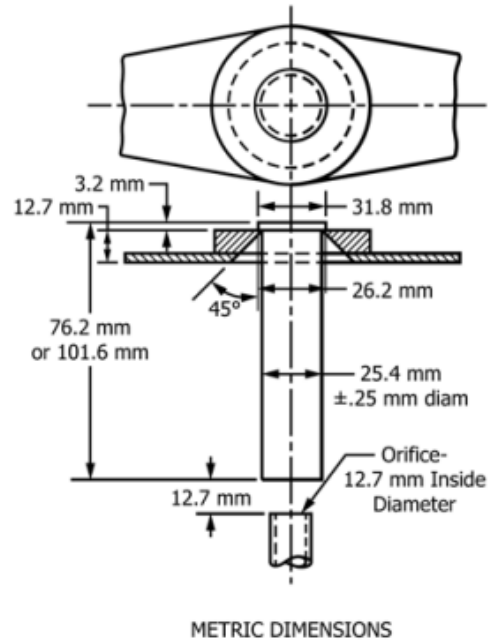
La norma ASTM -A255 nos da información muy clara sobre el ensayo Jominy, una de las más importantes es la de las dimensiones principales como lo son:

- Elevación libre del chorro de agua:63.5 mm
- Orificio del chorro de agua :12,7 mm
- Distancia entre la cara inferior de la probeta y el orificio de salida de agua:12.7mm
- Temperatura del agua:5°c a 30°c
- Mínimo de tiempo de contacto entre la probeta y el agua: no menos de 10 min

Las demás dimensiones como ángulos, largo, ancho y otras se encuentran en la figura 4.

## Figura 4

Dimensiones muestra de prueba en apoyo



**Nota.** La figura muestra las dimensiones de la probeta en estado de apoyo. Tomado de: ASTM, "Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel", West Conshohocken, PA 19428-2959. United States. [PDF]. Disponible: <https://www.astm.org/Standards/A255.htm> [Acceso: ago,9,2022].

## 6.TEMPLE

Anteriormente, en este documento, se realizó una pequeña definición de los principales tratamientos térmicos (recocido, temple, revenido, normalizado), ahora nos enfocaremos en el temple ya que es uno de los principales tratamientos térmicos involucrado en el ensayo Jominy. El temple es un tratamiento térmico que consiste en el calentamiento del acero, a una temperatura generalmente por encima del punto crítico superior y luego enfriarlo bruscamente en un medio líquido o gaseoso y a veces por contacto con un sólido. [15]

### 6.1 Factores que influyen en el temple

- Composición del acero. [16]
- Temperatura a la que se hay que calentar. [16]
- Tiempo de calentamiento. [16]
- Velocidad de enfriamiento. [16]
- Características del medio donde se realiza el temple. [16]
- Tamaño y geometría de la pieza. [16]

### Figura 5

Temple de materiales



**Nota:** Temple en la industria. Tomado de: Formación Mecanizado. (s.f)."Temple de materiales".[En línea]. <https://formacionmecanizado.com/temple-tratamiento-termico-mecanizado/> .[Acceso: ago 9, 2022].

## **7. TEMPLABILIDAD**

Es una propiedad que permite medir la profundidad y distribución de la dureza después de un proceso de templado. La capacidad de un acero aleado para transformarse en martensita durante un determinado temple depende de la composición química y está relacionada con un parámetro denominado templabilidad. [17]

### **7.1 Factores que afectan la templabilidad de los aceros [18]**

#### ***7.1.1 El tamaño de grano de la austenita***

Un grano muy fino tiene mucha área de límite de grano que facilita la nucleación de ferrita y perlita, disminuyendo la templabilidad del acero. Por otra parte, un grano grande de austenita no es deseable por que reduce la ductilidad final

#### ***7.1.2 El contenido del carbono***

Un incremento del contenido de C en un acero aumenta fuertemente su dureza y su templabilidad. Sin embargo, un alto % de C no siempre es deseable, por eso, una alternativa para aumentar la dureza de un acero de bajo C es añadir elementos de aleación

Elementos de aleación Ninguno de los factores anteriores se usa específicamente para aumentar la templabilidad, esto se logra principalmente mediante la adición de elementos de aleación al acero, exceptuando el Cobalto.

### **7.2 Diagramas**

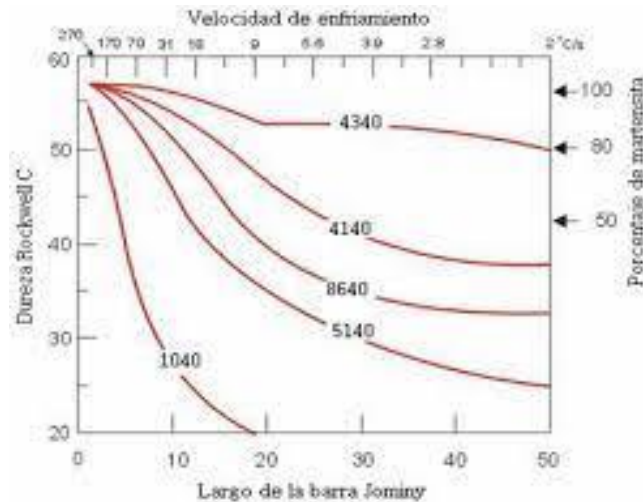
#### ***7.2.1 Diagrama de Jominy***

Las curvas Jominy obtenidas en las gráficas, nos dan una idea de la templabilidad de un acero. Un acero será más templable cuanto menor sea la caída de la dureza, en la medida que se aleja del extremo enfriado. En la figura 6, se observa que la templabilidad aumenta en función del contenido de C, pero es muy importante el

elemento aleante que acompaña al acero, los aceros al Molibdeno, son mucho más templeables que los aceros al C. [19]

## Figura 6

Diagrama Jominy



**Nota:** Gráfico curvas Jominy para diferentes aceros. Tomado de: D. Villavicencio, "Ensayo jominy", 5, oct, 2017. [PDF]. Disponible: [https://dadospdf.com/download/como-veremos-mas-adelante-5a44a08ab7d7bc891f717811\\_pdf#](https://dadospdf.com/download/como-veremos-mas-adelante-5a44a08ab7d7bc891f717811_pdf#). Acceso: ago, 09, 2022.

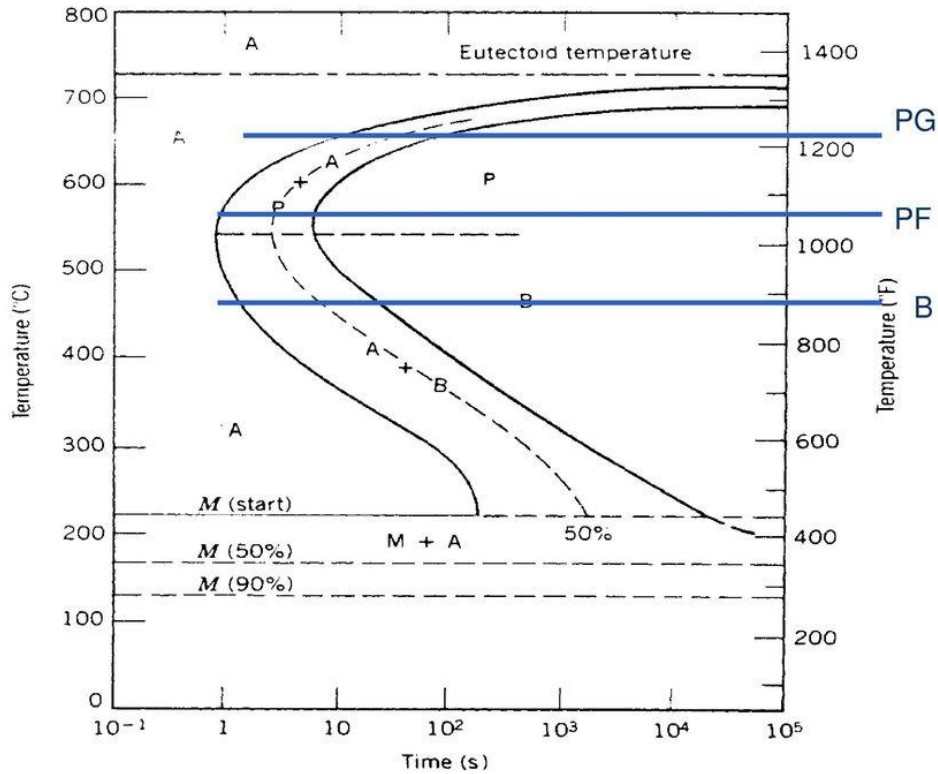
### 7.2.2 Diagrama TTT

Un diagrama TTT (temperatura, tiempo, transformación), Figura 7, resume las posibles transformaciones de la austenita para cada acero, imprescindibles tanto para el diseño de tratamientos térmicos como para la interpretación de las microestructuras resultantes después de los mismos. Su construcción experimental se realiza mediante un determinado número de muestras de acero que, previamente austenizadas, se enfrían en baños de sales a diferentes temperaturas y tiempos determinados. La microestructura obtenida en cada una de las muestras se analiza y representa, obteniéndose así el diagrama TTT para ese acero. [20]



**Figura 7**

Diagrama TTT



**Nota:** Gráfica TTT de un acero. Tomado de: M. I. Henriquez, "Transformaciones de fases", Laboratorio de Materiales cujae, La Habana, Cuba, 2018. [Diapositivas de PowerPoint]. Disponible: <https://slideplayer.es/slide/12630145/>. Acceso: ago, 09, 2022.

## 8. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA DE DISEÑO

Se realizan un análisis de las alternativas de diseños que se encuentran en el mercado para determinar las ventajas y desventajas, las cuales se muestran por medio de la siguiente matriz DOFA:

**TABLA 1**

Análisis DOFA

MODELO	D(Debilidad)	O(Oportunidad)	F(Fortaleza)	A(Amenaza)
 <p style="text-align: center;"><b>DARA AGENCY</b> Jominy End Quench Test.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios elevados ya que se comercializa en moneda extranjera (nóbil).</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> <li>• Uso indebido de la norma ASTM A255 (medidas no relacionadas con las contempladas en la norma)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño óptimo y menos robusto para un mejor manejo en el espacio del laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brochure con información básica sobre el dispositivo.</li> <li>• Uso de controles eléctricos.</li> <li>• Uso de dispositivos de seguridad.</li> <li>• Uso de bomba y motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contempla el impacto ambiental.</li> <li>• Caudal insuficiente.</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>S. M. Engineers</b> Jominy End Quench Test</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios elevados ya que se comercializa en moneda extranjera (nóbil).</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> <li>• Uso indebido de la norma ASTM A255 (medidas no relacionadas con las contempladas en la norma)</li> <li>• Falta de brochure o catálogo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño óptimo y menos robusto para un mejor manejo en el espacio del laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de sistema eléctrico.</li> <li>• Uso de motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contempla el impacto ambiental.</li> <li>• No tiene correcto control sobre las variables involucradas.</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>HEAT CONCEPT</b> EASYPYLAB JOMINY</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de información sobre precio.</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> <li>• Carencia de brochure o catálogo.</li> <li>• Dimensiones muy grandes para el espacio de laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricada en acero inoxidable.</li> <li>• Tanque de alta capacidad (22 litros).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de controlador digital.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contempla el impacto ambiental.</li> <li>• Uso de una norma con actualización muy antigua (NF EN ISO 642 de 1999)</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>Jinan Liangong Testing Technology Co., Ltd.</b> Jominy testing apparatus for</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios elevados ya que se comercializa en moneda extranjera (dólar).</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> <li>• Dimensiones muy grandes para el espacio del laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricada en acero inoxidable.</li> <li>• Cuenta hasta con 6 puertos para probetas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco desperdicio de agua según información del brochure.</li> <li>• Agua suministrada por una bomba.</li> <li>• Ciclo automático del agua.</li> <li>• Control de temperatura.</li> <li>• Control de recirculación de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No suministra información sobre ningún tipo de norma internacional a la hora de realizar el diseño.</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>TECMICRO S.A</b> REMET - MAQUINA JOMINY</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INFORMACION INSUFICIENTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INFORMACION INSUFICIENTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INFORMACION INSUFICIENTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se rige bajo la norma EURONORM 23-71</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>Medilab Enterprises</b> Jominy End Quench</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de información sobre precio.</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> <li>• Carencia de brochure o catálogo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 puertos para probetas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INFORMACION INSUFICIENTE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de la norma SAE J406</li> </ul>
 <p style="text-align: center;"><b>MKP Equipments</b> JOMINY END QUENCH TEST</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de información sobre precio.</li> <li>• Costos adicionales de exportación e importación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño con dimensiones óptimas para el espacio del laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depósito de agua incorporado.</li> <li>• Sistema de recirculación motorizado.</li> <li>• Control de flujo de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de la norma SAE J406/IS 3848</li> </ul>

**Nota:** Análisis de alternativa del mercado.

Las máquinas que se encuentran actualmente en el mercado ofrecen diferentes características entre diseño, costos, operación, mantenimiento y confiabilidad. Se debe tener en cuenta que estas máquinas solo se comercializan en el mercado internacional, lo que conlleva a un incremento en el costo de adquisición debido a los trámites de importación. Por otro lado, como se detalló en el análisis DOFA, cada máquina está diseñada bajo una norma específica diferente y que a su vez no es la misma que se requiere para realizar el ensayo Jominy.

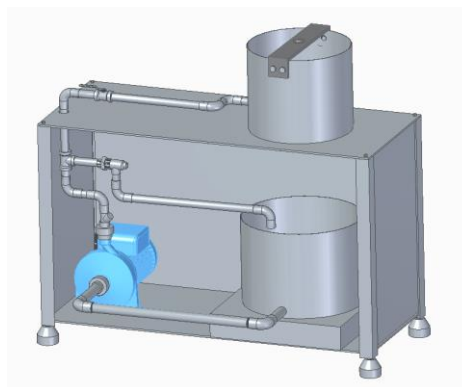
Cada máquina valida un buen ensayo dependiendo del procedimiento, es decir, aunque difieren en la norma bajo la cual está diseñada, los resultados son verídicos y confiables.

Propuesta de diseño:

A diferencia de las máquinas que podemos encontrar en el mercado, planteamos un diseño que cumpla con la norma establecida para un ensayo Jominy (ASTM A255), donde su costo de fabricación sea económico en comparación con las máquinas que se encuentran en el mercado y que sea confiable. Este diseño consta de una carcasa que mide 1 metro para una fácil operación, una bomba que impulsa el agua al caudal requerido por la norma, un panel de control y como valor agregado se considera un programa que grafica la velocidad de enfriamiento con respecto al tiempo, según el tipo de metal de la probeta.

## Figura 8

Diseño propuesto



**Nota:** Diseño propuesto en este proyecto.

Máquina de ensayo Jominy de la Universidad de América:

En el momento, la Universidad de América posee una máquina de ensayo Jominy donde su principal característica es de un diseño más compacto y liviano, posee un sistema que impulsa el agua y no se contempla una norma de diseño, por otro lado, no contiene un sistema de retroalimentación del agua lo que indica un desperdicio de esta misma, ya que una vez la probeta es alcanzada por el chorro del agua, esta termina yendo por el sifón.

### Figura 9

Maquina actual en el laboratorio



**Nota:** Diseño utilizado actualmente para la realización del ensayo. Tomado de:  
Universidad de América

### 8.1 Selección final de alternativas

En el análisis de mercado que se hizo anteriormente se concluyó que de las 8 máquinas que se encontraron, 4 fueron las más viables ya que la información obtenida verifica y valida un correcto ensayo Jominy. Por otro lado, las 4 máquinas restantes fueron descartadas debido a la poca o escasa información que el proveedor suministraba. Así, las maquinas seleccionadas para determinar cuál es la mejor opción son:

**Tabla 2.**

Alternativas finales

ALTERNATIVA	IMAGEN
<p><b>Alternativa 1</b> <b>DHARA AGENCY, INDIA</b> <b>AUTOMATICA</b> <b>S3848-1981 and ASTM-A255</b> <b>32.500 rupias = 1´659.483,96</b> <b>pesos colombianos</b></p>	
<p><b>Alternativa 2</b> <b>S. M. Engineers, INDIA</b> <b>AUTOMATICA</b> <b>S3848-1981 ASTM A-255</b> <b>40.000 rupias = 2´042.441,79</b> <b>pesos colombianos</b></p>	
<p><b>Alternativa 3</b> <b>HEAT CONCEPT, FRANCIA</b> <b>AUTOMATICA</b> <b>norma NF EN ISO 642 de 1999//</b> <b>Sin información del precio</b></p>	

<p><b>Alternativa 4</b>  <b>Liangong, china</b>  <b>Semiautomática</b>  <b>7.500 dólares americanos=29´934.975,00 pesos colombianos</b></p>	
<p><b>Alternativa 5</b>  <b>Diseño propuesto por los autores, automática</b></p>	
<p><b>Alternativa 6</b>  <b>Dispositivo actual que posee la Fundación Universidad de América</b></p>	

**Nota.** Selección de alternativa final.

## 8.2 Método de selección de diseño

De las alternativas que se discutieron anteriormente, todas son viables, cumplen con las expectativas de un ensayo y sus resultados son verídicos y confiables, entre ellos existen grandes diferencias que pueden llegar a ser grandes opciones o no, así mismo, a la hora de seleccionar alguna máquina se deben de tener ciertos parámetros para quedar conformes, ya sean económicos, por tamaño, por confiabilidad, por mantenimiento, etc. Para seleccionar el diseño que mejor se ajuste a las necesidades se utilizará el método Scoring, el cual, es un método estadístico para la selección de soluciones viables que clasifica en términos de importancia el desarrollo de problemas o proyectos para así determinar la mejor alternativa entre los diferentes diseños por medio de la siguiente ecuación: [21]

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

$r_{ij}$  es el rating de la alternativa j en función del criterio i

$w_i$  es la ponderación para cada criterio

$S_j$  Score para alternativa j

Este método será usado teniendo en cuenta los requerimientos de diseño mencionados a continuación [21]

- Precio total
- Cumplimiento de la norma ASTM A255
- Verificación de variables
- Compromiso ambiental
- Tamaño óptimo para el laboratorio
- Fiabilidad

### 8.2.1 Criterios a emplear

- Precio total: teniendo en cuenta la adquisición o fabricación de la máquina por parte de la universidad, es necesario considerar bajos costos de adquisición o fabricación.
- Costos de operación: Ya que el objetivo de la maquina es académico, el mantenimiento y recursos deben ser de fácil acceso para la universidad.
- Cumplimiento de la norma ASTM A255: con el fin de realizar de manera exitosa el ensayo Jominy se hace uso de la norma para obtener resultados correctos.
- Verificación de variables: al usar la norma ATM A255 se debe tener certeza que las variables y estándares contemplados en la norma se usen de manera correcta.
- Compromiso ambiental: evitando el desperdicio o un uso excesivo del agua para mitigar el impacto ambiental.
- Tamaño óptimo para el laboratorio: aprovechar la circulación que exista en el laboratorio para no interferir o que interfiera con otros procesos.
- Fiabilidad: los resultados y el proceso sean los adecuados para un correcto ensayo.

Teniendo en cuenta los criterios a emplear, serán evaluados con la siguiente asignación.

#### Tabla3.

Asignación de ponderación

ITEM	VALOR
Precio total de la máquina	5
Costos de operación	4
Cumplimiento de la norma ASTM A255	5
Verificación de variables	4
Compromiso ambiental	4
Tamaño óptimo para el laboratorio	4
Fiabilidad	5

**Nota:** Ítems de ponderación



Teniendo en cuenta la tabla 3, se les dio una ponderación al listado de los criterios a emplear, los cuales son los siguientes:

**Tabla 4.**

Ponderación de criterios

<b>Consideración</b>	<b>Ponderación</b>
Muy poco importante	1
Poco importante	2
Importancia media	3
Algo importante	4
Muy importante	5

**Nota:** Consideración de la ponderación

A continuación, se realiza la comparación entre la satisfacción de cada alternativa con el nivel de cada uno de los criterios, antes de esto, se asigna una clasificación de 1 a 9 puntos como muestra la tabla

**Tabla 5.**

Ponderación lineal

Extra bajo	1
Muy bajo	2
Bajo	3
Poco bajo	4
Medio	5
Poco alto	6
Alto	7
Muy alto	8
Extra alto	9

**Nota:** Valores de ponderación lineal

Conociendo las alternativas de diseño, mencionadas anteriormente, se procede a establecer los grados de satisfacción para cada una, realizando el cálculo por el método score como muestra la tabla

**Tabla 6**

Cálculo de método Scoring para cada alternativa

CRITERIO	PONDERACION Wi	ALTERNATIVA 1 ri1	ALTERNATIVA 2 ri2	ALTERNATIVA 3 ri3	ALTERNATIVA 4 ri4	ALTERNATIVA 5 ri5	ALTERNATIVA 6 ri6
Precio total	5	9	9	5	9	7	5
Cumplimiento de la norma ASTM A255	5	5	5	3	1	9	1
Verificación de variables	4	5	2	6	8	9	2
Compromiso ambiental	4	1	1	1	8	8	1
Tamaño óptimo para el laboratorio	4	9	9	1	1	8	7
Fiabilidad	5	8	5	8	6	7	3
Costos de operación	4	9	9	9	9	7	5
<b>TOTAL</b>	-	<b>206</b>	<b>179</b>	<b>148</b>	<b>184</b>	<b>243</b>	<b>105</b>

**Nota:** Selección final de la alternativa por medio del Scoring

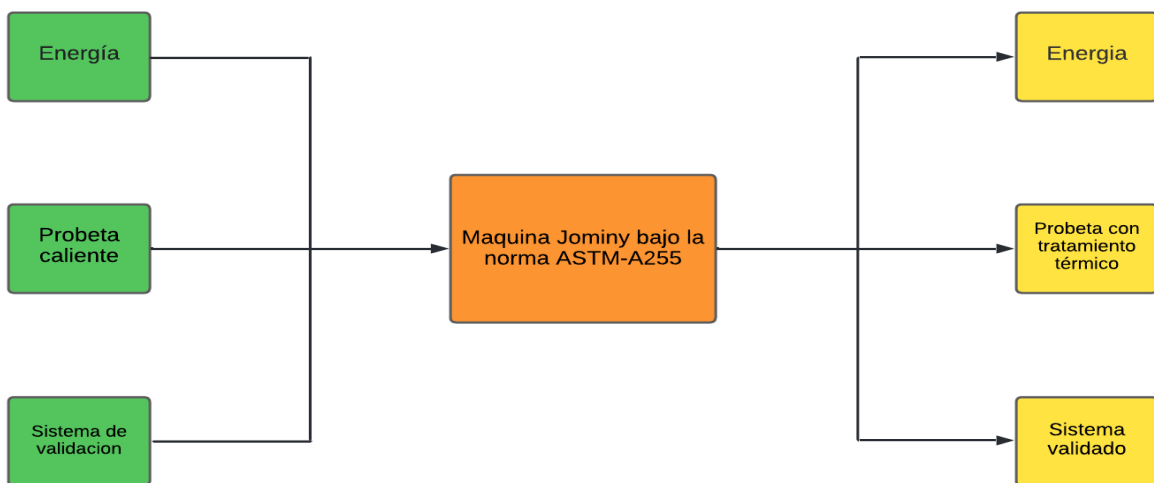
Como se observó en el resultado de la selección a la mejor alternativa de diseño por el método Scoring, la alternativa 5 (Diseño propuesto en este proyecto) es la mejor opción en comparación con las demás alternativas, esto debido a que se contemplaron factores importantes que benefician a la comunidad de la Universidad de América, de manera que cumpla con la norma establecida para un ensayo Jominy pero también que sea un equipo económico, ya que los costos de fabricación y desarrollo son más viables que comprar o adquirir un dispositivo. Así mismo su tamaño es óptimo para operar y realizar el ensayo en el laboratorio.

## 9. DISEÑO CONCEPTUAL

Antes de iniciar con el diseño de la maquina Jominy bajo la norma ASTM-A255 , se hace uso del diagrama de caja negra con el objetivo de enfocarse en las entradas y salidas sin nesesariamente centrarse en el funcionamiento de la maquia como se muestra en la Figura 10

**Figura 10**

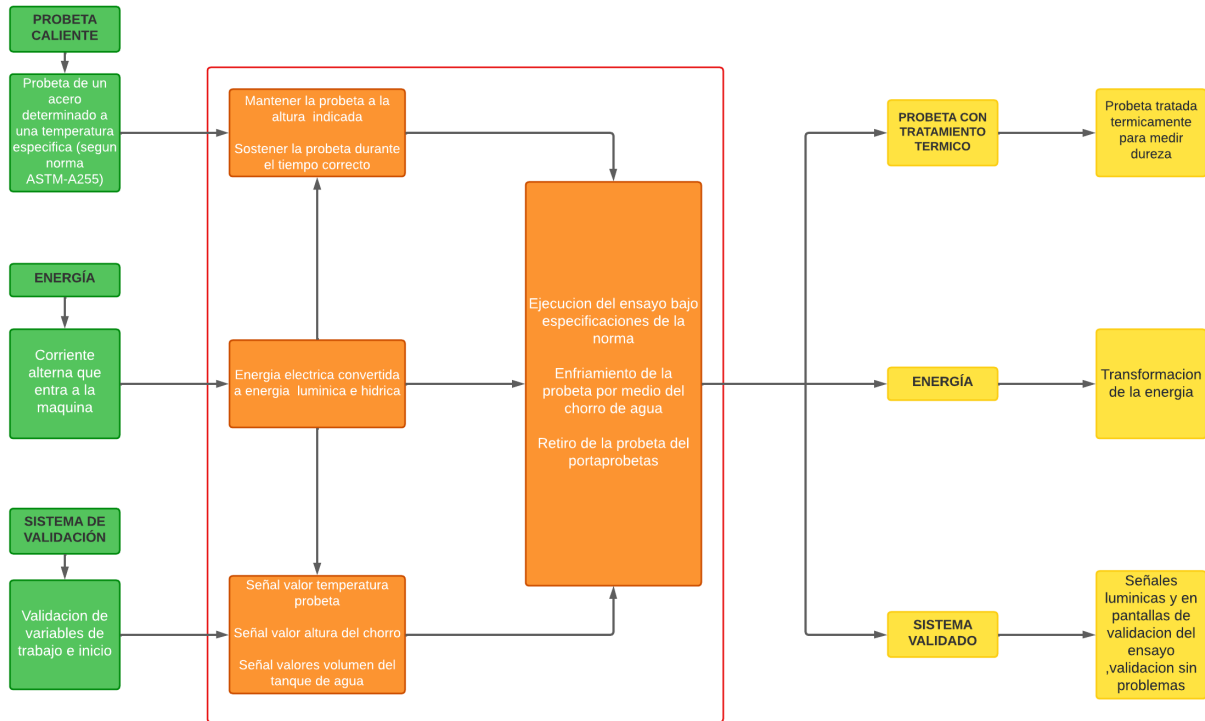
Diagrama de Caja Negra



**Nota:** Representación gráfica de los sistemas principales de la maquina Jominy por medio de la generación de caja negra.

**Figura 11**

**Diagrama de Caja Negra Ampliada**



**Nota:** Representación de los sistemas principales de la máquina ampliados Jominy.

Las cajas negras dan un indicio fundamental de los procesos y los principales sistemas que requieren más atención en el proceso de desarrollo del ensayo Jominy

## 10.DISEÑO DE TANQUES

Para la realización de los cálculos de diseño se hará uso de la norma ASTM-A2-55, durante el desarrollo de este proyecto se intentó contactar con ICONTEC para solicitar normas colombianas que homologuen la norma ASTM-A255, pero en ningún momento existió algún tipo de respuesta.

### 10.1 Tanque porta probetas

Teniendo en cuenta la norma ASTM-A255 el diseño del tanque debe cumplir con las medidas que permitan la correcta realización del ensayo (ANEXO 1). El hongo generado por el chorro del agua no debe de tocar las paredes del del tanque, tampoco debe tener contacto con la estructura que soporta la probeta. La altura del tanque está condicionada por las medidas contempladas en la norma entre la salida de la boquilla y la cara de la probeta, así mismo la altura del tanque tiene que asegurar el agua no se rebase por encima de esta.

D= 30cm

H= 25cm

Debido que el ensayo necesita que el agua este en constante recirculación, se considera que el líquido en el tanque no puede alcanzar más de 3cm de altura, por ende, se usara una tubería de 1 <sup>3/4</sup>" de pulgada.

#### 10.1.1 Volumen del agua

Para determinar el volumen del tanque y teniendo los siguientes datos, se usará la siguiente ecuación:

D= 30cm

H= 25m

h= 3cm

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

Donde:

V=Volumen de agua en el tanque

r= Radio del tanque

h= Altura del agua

$$V = \pi * (15cm)^2 * 3cm$$

$$V = 2120,57cm^3 \approx 2,12 L$$

El tanque estará en constante contacto con el agua por lo cual el material debe de ser lo suficientemente resistente a la oxidación del agua, así que se usara un acero inoxidable AISI 304L que además tiene buen comportamiento con las soldaduras.

### **10.1.2 Espesor de pared del tanque porta probetas**

El tanque, de acero AISI 304L, estará sometido a la presión atmosférica y al peso del agua y como las dimensiones del tanque son consideradas relativamente pequeñas, el espesor de la porta probetas está determinado por la siguiente ecuación: [22]

$$t = \frac{P*r}{(S*E)+0,4P} \quad (2)$$

Donde:

t: espesor de la pared (in)

r: radio exterior (in)

E: eficiencia de la junta

P: presión de diseño o presión máxima permitida de trabajo (PSI)

S: valor de esfuerzo del material (PSI)

La presión de diseño está condicionada a la presión que el fluido presenta en el tanque, lo que significa que esta presión de diseño será igual a la presión atmosférica a 2600 metros de altura que es igual a 10,69 PSI. Por otro lado, el diámetro del tanque se estableció como 30 cm, lo que significa que serían 11,811 pulgadas y por lo tanto tendría un radio de 5,905 pulgadas.

El esfuerzo del material o esfuerzo permisible ( $\sigma$ ) se puede calcular mediante el esfuerzo de fluencia ( $S_y$ ) multiplicado por 0,6 según DIPAC. El esfuerzo de fluencia para el acero AISI 304L es de  $220 \text{ N}/\text{m}^2$  (ANEXO 2), lo que sería igual a 31908,3 psi.

La eficiencia de la junta tiene un valor de 1 ya que al no poseer una soldadura se considera como cabezas sin costuras. [22]

$$t = \frac{10,69psi * 5,905PLG}{((31908,3psi * 0,6) * 1) + (0,4 * 10,69psi)}$$

$$t = 0,00329 \text{ in} \approx 0,0762 \text{ mm}$$

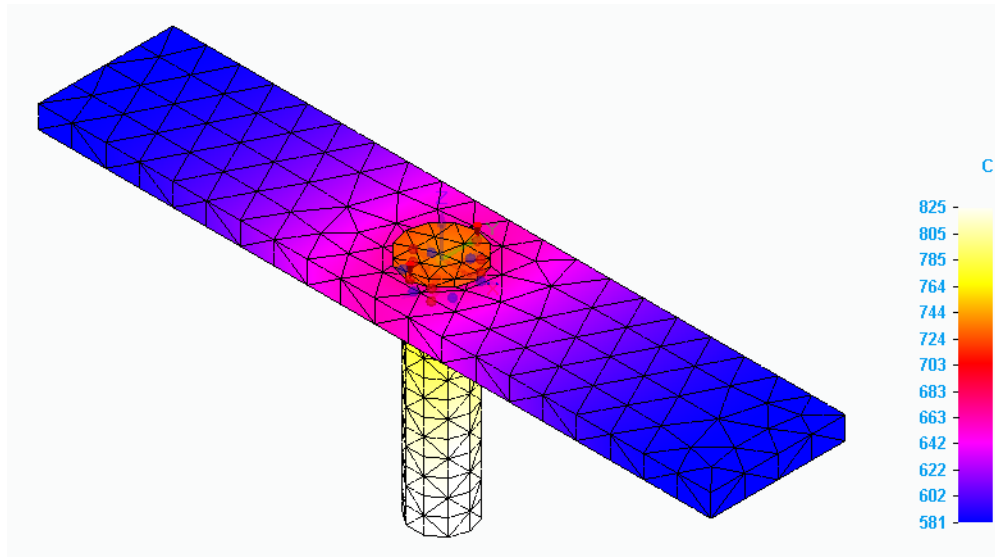
Como se observó en el resultado el espesor del tanque, de acero AISI 304L, mínimo es de 0,0762 mm, pero comercialmente no se encontrará, por lo que se usará un espesor de 2 mm ya que esta medida se encuentra fácilmente en el mercado.

### **10.1.3 Diseño anillo porta probetas**

En el análisis de diseño se identificó la placa porta probetas es la pieza de acero que más se desgasta debido a que está en permanente contacto con la probeta la cual se encuentra a temperaturas altas, como se muestra en la figura 12, estas condiciones generarían que con el paso del tiempo existiera la obligación de remover la placa porta probetas por completo lo que significaría aumento en los gastos de mantenimiento.

## Figura 12

Análisis sin anillo

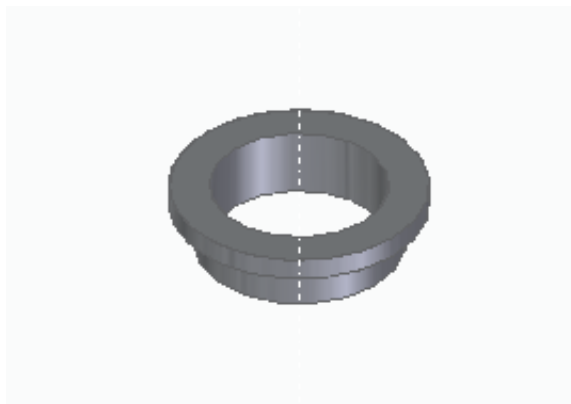


**Nota:** Análisis de calor sin anillo.

Entonces se decidió moldear una pieza que diera solución a este problema (Figura 13), este elemento, elaborado con acero AISI 304L, permite ser removido fácilmente cada vez que se desee además es la pieza que más soporta el desgaste por temperatura.

## Figura 13.

Anillo de la porta probeta



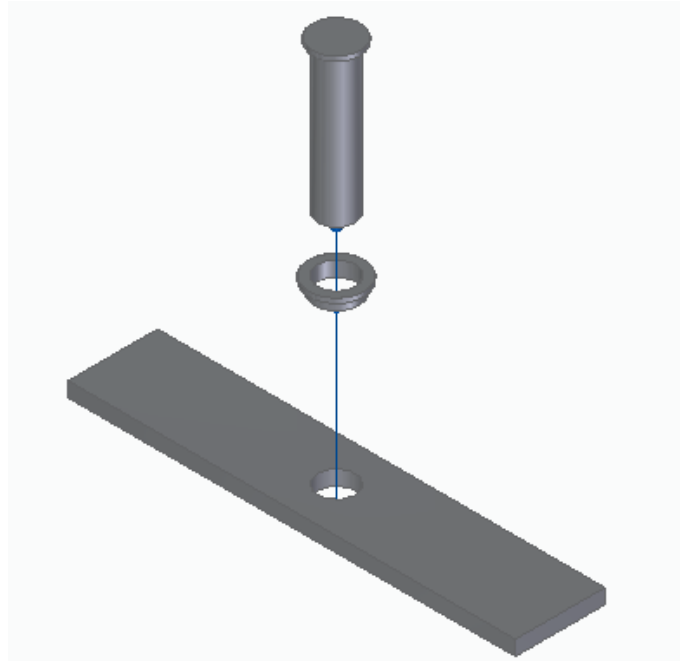
**Nota:** Prototipo propuesto de un anillo para evitar desgaste térmico.



La pieza diseñada se ubica entre la placa porta probetas y la probeta, como se observa en la figura 14, el uso de esta no afecta en ningún momento el desarrollo del ensayo, tampoco interfiere con la normativa.

### Figura 14

Ubicación del anillo

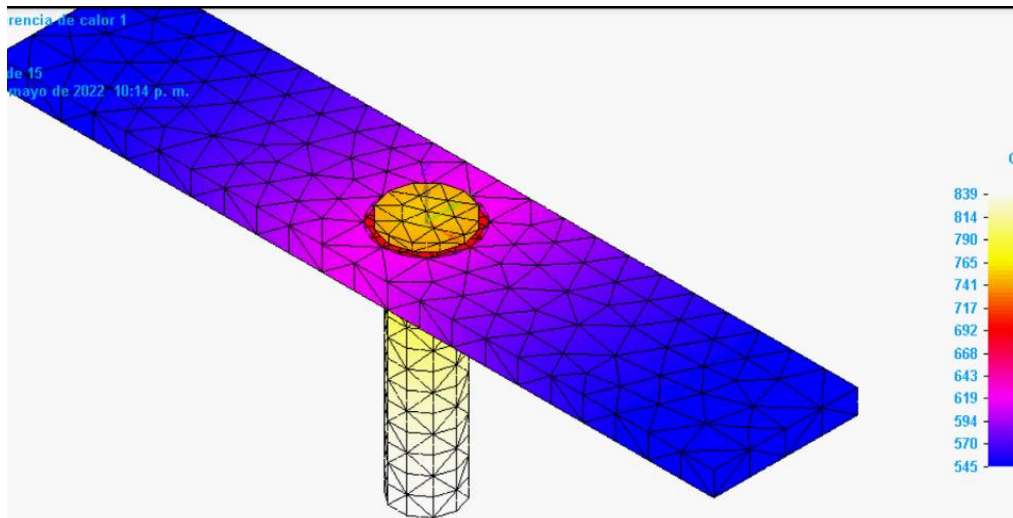


**Nota:** Ubicación del anillo entre la probeta y la porta probetas.

Como se puede ver en la figura 15 el calor transferido por la probeta es absorbido en su mayoría por la pieza, protegiendo el resto de la placa y el tanque evitando que estas dos piezas sufran gran desgaste, también la pieza cumple su objetivo de ser la que más se vea afectada por el calor transferido.

## Figura 15

Análisis de calor con el anillo.



**Nota:** Análisis de la transferencia de calor con el anillo en la placa.

Para la realización del análisis del comportamiento de las piezas al calor se utilizó una cobertura que en elementos finitos es conocida como una malla tetraédrica la cual permite cubrir por completo la geometría de las tres piezas, adaptándose a cada dimensión cada elemento permitiendo estudio de alta precisión con datos confiables

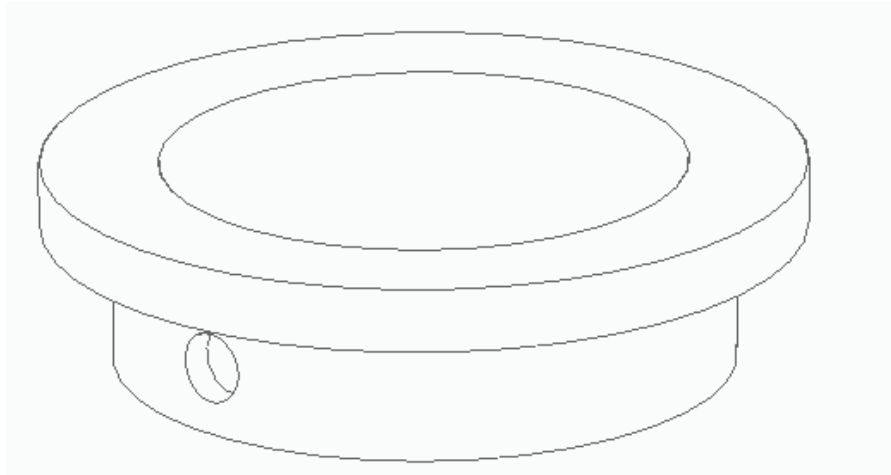
Las variables utilizadas en el estudio de calor se basaron en las condiciones a las que está expuesta normalmente estas partes a la hora de realizar un ensayo Jominy. La probeta como elemento principal generador de energía se configuró a 840 °C y tanto la placa porta probeta y el anillo porta probeta fueron configurados a temperatura ambiente de 20 °C generando una simulación en condiciones que se asemejan a la realidad. El comportamiento del calor en las piezas se puede interpretar y analizar por medio de la escala de color mostradas en las imágenes anteriores, siendo el color más claro la temperatura máxima y el azul el mínimo.

En el desarrollo del diseño del anillo se identificó que el anillo estaría expuesto a altas temperaturas lo cual podría generar dilatación térmica ocasionando que el anillo se mueva del lugar correcto y esto incumpliría con la norma ASTM-A255. Para solucionar

esta situación se consideraron varios medios con el objetivo de permitir que el anillo se mantenga ubicado en el lugar correcto durante la elaboración del ensayo, entre ellos se consideró el uso de un elemento roscado como un tornillo pero la rosca se vería afectada por el calor generando una dilatación que afectaría la posición del anillo. También se evaluó generar un prototipo de anillo con rosca, pero se analizó una situación similar a la anterior donde la rosca no solo se vería afectada por el calor si no que afectaría también a la placa porta probetas. Al final se consideró el prototipo mostrado en la figura 16 que es el anillo con el que se realizó el análisis anteriormente mostrado con un agujero que permite ser asegurado por medio de un elemento no roscado, se usa un elemento no roscado con el fin de evitar que la geometría se vea afectada por el calor.

### **Figura 16**

Anillo con agujero



**Nota:** Prototipo de anillo con agujero

#### **10.1.4 Proceso de soldadura**

El proceso de soldadura conocida como “a tope” es el procedimiento de unión de dos componentes de igual diámetro y espesor en el que las superficies que deben soldarse se calientan hasta la fusión por contacto con un elemento térmico y, después del alejamiento de este, se unen a presión para obtener un cordón de soldadura. [23]

## Tipos de realización de la soldadura a tope

Por resistencia:

- Las piezas se fijan en los sujetadores y se oprimen estrechamente una contra otra.
- Se conecta la corriente y las piezas se calientan hasta un estado plástico debido a la resistencia del metal.
- Se interrumpe la corriente y se hace un recalcado.

Se usa para unir piezas de aceros con poca presencia de carbono y en aleaciones no ferrosas, considerando una superficie a unir de hasta 1000 mm<sup>2</sup>. [24]

Por fusión:

- La corriente se conecta antes de unir las piezas.
- Se decide la distancia o el espacio que hay que dejar entre ambas piezas y una vez conseguida la holgura requerida, se provoca un chisporroteo y se funden los bordes.
- Se corta la corriente y se efectúa el recalcado a una presión de entre 250 a 500 kg/m<sup>2</sup>, para obtener un empalme soldado.

Este tipo de soldadura se utiliza en las grandes industrias para soldar metales pesados y cobres, unificar tuberías, cadenas y carriles, así como para producir piezas estampadas de chapas y de materiales de distinta naturaleza. [24]

Por fusión intermitente:

- Se calientan las caras de las piezas hasta la temperatura predeterminada.
- El paso de la corriente provoca la fusión de los bordes.
- Una vez conseguida la fusión de la zona requerida, se aprietan enérgicamente las caras a soldar, considerando que se debe alternar la presión durante el contacto de las caras.

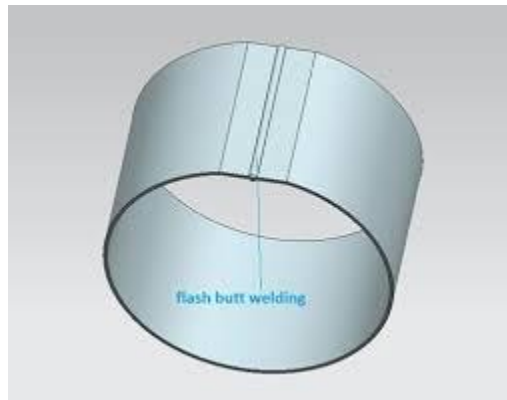
Este tipo de Soldadura a tope se recomienda sólo en los casos en que la potencia de la máquina no sea suficiente para soldar por fusión. [24]

### 10.1.5 Soldadura tanque porta probetas

Para soldar la placa de acero AISI-304L que dará forma al tanque porta probetas se usará una soldadura a tope por fusión, ya que es recomendada para recipientes cilíndricos sometidos a presión debido a una carga de tensión producida por un fluido.

#### Figura17.

Soldadura a tope



**Nota:** Soldadura a tope en un tanque. Tomado de: XIAOYA GROUP. (s.f)."Soldadora a tope".[En línea]. <http://xy-appliances.com.ar/5-3-butt-welding-machine.html> .[Acceso: ago 09, 2022]

Para determinar el tipo, longitud de soldadura y confiabilidad, se realizarán los siguientes cálculos:

Primero se calcula el esfuerzo normal usando la ecuación: [25]

$$\sigma = \frac{F_a}{h*L} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal

$F_a$ : Tension o fuerza ejercida

$h$ : Espesor del material

$L$ : longitud de la soldadura

Se determina la tensión o fuerza ejercida por la siguiente ecuación:

$$F_a = P * A \quad (4)$$

*P: Fuerza del fluido en el fondo*

*A: Area de la superficie lateral*

Encontramos P:

$$P = \gamma * H \quad (5)$$

*$\gamma$ : Peso especifico del agua*

*H: Altura del tanque*

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0,25\text{m}$$

$$P = 250 \text{ kg/m}^2$$

Hallamos el valor de A:

$$A = 2\pi r * H \quad (6)$$

$$A = 2\pi * 15\text{cm} * 25\text{cm}$$

$$A = 2356,19 \text{ cm}^2 \approx 0,2356 \text{ m}^2$$

Resolvemos la ecuación (4):

$$F_a = 250 \text{ kg/m}^2 * 0,2356 \text{ m}^2$$

$$F_a = 58,9 \text{ kg}$$

Reemplazamos en (3):

Para determinar el esfuerzo de la placa de acero AISI-304L, este tiene un espesor de 2mm

$$\sigma = \frac{58,9 \text{ kg}}{0,2\text{cm} * 25\text{cm}}$$

$$\sigma = 11,78 \text{ kg/cm}^2$$

El factor de seguridad para la soldadura a tope son  $n = 1,67$  para tensión y  $n = 1,44$  para cortante, por lo consiguiente el esfuerzo será de: [26]

$$\sigma_{real} = (11,78 \text{ kg/cm}^2) * 1,67$$

$$\sigma_{real} = 19,67 \text{ kg/cm}^2$$

Haciendo uso de la información de WESTARCO (ANEXO 3) se selecciona el electrodo Inox 308L-16 que es compatible con el acero inoxidable AISI 304L que tiene buena resistencia a la corrosión y su resistencia a la tensión es de:

$$Su = 5273,02 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a la fluencia del electrodo Inox 308L-16:

$$Sy = 0,5 * Su \text{ (7)}$$

$$Sy = 0,5 * 5273,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sy = 2636,51 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo permisible:

$$\sigma_{per} = 0,6 * Sy \text{ (8)}$$

Reemplazamos:

$$\sigma_{per} = 0,6 * 2636,51 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{per} = 1581,906 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar si la soldadura es la adecuada se debe de comparar el esfuerzo permisible con el esfuerzo real, si este es mayor al real quiere decir que es totalmente viable la soldadura [26]

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

$$1581,906 \text{ kg/cm}^2 > 19,67 \text{ kg/cm}^2$$

Como se puede observar se verifico la información anterior, lo que quiere decir que la soldadura es la indicada y generara ningún esfuerzo o tensión en el material y dejara una estructura sólida y compacta.

Los cálculos y resultados que se realizaron anteriormente solo se concentran en la parte lateral del tanque, este también tiene una lámina del mismo material que debe ser soldada en la parte inferior cuyos cálculos se determinan a continuación

Esfuerzo normal debido a una carga cortante:

Para determinar los esfuerzos que se generan en el fondo del tanque fabricado con acero AISI 304L se considera la misma ecuación de esfuerzo normal y lo único que cambiaría es el área de contacto del agua en el tanque. [25]

$$\tau = \frac{F}{h * l} \quad (9)$$

Donde:

F: Fuerza del fluido en el tanque

h: Espesor del material

l: Longitud de soldadura



Haciendo uso de la ecuación (4):

$$F = P * A$$

$$A = \pi * (0,15cm)^2 = 0,07068m^2$$

$$F = (250 Kg/m^2) * 0,07068m^2$$

$$F = 17,67 kg$$

La longitud de soldadura está dada por el perímetro de la circunferencia de la lámina de acero AISI 304L, reemplazando en la ecuación (9) de esfuerzo obtenemos:

$$\tau = \frac{17,67kg}{(0,2 cm) * (\pi * 30cm)}$$

$$\tau = 0,9374 kg/cm^2$$

Según el factor de seguridad para una soldadura cortante es  $n=1,44$  [26]

$$\tau_{real} = 0,9374 kg/cm^2 * 1,44$$

$$\tau_{real} = 1,34 kg/cm^2$$

Tensión permisible se calcula por medio de

$$\tau_{per} = 0,4 * Sy (cortante)(10)$$

$$\tau_{per} = 0,4 * (2636,51 kg/cm^2)$$

$$\tau_{per} = 1054,604 kg/cm^2$$

Se realiza el mismo análisis anterior donde comparamos el esfuerzo permisible con el esfuerzo real para no tener conflictos entre los materiales [26]

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

$$1054,604 kg/cm^2 > 1,34 kg/cm^2$$

Los esfuerzos de tensión y cortante permisibles son muy grandes comparados con los reales, lo que significa que los cálculos de soldadura nos facilitan un alto factor de seguridad y de confiabilidad.

## 10.2 Diseño tanque alimentador

### 10.2.1 Parámetros de diseño

Debido a la constante recirculación del agua durante el ensayo, el volumen del fluido en el tanque se considera constante. Para cumplir con las especificaciones de la norma se tomarán las siguientes dimensiones. Como en el tanque porta probetas se usará lamina de acero AISI 304L.

D= 35 cm

H= 30 cm

### 10.2.2 Espesor de pared del tanque alimentador de agua

Ya que las dimensiones del tanque son pequeñas, el espesor de la lámina de acero AISI 304L también será pequeño, así mismo estará bajo las mismas condiciones que el tanque porta probetas. Se hace uso de la ecuación (2).

$$t = \frac{P * R}{Se + 0,4p}$$

$$t = \frac{(10,69psi) * (5,905 in)}{((31908,3 psi * 0,6) * 1) + (0,4 * 10,69psi)}$$

$$t = 3,29 \times 10^{-3} in = 0,00329 in \approx 0,0762 mm$$

Actualmente en el comercio se manejan láminas de acero AISI 304L con un espesor de 2mm, lo que indica una mayor seguridad en la lámina.

### 10.2.3 Soldadura tanque alimentador

Esfuerzo normal debido a una carga cortante

Para determinar los esfuerzos que se generan en el fondo del tanque se considera la misma ecuación de esfuerzo normal y lo único que cambiaría es el área de contacto del agua en el tanque.[25]

$$\tau = \frac{F}{h * l} \quad (9)$$

Donde:

F: Fuerza del fluido en el tanque

h: Espesor del material

l: Longitud de soldadura

Haciendo uso de la ecuación (4):

$$F = P * A$$

$$A = \pi * (0,175 \text{ m})^2 = 0,096 \text{ m}^2$$

$$F = (250 \text{ Kg/m}^2) * 0,096 \text{ m}^2$$

$$F = 24 \text{ kg}$$

La longitud de soldadura está dada por el perímetro de la circunferencia, entonces reemplazando en la ecuación (9) de esfuerzo obtenemos:

$$\tau = \frac{24 \text{ kg}}{(0,2 \text{ cm}) * (\pi * 35 \text{ cm})}$$

$$\tau = 1,09 \text{ kg/cm}^2$$

Según el factor de seguridad para una soldadura cortante es  $n=1,44$  [26]

$$\tau_{real} = 1,09 \text{ kg/cm}^2 * 1,44$$

$$\tau_{real} = 1,56 \text{ kg/cm}^2$$

Tensión permisible se calcula por medio de

$$\tau_{per} = 0,4 * S_y \text{ (cortante)}(10)$$

$$\tau_{per} = 0,4 * (2636,51 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\tau_{per} = 1054,604 \text{ kg/cm}^2$$

Se realiza el mismo análisis anterior donde comparamos el esfuerzo permisible con el esfuerzo real para no tener conflictos entre los materiales [26]

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

$$1054,604 \text{ kg/cm}^2 > 1,5 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos de tensión y cortante permisibles son muy grandes comparados con los reales, lo que significa que los cálculos de soldadura nos facilitan un alto factor de seguridad y de confiabilidad.

Este tanque al igual que el tanque de la porta probetas tendrá una soldadura a tope que garantice una unión sin fugas ni corrosión. Los cálculos son los mismos para los dos ya que son del mismo material y se fabrican de la misma forma.

Esfuerzo normal en la pared del tanque:

Para determinar el tipo, longitud de soldadura y confiabilidad, se realizarán los siguientes cálculos:

Primero se debe calcular el esfuerzo normal mediante la ecuación: [25]

$$\sigma = \frac{F_a}{h * L} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo normal

$F_a$ : Tension o fuerza ejercida

$h$ : Espesor del material

$L$ : longitud de la soldadura

Se determina la tensión o fuerza ejercida por la siguiente ecuación:

$$F_a = P * A \quad (4)$$

$P$ : Fuerza del fluido en el fondo

$A$ : Area de la superficie lateral

Encontramos  $P$ :

$$P = \gamma * H \quad (5)$$

$\gamma$ : Peso especifico del agua

$H$ : Altura del tanque

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} * 0,30m$$

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

Hallamos el valor de  $A$ :

$$A = 2\pi rh \quad (6)$$

$$A = 2\pi * 17,5cm * 30cm$$

$$A = 3298,67 \text{ cm}^2 \approx 0,3298 \text{ m}^2$$

Resolvemos la ecuación (4):

$$F_a = 300 \frac{kg}{m^2} * 0,3298 \text{ m}^2$$

$$F_a = 98,94 \text{ kg}$$

Reemplazamos en (3):

Para determinar el esfuerzo del material, este tiene un espesor de 2mm

$$\sigma = \frac{98,94 \text{ kg}}{0,2\text{cm} * 30\text{cm}}$$

$$\sigma = 16,49 \text{ kg/cm}^2$$

El factor de seguridad para la soldadura a tope son  $n = 1,67$  para tensión y  $n = 1,44$  para cortante, por lo consiguiente el esfuerzo será de: [26]

$$\sigma_{real} = (16,49 \text{ kg/cm}^2) * 1,67$$

$$\sigma_{real} = 27,53 \text{ kg/cm}^2$$

Haciendo uso de la información de WESTARCO (ANEXO 3) se selecciona el electrodo Inox 308L-16 que es compatible con el acero inoxidable AISI 304L que tiene buena resistencia a la corrosión y su resistencia a la tensión es de:

$$Su = 5273,02 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a la fluencia:

$$Sy = 0,5 * Su \text{ (7)}$$

$$Sy = 0,5 * 5273,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$Sy = 2636,51 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo permisible:

$$\sigma_{per} = 0,6 * Sy \text{ (8)}$$

Reemplazamos:

$$\sigma_{per} = 0,6 * 2636,51 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{per} = 1581,906 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar si la soldadura es la adecuada se debe de comparar el esfuerzo permisible con el esfuerzo real, si este es mayor al real quiere decir que es totalmente viable la soldadura [26]

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

$$1581,906 \text{ kg/cm}^2 > 27,53 \text{ kg/cm}^2$$

Como se puede observar se verifico la información anterior, lo que quiere decir que la soldadura es la indicada y generara ningún esfuerzo o tensión en el material y dejara una estructura sólida y compacta.

## 11. SISTEMA HIDRAULICO

### 11.1 Cálculos tuberías

El sistema hidráulico debe de ser el más apropiado a la norma, que garantice un buen flujo del agua y que así mismo sea lo suficientemente resistente a acontecimientos que puedan deteriorarlo como la humedad, corrosión, golpes o cambios de temperatura. [27]

Selección de la tubería

Según la norma ASTM A255 para un ensayo de templabilidad se requiere de un caudal de  $150 \text{ cm}^3/\text{s}$  constantes para cumplir a cabalidad el ensayo. Para determinar el diámetro nominal de la tubería, se utiliza la siguiente ecuación para sistemas hidráulicos que tienen una altura menor a 100 metros: [27]

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

Donde:

d: Diámetro nominal de la tubería

Q: Caudal

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

$$d = 0,015 \text{ m} = 15 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ in}$$

Utilizando el catálogo tubería y perfiles Ternium Colombia (ANEXO 22) tenemos que los valores de diámetro para un tubo de 1/2" galvanizada son:

Diámetro exterior: 26,70 mm = 1,05 in

Diámetro interior: 23,83 mm = 0,92 in

Espesor: 2,87 mm = 0,11 in

Una vez hayamos obtenido el diámetro exterior, se realizará el siguiente calculo para determinar la velocidad: [27]

$$Q = v * A$$



Donde:

Q: Caudal

v: Velocidad

A: Área interior de la tubería

Entonces:

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

$$v = \frac{0,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,02383 \text{ m})^2}{4}}$$

$$v = 0,336 \text{ m/s}$$

### **11.1.1 Diámetros de succión y descarga**

Según Mott, el diámetro de succión de un sistema hidráulico es mayor al diámetro del sistema de descarga, lo que se resume en: [27]

$$\text{Diámetro de succión: } d_s = \sqrt{14 * Q}$$

$$\text{Diámetro de descarga: } d_d = \sqrt{10 * Q}$$

Reemplazando en las ecuaciones obtenemos lo siguiente:

Diámetro de succión:[27]

$$d_s = \sqrt{14 * 0,00015 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,045 \text{ m} = 4,58 \text{ cm}$$

Volviendo a tomar como referencia el catálogo tubería y perfiles Ternium Colombia (ANEXO 22), tenemos que los diámetros de 1 ½" galvanizada que se encuentran comercialmente serían:

Diámetro nominal: 1<sup>1/2</sup>"

Diámetro exterior: 48,30mm

Diámetro interior: 44,62mm

Espesor: 3,68 mm

Velocidad de succión:

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

$$v_s = \frac{0,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,04462\text{m})^2}{4}}$$

$$v_s = 0,096 \text{ m/s}$$

Diámetro de descarga: [27]

$$d_d = \sqrt{10 * 0,00015 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,0387\text{m} = 3,87\text{cm}$$

Diámetro nominal: 1<sup>1/4</sup>"

Diámetro exterior: 42,20mm

Diámetro interior: 38,64mm

Espesor: 3,56mm

Velocidad de descarga:

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

$$v_d = \frac{0,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi * (0,03864\text{m})^2}{4}}$$

$$v_d = 0,0426 \text{ m/s}$$

## 11.2 Altura de la bomba

La altura de la bomba que es la distancia medida desde el tanque del agua, pasando por toda la tubería (teniendo en cuenta las pérdidas) hasta su final que es en la boquilla que da a la probeta está determinada por la siguiente ecuación: [27]

$$H_B = H_s + H_d + \Delta_z$$

Donde:

$H_s$ : Altura de succión

$H_d$ : Altura de descarga

$\Delta_z$ : diferencia de altura entre el nivel de depósito de succión y de descarga

Para determinar la altura de la bomba, primero se deben de calcular todas las variables que componen la ecuación de succión, descarga y la diferencia de altura entre los depósitos. [27]

### 11.2.1 Altura de succión

Esta altura se determina mediante la siguiente ecuación: [27]

$$H_s = H_{rp} + H_{rs}$$

Donde:

$H_{rp}$ : pérdidas de carga primaria (tuberías).

$H_{rs}$ : Pérdidas de carga secundaria.

Según Mott estas pérdidas primarias que hace referencia al tubo, rugosidad, velocidad del fluido y la fricción, se calculan con la siguiente ecuación: [27]

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{v_s^2}{2 * g}$$

Donde:

$\lambda$ : coeficiente de fricción de la tubería

L: longitud de la tubería (m)

d: diámetro interior de la tubería (m)

$v_s$ : Velocidad de fluido en la succión

g: gravedad

$\lambda$  (Lamda) es un valor que se haya con el número de Reynolds, donde: [27]

$$R_e = \frac{v * d * \rho}{\mu}$$

Donde:

v: Velocidad del fluido en la succión

d: diámetro interior de la tubería

$\rho$ : densidad del fluido ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$\mu$ : viscosidad dinámica ( $1,15 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ )

$$R_e = \frac{(0,096 \text{ m/s}) * (0,04462 \text{ m}) (1000 \text{ kg/m}^3)}{1,15 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2}$$

$$R_e = 3724,8$$

Una vez se obtuvo Reynolds, se procede a usar el diagrama de Moody para determinar el valor de  $\lambda$ , pero para esto la rugosidad es de  $4,6 \times 10^{-5}$  que debemos relacionar con el

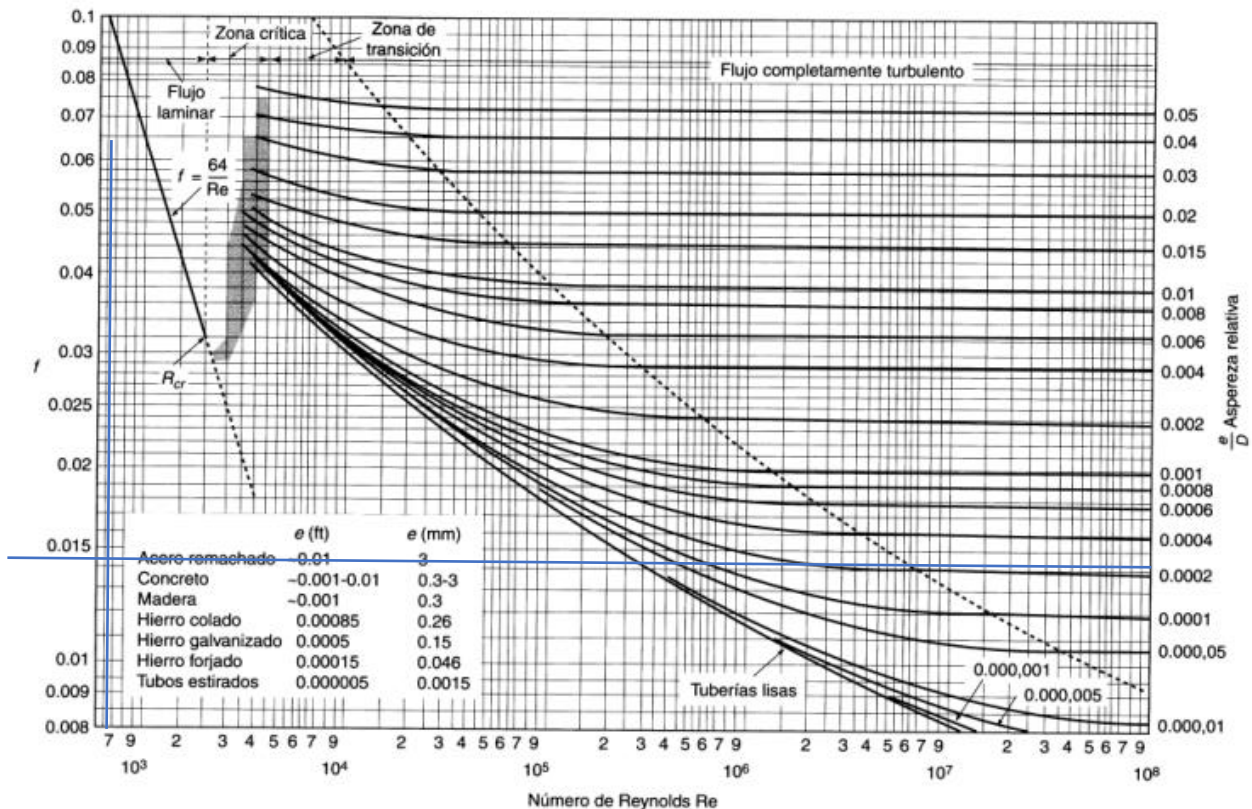
diámetro interior del tubo (Aspezeza relativa) para así poder cruzar con el número de Reynolds y hallar lambda. [27]

Aspezeza relativa:

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,04462} = 0,0013$$

**Tabla 7.**

Diagrama de Moody



**Nota:** Diagrama de Moody factor Lambda

Tomado de: C. Mataix, "RESISTENCIA DE SUPERFICIE: PERDIDAS PRIMARIAS EN CONDUCTOS CERRADOS O TUBERIAS", en *MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRÁULICAS*, Madrid, España, EDICIONES DEL CASTILLO S.A, cap 9., pp. 203-220.

El valor de  $\lambda = 0,00021$  después de cruzar las dos variables en el diagrama de Moody.

Reemplazando lambda y con una longitud de tubería de succión de 8cm (0,08m) en la ecuación de perdidas primarias, obtenemos: [27]

$$H_{rp} = (0,00021) * \frac{0,08m}{0,04462} * \frac{(0,096 m/s)^2}{2 * 9,8 m/s^2}$$

$$H_{rp} = 1,84x10^{-4}m$$

Perdidas secundarias:

Una vez se hallaron las perdidas primarias, se prosigue con determinar las perdidas secundarias, donde estas serían todos los accesorios que están involucrados en el sistema de succión, como codos, reducciones, uniones, válvulas, etc. Así mismo, el factor lambda es de 0,025 en accesorios. [27]

Los accesorios que incorporamos en el sistema de succión son dos codos y una unión universal, donde su coeficiente K es de 0,75 y 0,5 respectivamente. [27]

$$H_{rs} = K_c \frac{v_s^2}{2 * g} + K_u \frac{v_s^2}{2 * g}$$

Donde:

$K_c$ : coeficiente de perdidas en los codos

$K_u$ : coeficiente de perdidas en las uniones

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

$$H_{rs} = ((0,75 * 1) + (0,5 * 2)) * \frac{(0,04462 m/s)^2}{2 * 9,8 m/s^2}$$

$$H_{rs} = 1,77x10^{-4}m$$

La altura de succión será igual a lo siguiente:

$$H_s = 1,84 \times 10^{-4} m + 1,77 \times 10^{-4} m$$

$$H_s = 3,61 \times 10^{-4} m$$

### 11.2.2 Altura de descarga

La altura de descarga tendrá el mismo análisis que se aplicó a la línea de succión, donde:  
[27]

$$H_d = H_{rp} + H_{rs}$$

$H_{rp}$ : pérdidas de carga primarias

$H_{rs}$ : pérdidas de carga secundarias

Perdidas primarias

Para la tubería del tanque de descarga se tiene una longitud de 58 cm (580 mm) que se dirige al tanque que tiene la boquilla que dirige el agua a la probeta. Este tendrá un diámetro de 1 ¼". [27]

Se determina Reynolds:

$$R_e = \frac{v * d * \rho}{\mu}$$

Donde:

v: Velocidad del fluido en la succión

d: diámetro interior de la tubería

$\rho$ : densidad del fluido ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$\mu$ : viscosidad dinámica ( $1,15 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ )

$$R_e = \frac{(0,0426 \text{ m/s}) * (0,03864 \text{ m})(1000 \text{ kg/m}^3)}{1,15 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2}$$

$$R_e = 1431.36$$

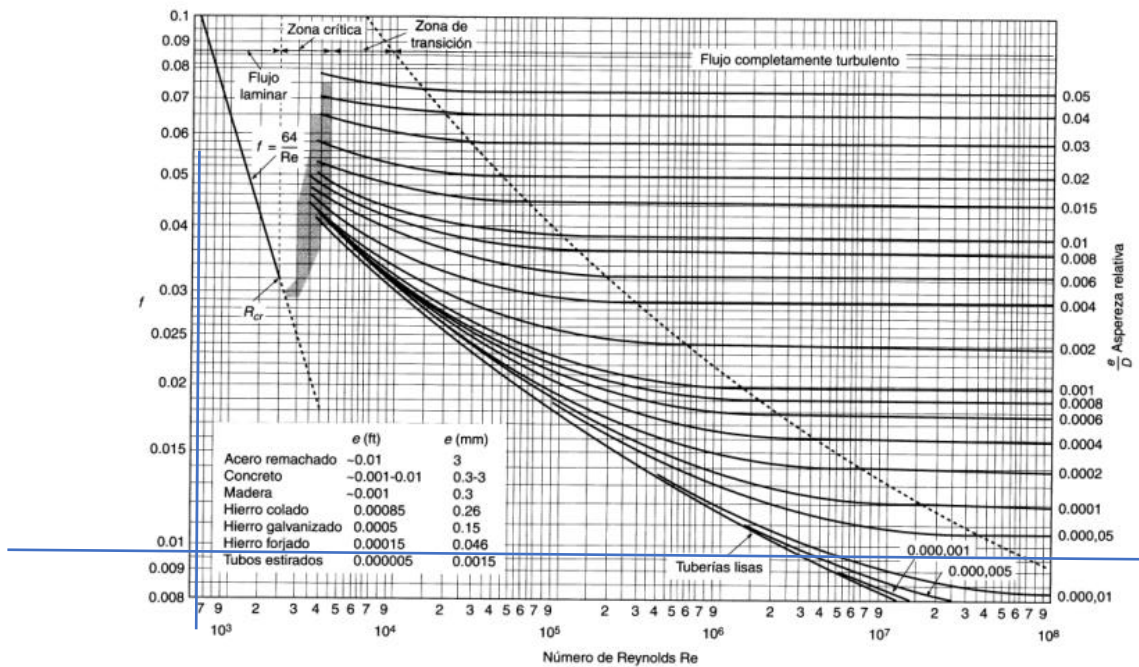
Lo siguiente es determinar la aspereza relativa para poder usar el diagrama de Moody y así hallar lambda [27]

Aspereza relativa:

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,03864} = 0,0019$$

**Tabla 7.**

Diagrama de Moody



**Nota:** Diagrama de Moody factor Lambda

Tomado de: C. Mataix, "RESISTENCIA DE SUPERFICIE: PERDIDAS PRIMARIAS EN CONDUCTOS CERRADOS O TUBERIAS", en *MECÁNICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRÁULICAS*, Madrid, España, EDICIONES DEL CASTILLO S.A, cap 9., pp.203-220.



El valor de  $\lambda = 0,0005$  después de cruzar las dos variables en el diagrama de Moody.

Reemplazando lambda y con una longitud de tubería de succión de 58 cm (0,58m) en la ecuación de pérdidas primarias, obtenemos: [27]

$$H_{rp} = (0,0005) * \frac{0,58m}{0,03864m} * \frac{(0,0426 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{rp} = 6,94x10^{-7}m$$

Perdidas secundarias:

En esta parte especificamos todos los accesorios, codos, válvulas, uniones, etc. En el sistema de descarga se encuentran 6 codos (coeficiente  $K= 0,81$ ), 1 válvula check (coeficiente  $K= 2,7$ ), 1 válvula de bola (coeficiente  $K=0,216$ ), 1 unión universal (coeficiente  $K=0,5$ ) y 1 unión tipo T (coeficiente  $K= 1,62$ ). [27]

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar el total de las pérdidas:

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

Donde

$K_c$ : coeficiente de pérdidas en los codos

$K_v$ : coeficiente de pérdidas en válvulas

$K_u$ : coeficiente de pérdidas en uniones

$$H_{rs} = ((6 * 0,81) + (0,5 + 1,62) + (2,7 + 1 * 0,216)) \frac{(0,0426 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$H_{rs} = 9,16x10^{-4}m$$

La altura de descarga sería:

$$H_d = 6,94x10^{-7} + 9,16x10^{-4}$$

$$H_d = 9,16x10^{-4}$$

Finalmente, teniendo todos los resultados se puede decir que la altura de la bomba es:

$$H_B = 3,61 \times 10^{-4} m + 9,16 \times 10^{-4} m + 0,6 m$$

$$H_B = 0,601 m$$

### 11.3 Cabeza de succión positiva neta (NPSH)

Según Mott el NPSH disponible depende del tipo de fluido a impulsar, la tubería, la ubicación del tanque o depósito y la presión que aplica el fluido sobre el sistema y se da por la ecuación: [27]

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

Donde:

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

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

$h_f$ : pérdidas por fricción en la tubería de succión (m)

$h_{vp}$ : presión del vapor de líquido a temperatura de bombeo (m)

Lo primero es determinar la presión absoluta que rige el sistema, para eso usamos la siguiente ecuación: [27]

$$presion\ absoluta = presion\ atmosferica - presion\ en\ el\ tanque$$

La presión atmosférica en Bogotá es de 74,66 kpa y la presión que hace el fluido en el tanque es de 250 kg/s<sup>2</sup> (2,45 Kpa), entonces:

$$P_{abs} = 74,66\ Kpa - 2,45\ Kpa$$

$$P_{abs} = 72,21\ Kpa$$

Cabeza de presión estática absoluta:

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

Donde:

$P_{abs}$ : Presión absoluta

$H_{sp}$ : cabeza de presión estática absoluta

$\gamma$ : peso específico

$$h_{sp} = \frac{72,210 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3}$$

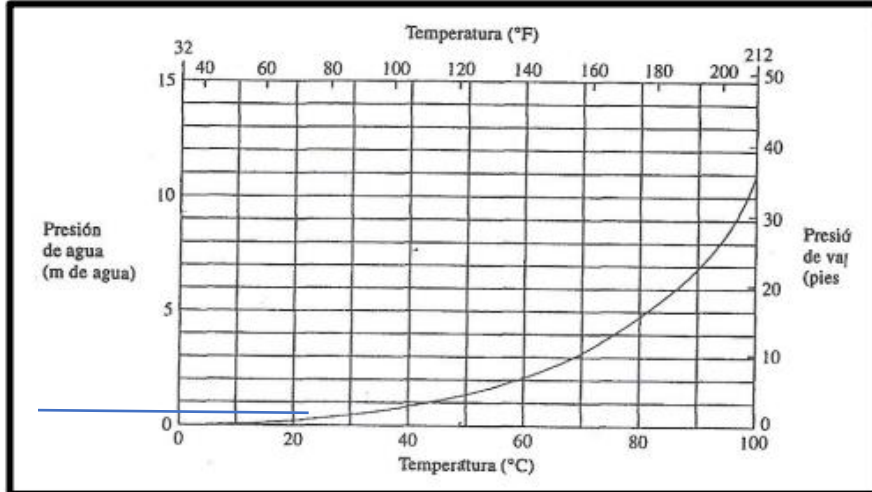
$$h_{sp} = 7,36 \text{ m}$$

La diferencia de altura  $h_s$  del dispositivo es de 0,30 m

### 11.3.1 Presión del vapor del líquido a temperatura de bombeo

**Tabla 8.**

Presión de vapor de agua



**Nota.** Presión en metros del vapor de agua a una temperatura determinada

Tomado de: R. L. Mott, mecánica de fluidos aplicada, 6a. ed., México: Pearson Educación S.A., 2006.

La presión de agua a 30°C (que es la temperatura que podría alcanzar al final del ensayo) es de 0,6m.

Las pérdidas por fricción en la tubería de succión son de 0,7m.

Entonces ya teniendo todos los valores, se reemplaza:

$$NPSH = 7,36m + 0,30m - 0,7m - 0,6m$$

$$NPSH = 6,36m$$

Esta bomba que va a funcionar en este sistema debe de tener un NPSH menor a los 6,36m para evitar la cavitación y así dañar la bomba. [27]

#### 11.4 Potencia de la bomba

La potencia requerida para impulsar el agua a la probeta se determinará por la siguiente ecuación: [27]

$$P = \frac{Q * \gamma * H_b}{\eta}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

$\gamma$ : peso específico

H<sub>b</sub>: altura de la bomba (m)

$\eta$ : rendimiento total de la bomba

Para la última variable no se tiene claro la eficiencia con la que una bomba puede operar en estas condiciones, pero se puede estimar en que no será menor al 75% ya que un equipo como estos tendrá estos rendimientos. [27]

$$P = \frac{(0,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) * 9810 \text{ N}/\text{m}^3 * 0,601\text{m}}{0,75}$$

$$P = 1,17 \text{ Nm/s}$$

$$P = 0,025 \text{ Hp}$$

Como se pudo observar, la potencia requerida para impulsar el agua es demasiado pequeño en comparación con las bombas que están en el mercado, además es difícil fabricar una bomba con esa potencia mínima, por esta razón se usara una bomba comercial de mínima potencia, es decir una bomba de ½ caballo de fuerza. [27]

La bomba seleccionada (figura18) es una Electrobomba Centrifuga de ½ hp, modelo XCm158, que cumple con los estándares y regulaciones que exige la norma contemplada en el diseño de este trabajo.

### Figura 18.

Electrobomba



**Nota.** Electrobomba centrifuga de ½ hp XCm158

Tomado de: Homecenter.(s.f)."Electrobomba Centrifuga 1/2 hp", [En línea]  
[https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/296065/electrobomba-centrifuga-1-2-hp/296065/?kid=bnext1031759&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQjwqPGUBhDwARIsANNwjV4nv1LntR2B7ly9C4-kxLWuQ5QxhJG-Vw\\_uQLytKleie1erJbqnv3kaAj1KEALw\\_wcB](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/296065/electrobomba-centrifuga-1-2-hp/296065/?kid=bnext1031759&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQjwqPGUBhDwARIsANNwjV4nv1LntR2B7ly9C4-kxLWuQ5QxhJG-Vw_uQLytKleie1erJbqnv3kaAj1KEALw_wcB) .[Acceso: agosto 09, 2022].

### **11.5 Ciclo del uso del agua**

Al consultar diferentes fabricantes de filtros por medio de sus páginas web se sugiere el cambio de filtro de partículas cada 40 litros de uso, la maquina diseñada en este proyecto para su correcto funcionamiento usa 5 litros por ensayo cumpliendo con las especificaciones contempladas en la norma ASTM-A255. Considerando que por cada grupo de la asignatura de tratamientos térmicos se registran 30 estudiantes aproximadamente y que los grupos de trabajo están conformados normalmente por 4 estudiantes se recomienda cambiar el agua al finalizar cada practica de laboratorio en la cual se pueden llegar hacer alrededor de 7 ensayos Jominy.

## 12. CONTROL Y VERIFICACIÓN DE VARIABLES

Para el cumplimiento de la norma ASTM-A255 se necesita tener claro las variables involucradas y cuál es la importancia de cada una. Se entiende como variable controlada toda aquella que se mantiene constante durante un proceso. Cualquier ensayo tiene numerosas variables de control, y es importante mantener constantes todas las variables para el desarrollo exitoso. Si una variable de control cambia durante un proceso, puede generar resultados no esperados o erróneos. Cuando sea posible, las variables de control deben identificarse, medirse y registrarse. [28]

Para el desarrollo del diseño propuesto se identificaron 3 variables a controlar y verificar, siendo estas de vital importancia para el desarrollo del ensayo bajo la norma ASTM-A255. La variable de temperatura es importante debido a que la norma contempla que la probeta debe estar a una temperatura mínima, si no se controla y verifica los valores de dureza se verán afectados, el caudal es de vital importancia, si no se controla la altura de chorro se verá afectada incumpliendo con la altura contemplada en la normativa. Por último, el nivel del agua se debe controlar y verificar ya que el ensayo exige una recirculación constante de agua para contrarrestar el impacto ambiental, si el nivel de agua se ve afectado en algún momento generaría el fracaso del ensayo.

Para el control de la temperatura se usará un sensor de temperatura, el cual no es necesario que este en contacto con la probeta para poder controlar y verificar la temperatura mínima para realizar el ensayo. Como se puede observar en la figura 19 cuenta con diferentes entradas las cuales permiten ser conectadas a un display si es necesario, también registra los valores de temperaturas para ser graficados.

## Figura 19.

Sensor de temperatura



**Nota:** Sensor de entrada con sus entradas. Tomado de: GOHOMEGPS. (s.f)."Sensor de Combustible", [En línea] <https://www.gohomegps.com/portfolio-items/sensor-combustible/> .[Acceso: agosto 09, 2022].

Para el control y verificación del caudal se usará un sensor de flujo, este permite ser adecuado a la tubería de acuerdo con el diámetro midiendo el caudal que pasa en contacto con este, su configuración permite ser conectado a un display que recibe la señal emitida.

## Figura 20

Sensor de flujo



**Nota:** Configuración de sensor de flujo en tubería. Tomado de: CERO. (s.f)."Sensor de flujo electromagnético", [En línea] <https://0grados.com.mx/sensor-de-flujo-electromagnetico/> .[Acceso: agosto 09, 2022].



Por último, para controlar y verificar el nivel de agua en el tanque se usará un sensor de nivel de agua, su función se basa en la medición del nivel de un fluido en un tanque, en caso de que exista una desviación en la medida a controlar el sensor emitirá un fallo directo en la pantalla de control

### Figura 21

Sensor de nivel de agua



**Nota:** Sensor de agua enfocado. Tomado de: Mechatronic store cl. (s.f)."Sensor de nivel de agua tipo flotador horizontal", [En línea]

<https://www.mechatronicstore.cl/sensor-de-nivel-de-agua-flotador-zpc5/> .[Acceso: agosto 09, 2022].

Para la recepción de las señales emitida por los sensores y para que el usuario pueda saber que todo esta en control se usara un dsplay digital.Su funcion es resivir las señales emitidas por los sensores y mostrar en la pantalla si los varoles de las señales son los correctos y asi permitirl al usuario el inicio del ensayo.

## Figura 22

Display para sensores

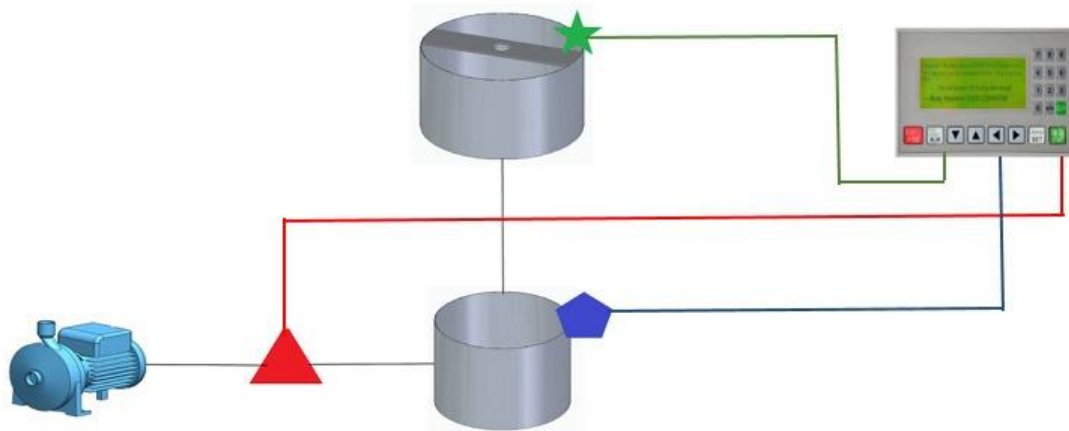


**Nota:** Pantalla de verificación de sensores. Tomado de: MAZ. (s.f). "PANTALLA HMI PARA PLC", [En línea] <https://mazcr.com/automatizacion/1116-pantalla-hmi-para-plc.html> .[Acceso: agosto 09, 2022].

Como se ve en la figura 23 se realizó un diagrama de cómo se ubicaría cada sensor dentro de la disposición de la maquina Jominy, también se hace énfasis en cómo se realizaría la conexión con el display.

**Figura 23**

Diagrama sensores






**Nota:** Ubicación sensores.

**Tabla 9**

Simbología diagrama

SIMBOLO	SIGNIFICADO
	Bomba
	Tanque porta probetas
	Tanque alimentador
	Pantalla verificadora

	Sensor de flujo de agua
	Sensor de temperatura
	Sensor nivel de agua

**Nota:** Asignación simbología.

### 13. DISEÑO APLICATIVO

Como parte del diseño del dispositivo se desarrolló un aplicativo que permite graficar los datos de distancia vs dureza obtenidos en el ensayo Jominy, además permite comparar las características principales de los aceros más comerciales con el acero del que está elaborado la probeta.

Para la programación de la aplicación se evaluaron diferentes softwares comerciales como Visual Basic, Excel, Python, Matlab, etc. Pero se decidió desarrollarla en Excel (Figura 24) debido a su facilidad de generar una interfaz amigable y cómoda, también porque permite albergar bases de datos junto a formas de interfaz, característica que no poseen los demás programas. También Excel es un programa incorporado en todos los ordenadores que tengan Windows como sistema operativo lo que permite que el aplicativo desarrollado pueda ser usado con facilidad en cualquier computador. Asimismo, los demás softwares exigen un espacio relevante en el disco duro para su instalación lo que dificultaría la accesibilidad al uso del aplicativo.

**Figura 24**

Forma en Excel



**Nota:** Pantalla de inicio del aplicativo

Se identificó la falta de precisión a la hora de desarrollar la gráfica distancia vs dureza ya que tenía que ser elaborada manualmente por los estudiantes. Dada esta situación y con ayuda de la norma ASTM-A255 se establecieron valores fijos a la hora de ingresar los datos de distancia, los valores de dureza son obtenidos por el estudiante (Figura 25).

**Figura 25**

Registro valores dureza

DISTANCIA		DUREZA	
#1	1.6 mm	#19	35.0 mm
#2	3.2 mm	#20	38.1 mm
#3	4.8 mm	#21	44.5 mm
#4	6.4 mm	#22	50.8 mm
#5	8.0 mm		
#6	9.6 mm		
#7	11.2 mm		
#8	12.8 mm		
#9	14.4 mm		
#10	16.0 mm		
#11	17.6 mm		
#12	19.2 mm		
#13	20.8 mm		
#14	22.4 mm		
#15	24.0 mm		
#16	25.6 mm		
#17	28.5 mm		
#18	31.7 mm		

**Nota:** Pantalla de ingreso de valores de dureza

Al momento de generar la impresión no solo se imprime la gráfica si no también la tabla con los valores registrados, información del grupo de trabajo y el tipo de acero que se trabajó (Figura 26). El aplicativo facilitara a los grupos de laboratorio la identificación por medio de graficas precisas el comportamiento del metal que fue sometido al ensayo Jominy.

**Figura 26**

Información impresa



**Nota:** Pantalla de resultados

## 14. GUÍA DE LABORATORIO

 Fundación <b>Universidad de América</b> Código SNIES 1715	Código: IN-LAB-36	Fecha: mayo de 2022	Versión: 01
	Proceso: Laboratorios	Instructivo: Ensayo de Templabilidad	

Fecha de actualización: MAYO DE 2022

Asignatura

**TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

Nombre de la práctica

: **PRUEBA DE TEMPLABILIDAD JOMINY**

Número de la práctica

**3**

Realizó	Revisó	Aprobó
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público



 Fundación <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

#### Objetivo de la práctica:

Conocer y realizar la prueba Jominy, para determinar la templabilidad de un acero.

Determinar y comparar la dureza a lo largo de la probeta de Jominy de acuerdo a diversas velocidades de enfriamiento

Definir una curva de templabilidad

Establecer la dureza máxima que puede obtener la probeta en escala rockwell C

#### Responsable de la práctica:

Docente Tratamientos térmicos.

#### 1. Introducción de la práctica:

Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3.000 a.C., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Adicionalmente, los griegos ya conocían hacia el 1.000 a.C., la técnica para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico. Las producidas por los primeros artesanos del hierro, y todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.C., se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Es importante destacar que para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0.1% de otras impurezas. En ocasiones, esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente. Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño, el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que se funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero. La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. Desde 1960 empezaron a funcionar hornos más pequeños que empleaban electricidad para también producir acero a partir de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos y la innovación en las plantas siderúrgicas siguen siendo esencial para producir acero a partir de mineral de hierro y ambas tecnologías son indispensables en el mundo actual.

El tratamiento por excelencia para obtener mayor dureza del acero es el templado (enfriamiento rápido), pues, debido al brusco cambio de temperatura que sufre el material, se produce una fase en el acero llamada martensita. Esta fase es la responsable de que el acero templado sea el más duro. A partir de las medidas de dureza se puede encontrar la templabilidad, la cual es una medida cualitativa de la velocidad con que la dureza disminuye con la disminución de la velocidad de enfriamiento, es decir, la capacidad de templarse a distintas velocidades de enfriamiento.

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

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

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 Fundación <b>Universidad de América</b> Código SNIES 1715	Código: IN-LAB-36	Fecha: mayo de 2022	Versión: 01
	Proceso: Laboratorios	Instructivo: Ensayo de Templabilidad	

## 2. Marco teórico:

El acero, con la excepción de algunos tipos especiales, puede ser endurecido por calentamiento a temperatura elevada y rápido enfriamiento posterior. Al proceso mediante el cual el acero se incrementa a su máxima dureza también se le conoce como temple o templado. Es cierto que cada acero requiere su temperatura particular de calentamiento para temple, pero las experiencias demuestran que la temperatura para conseguir el máximo de endurecimiento es afectada, de manera regular, por el contenido de carbono en el acero. temple consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada; mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar bruscamente en el medio correspondiente según el tipo de acero.

W. Yominy, desarrolló un método relativamente sencillo y rápido, que permite reproducir en una sola probeta, las sucesivas velocidades de enfriamiento. El ensayo consiste en enfriar una probeta normalizada (Probeta Yominy) y obtener de ella, las diferentes curvas de dureza que corresponden a las diferentes velocidades de enfriamiento, que se manifiestan a lo largo de la pieza.

La probeta es de forma cilíndrica con las dimensiones que indica la grafica1. En un extremo, presenta una pestaña para que sea montada en el dispositivo de enfriamiento, en las Normas ISO, ASTM, SAE o IRAM, figuran los procedimientos de extracción de la pieza a ensayar, tratamiento térmico previo, tipo de mecanizado y cuidados en el calentamiento de la probeta. Antes del mecanizado, el material tiene que ser normalizado a una temperatura de  $Ac3 + 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si la pieza aún esta dura se practicará un revenido de unos  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  por debajo de  $Ac1$ . Mecanizada la probeta se la calienta para temple a una temperatura de  $Ac3 + 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en esta etapa, se debe evitar las descarburaciones u oxidaciones rodeándola en una caja con virutas de fundición. El acero permanece a temperatura de austenización durante 30 minutos, luego enfriamos la probeta. El dispositivo de enfriamiento, consta de elemento para sujetar la pieza y debe poseer un chorro de agua de caudal y temperatura constante al momento del ensayo, el chorro de agua, incidirá en la parte baja del cilindro. Dadas las condiciones de estandarización de este ensayo, siempre lograremos, para cualquier acero, la misma velocidad de enfriamiento. La conductividad térmica es prácticamente la misma para todos los aceros de construcción, por lo que, a distancias iguales desde el extremo, tendremos siempre la misma velocidad de enfriamiento para cualquier acero. Se extrae la probeta del horno, se la monta en menos de 5 segundos en el dispositivo de enfriamiento, se la deja enfriar en el chorro de agua unos 10 minutos, se la saca del equipo y se la enfría en agua.

Sobre esas superficies aplanadas, se toman las durezas Rockwell "C" a intervalos iguales de distancia a partir del extremo enfriado.

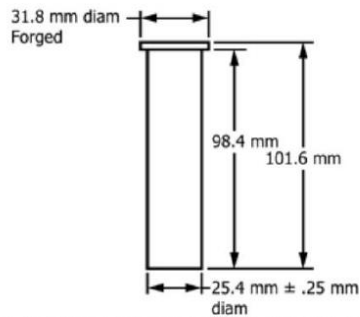


FIGURA 1.DIMENSIONES DADAS POR LA NORMA ASTM-A255

Realizó	Revisó	Aprobó
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

*Clasificación del documento: público*

 Fundación <b>Universidad de América</b> Código SNIES 1715	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

La curva de Yominy, nos da una idea de la templabilidad del acero. Un acero será más templable cuanto menor sea la caída de la dureza, en la medida que me alejo del extremo enfriado. Vemos que cada aleación, tiene su banda particular de templabilidad. En el gráfico 2 de abajo, notamos que la templabilidad aumenta en función del contenido de C, pero, es muy importante el elemento aleante que acompaña al acero, los acero al Molibdeno, son mucho más templables que los aceros al C.

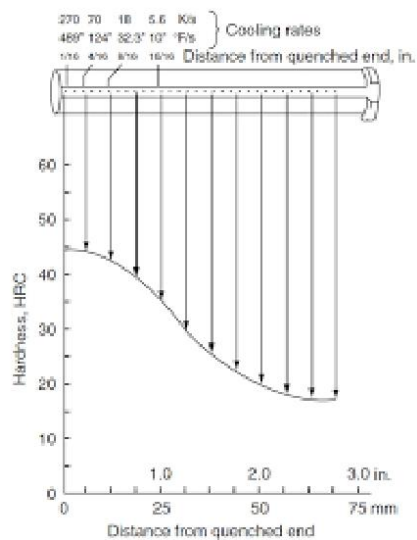


FIGURA2.DISTANCIA VS DUREZA

### 3. Equipos requeridos para la práctica:

Hornos -Mufa  
Durómetro  
Pinzas de sujeción  
Equipo de preparación de muestras metalográficas.  
Microscopios metalográficos.  
Elementos para desbaste y pulido  
Guantes de asbesto  
Barra de acero con dos superficies planas, paralelas longitudinalmente a una profundidad de 1/5 de pulgada.  
Dispositivo Jominy para llevar acabo la práctica (se encuentra instalado en el laboratorio).

Por cada grupo de 4 personas:

Probetas Jominy 1070, 4140, 4340, O1, H14, K100 Y K455 .

- Diversos medios de enfriamiento

Realizó	Revisó	Aprobó
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 <b>Fundación Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

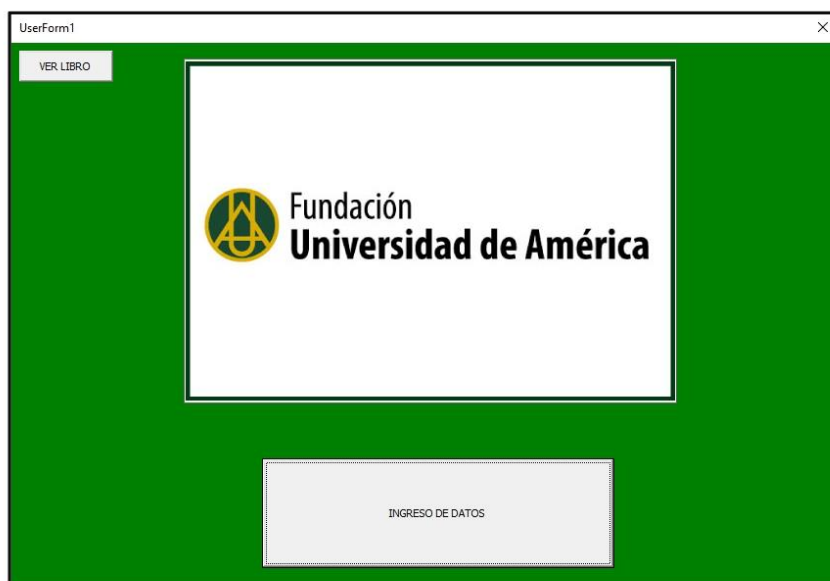
**4. Reactivos requeridos para la practica**

No aplica

**5. Instructivo uso de programa generador de grafica**

A continuación, se explicará el paso a paso para el uso correcto del programa graficador

Se hace doble click sobre el archivo, al hacer esto se abrirá la pantalla principal



Como se puede ver existen dos opciones, la primera ubicada en la parte superior izquierda con el nombre de VER LIBRO se recomienda hacer uso de esta opción estrictamente para modificación de la interfaz y deberá ser realizada por el encargado de laboratorio. La segunda opción con el nombre de INGRESO DE DATOS permitirá el registro inicial de los integrantes del grupo de laboratorio

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 <b>Fundación</b> <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

El formato permite el registro de hasta 5 estudiantes además permite registrar el acero del que está fabricada la probeta, en el lado derecho de la página se encuentran 5 botones explicados a continuación:

- **REGISTRAR INFORMACION:** Permite registrar los datos de los participantes del grupo en la base de datos
- **AVANZAR:** Permite abrir la siguiente interfaz después de registrar los datos de los estudiantes
- **LIMPIAR MEMORIA:** Permite limpiar la base datos con información de ensayos anteriores, es muy importante hacer uso de este botón antes de registrar cualquier información
- **MAS SOBRE...:** Abre un menú con tablas que contienen información sobre los haceros más usados, este menú será explicado a continuación

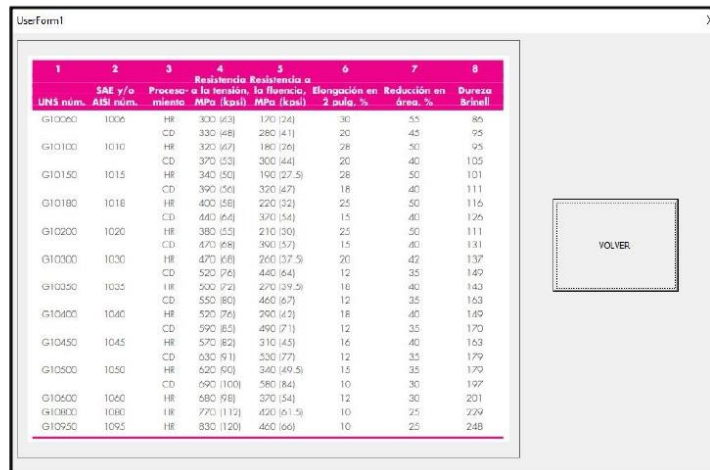
<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

*Clasificación del documento: público*



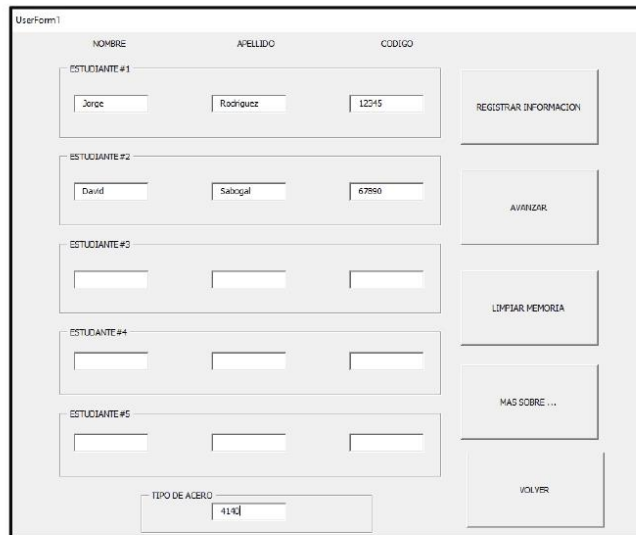
 <b>Fundación</b> <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

Después de dar click en el botón MAS SOBRE... se despliega el menú el cual permite ingresar a diferentes tablas con información general de los aceros, este permite interactuar y comparar de manera práctica información fundamental sobre los aceros más comunes



1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proceso o la tenación, el miento	Resistencia a la tensión, MPA (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPA (kpsi)	Elongación en 2 pulg. %	Reducción en área. %	Dureza Brinell
G10090	1009	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	85
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	26	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	16	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10400	1040	HR	580 (85)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Se ingresa a las tablas acorde al tipo de acero sobre el cual se desea la información



Formulario de registro con los siguientes campos:

- NOMBRE: ESTUDIANTE #1 (Jorge)
- APELLIDO: Rodríguez
- CODIGO: 12245
- ESTUDIANTE #2: David Sabogal, 67560
- ESTUDIANTE #3: (Campos vacíos)
- ESTUDIANTE #4: (Campos vacíos)
- ESTUDIANTE #5: (Campos vacíos)
- TIPO DE ACERO: 4140

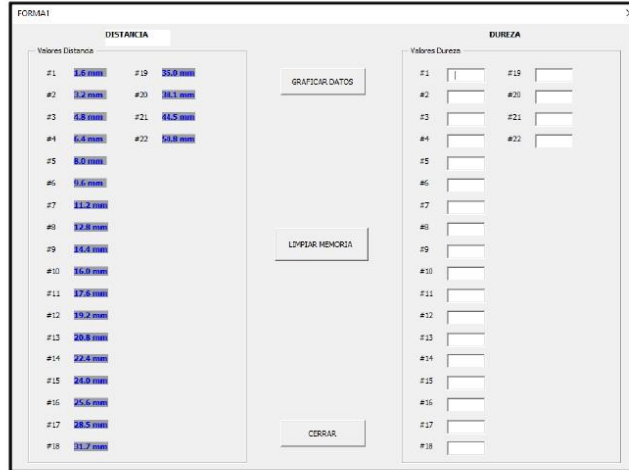
Botones de acción: REGISTRAR INFORMACION, AVANZAR, LIMPIAR MEMORIA, MAS SOBRE..., VOLVER.

De vuelta al menú de registro, una vez se llenan los datos en los campos se da click en el botón REGISTRAR INFORMACION después se da click en AVANZAR para acceder al siguiente menú

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 <b>Fundación</b> <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

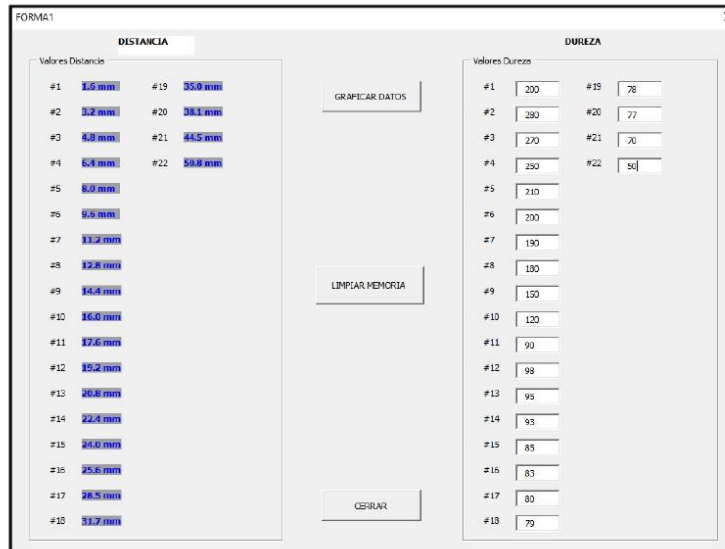


FORMA1

DISTANCIA		DUREZA	
#1	1.6 mm	#19	35.0 mm
#2	3.2 mm	#20	
#3	4.8 mm	#21	44.5 mm
#4	6.4 mm	#22	51.8 mm
#5	8.0 mm		
#6	9.6 mm		
#7	11.2 mm		
#8	12.8 mm		
#9	14.4 mm		
#10	16.0 mm		
#11	17.6 mm		
#12	19.2 mm		
#13	20.8 mm		
#14	22.4 mm		
#15	24.0 mm		
#16	25.6 mm		
#17	28.5 mm		
#18	31.7 mm		

Buttons: **GRAFICAR DATOS**, **LIMPIAR MEMORIA**, **CERRAR**

Una vez abierto el menú es sumamente importante dar click en LIMPIAR MEMORIA para borrar información de ensayos anteriores y no generar conflictos en el almacenamiento de los datos. Las distancias de la toma de la muestra de dureza están predeterminadas por la norma ASTM-A255



FORMA1

DISTANCIA		DUREZA	
#1	1.6 mm	#19	35.0 mm
#2	3.2 mm	#20	38.1 mm
#3	4.8 mm	#21	44.5 mm
#4	6.4 mm	#22	51.8 mm
#5	8.0 mm		
#6	9.6 mm		
#7	11.2 mm		
#8	12.8 mm		
#9	14.4 mm		
#10	16.0 mm		
#11	17.6 mm		
#12	19.2 mm		
#13	20.8 mm		
#14	22.4 mm		
#15	24.0 mm		
#16	25.6 mm		
#17	28.5 mm		
#18	31.7 mm		

Buttons: **GRAFICAR DATOS**, **LIMPIAR MEMORIA**, **CERRAR**

Una vez registrados los datos para cada distancia en la parte derecha del menú, se da click en GRAFICAR DATOS para generar la gráfica Distancia vs Dureza

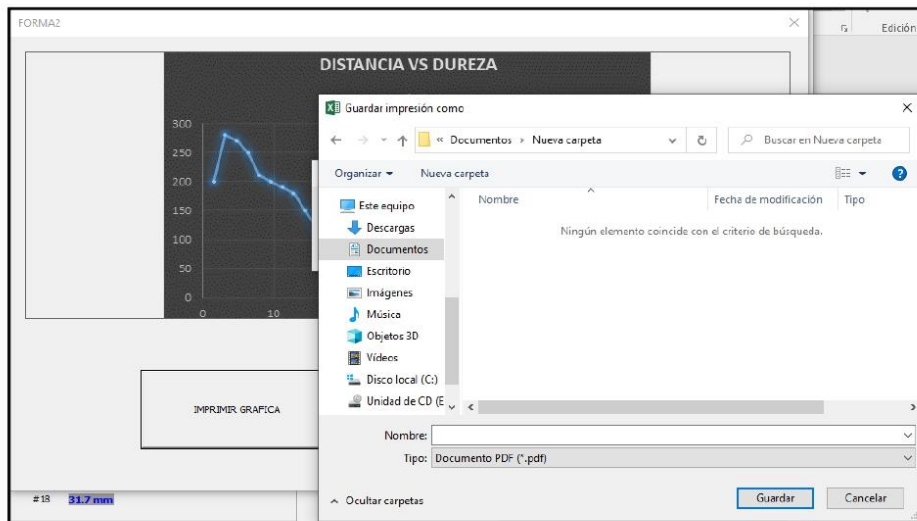
<b>Realizó</b> Jorge Rodríguez / David Sabogal	<b>Revisó</b> Coordinadora de Laboratorios y Talleres	<b>Aprobó</b> Decano / Director del departamento
---	--	---

Clasificación del documento: público

 <b>Fundación</b> <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	



Una vez generada la gráfica Distancia vs Dureza se podrá generar un PDF con la información registrada durante el proceso incluyendo la gráfica




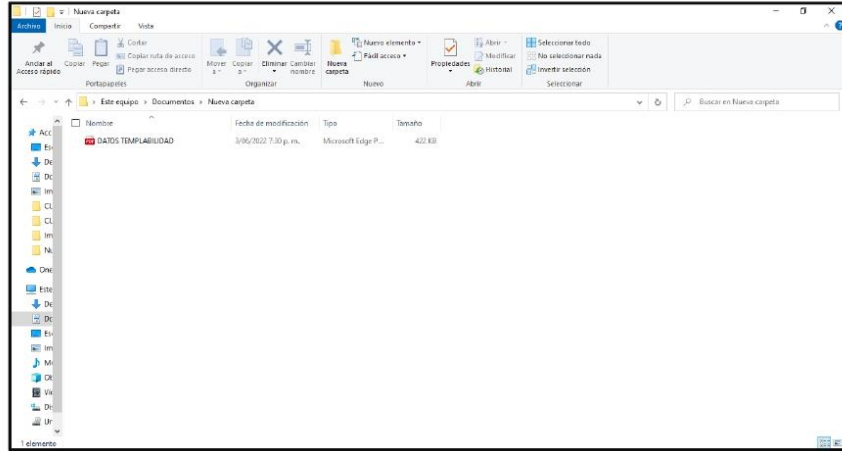
Se permite escoger en qué lugar se guardará el PDF para su fácil acceso

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

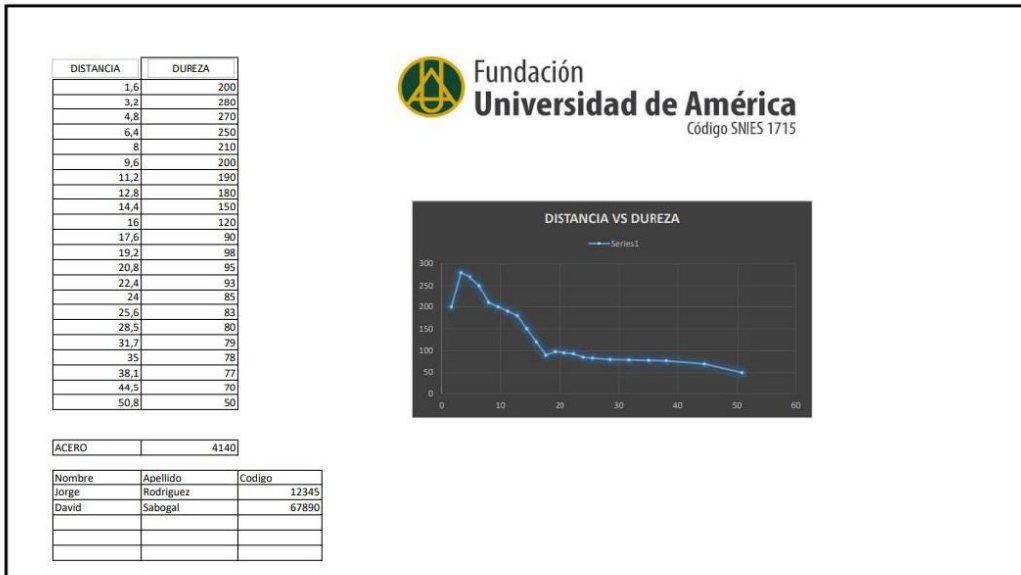
Clasificación del documento: público



 <b>Fundación Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	



La grafica se guardó exitosamente en el lugar elegido



El PDF es de gran uso para visualizar el comportamiento de la templabilidad en el material

<b>Realizó</b> Jorge Rodriguez / David Sabogal	<b>Revisó</b> Coordinadora de Laboratorios y Talleres	<b>Aprobó</b> Decano / Director del departamento
---	--	---

Clasificación del documento: público

 Fundación <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

#### 6. Métodos y procedimientos:

- 1.- La barra de acero que va a ensayarse tiene 4 pulgadas de longitud y una pulgada de Diámetro, cuenta con dos caras planas paralelas a los costados y además tiene un reborde en el extremo superior de la barra, el cual tiene como objetivo sostener la pieza.
- 2.- Se calienta la barra en la mufla hasta alcanzar la temperatura de austenización y se mantiene así durante 30 min. Aproximadamente.
- 3.-A continuación, se coloca la probeta en el dispositivo.
- 4.-Se verifica por medio de la pantalla que todas las variables estén correctas
- 5.- El agua se suelta rápidamente de modo que el chorro golpee sólo el extremo de la barra, el extremo templado se enfría rápidamente y las regiones que quedan lejos del extremo se enfrían a velocidades proporcionales a su distancia de la porción templada.
- 6.- Después de que la barra esté fría, se retira del soporte y se toman medidas de la dureza Rockwell C cada 1/16 de pulgada.
- 7.- Se deberá insertar los datos de dureza en el software para generar la gráfica Distancia vs Dureza

#### 7. Normas de seguridad:

Todos los participantes en la práctica deberán utilizar:

Bata para laboratorio  
Gafas de seguridad

Guante de nitrilo resiste a los reactivos químicos.

Para el ingreso y retiro de probetas de la mufla se debe contar con:

Pinzas con longitud del mango 600 mm para conseguir una distancia suficiente con el horno caliente y una gran profundidad de inmersión en el baño de enfriamiento

Guantes contra riesgo térmico

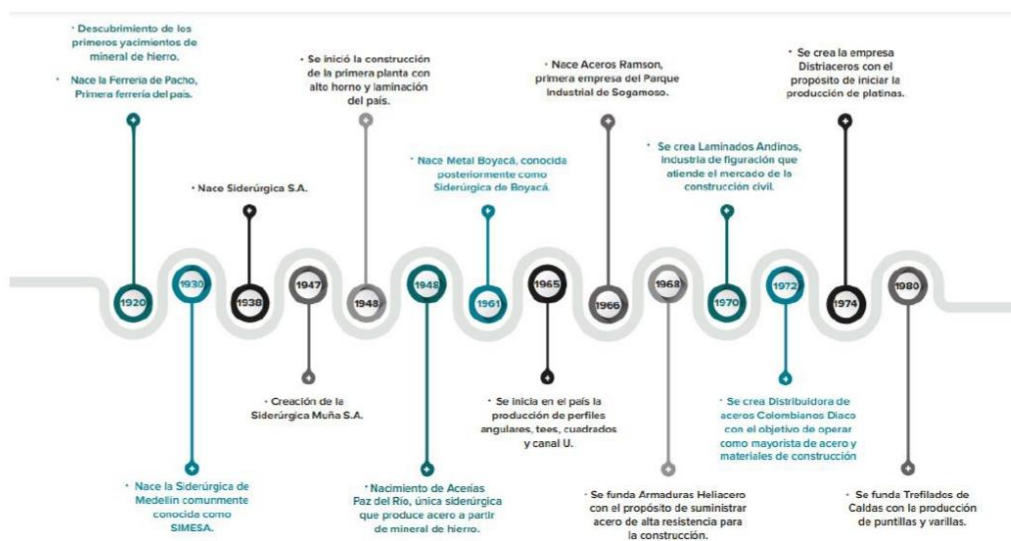
<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 <p>Fundación Universidad de América Código SNIES 1715</p>	Código: IN-LAB-36	Fecha: mayo de 2022	Versión: 01
	Proceso: Laboratorios	Instructivo: Ensayo de Templabilidad	

## 8. Anexos:

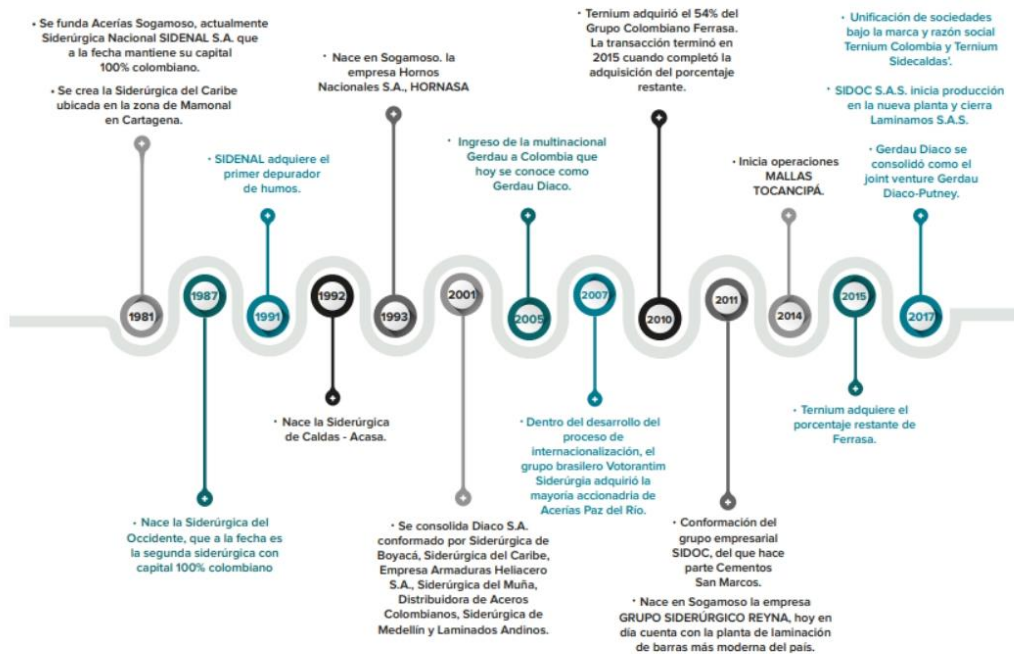
### HISTORIA DEL ACERO EN COLOMBIA



Realizó	Revisó	Aprobó
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

*Clasificación del documento: público*

 <p>Fundación Universidad de América Código SNIES 1715</p>	Código: IN-LAB-36	Fecha: mayo de 2022	Versión: 01
	Proceso: Laboratorios	Instructivo: Ensayo de Templabilidad	



### Questionario

- ¿Cuál es la diferencia entre temple y templabilidad?
- ¿La barra que sometimos a la prueba, tenía un tratamiento térmico previo? ¿Sí o No? Y ¿Por qué?
- ¿Bajo qué norma de aceros está regulado esta guía de laboratorio?
- ¿Esta prueba es exclusiva de los aceros o también la podemos emplear en otro tipo de materiales, por que
- ¿Cómo podríamos determinar cuándo un acero cuenta con una buena templabilidad Después de hacerle la prueba?
- ¿Cuál es la diferencia entre un acero de alta y un acero de baja?
- ¿Quién desarrollo el método de enfriamiento?
- ¿Porque la dureza se mide desde la cara de abajo?
- ¿Qué es un tratamiento térmico?

Realizó	Revisó	Aprobó
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

*Clasificación del documento: público*

 Fundación <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

### 9. Bibliografía - Referencias:

*Soporte bibliográfico de la práctica.*

AVNER, S. H. Introducción a la Metalurgia física. Mc Graw hill 1995

BRICK, R.M., PENSE, A.W. y GORDON, R.B. Structure and properties of engineering Materials, Mc Graw Hill 1977.

GOMEZ MORENO, O. J. Manual de laboratorio de Tratamientos térmicos UIS

ASTM, "Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel", West Conshohocken, PA 19428-2959. United States. [PDF]. Disponible: <https://www.astm.org/Standards/A255.html> [Acceso: may, 20, 2022]

U. TN, "TEMPLABILIDAD-ENSAYOMINY", Universidad Tecnológica Nacional [En línea]. Disponible: <http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/mecanica/Ensayo%20de%20Jominy.pdf> [Acceso: may, 20, 2022]

J.A PEREZ.P, *TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS*, tesis maestría, FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA y ELECTRICA, UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON, Mexico, 1996 [En línea]. Disponible: <http://eprints.uanl.mx/435/1/1020115008.PDF> [Acceso: may, 20, 2022]

COMITÉ COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE ACERO, "EL ACERO COLOMBIANO, COLUMNA VERTEBRAL PARA EL PROGRESO DEL PAÍS", ANDI, Bogota [En línea]. Disponible: <http://www.andi.com.co/Uploads/LIBRO%20ACERO%20FINAL%20-%20BAJA.pdf> [Acceso: may, 20, 2022]

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

Clasificación del documento: público

 <b>Fundación</b> <b>Universidad de América</b> <small>Código SNIES 1715</small>	<b>Código:</b> IN-LAB-36	<b>Fecha:</b> mayo de 2022	<b>Versión:</b> 01
	<b>Proceso:</b> Laboratorios	<b>Instructivo:</b> Ensayo de Templabilidad	

Control de cambios		
Fecha del cambio	Versión	Motivo del cambio

<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
Jorge Rodríguez / David Sabogal	Coordinadora de Laboratorios y Talleres	Decano / Director del departamento

*Clasificación del documento: público*

## 15. COSTOS

A continuación, se presentan para futuras cotizaciones, una pequeña tabla donde se expusieron los precios de los materiales y la mano de obra, aquí tendrán los precios que actualmente se consiguen en los mercados. Este costo se puede incrementar debido a percances que existan en un futuro y que no estén sujetos a cambios por el IVA u otro factor.

**Tabla. 10**

Análisis de costos

ITEMS	Unidad de medida	Cantidad	Valor de unidad	Valor total	
Display - verificador	Pantalla	1	\$ 202.604,00	\$ 202.604,00	ANEXO 4
Sensor de temperatura	Sensor	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	ANEXO 5
Sensor nivel de agua	Sensor	1	\$ 85.766,00	\$ 85.766,00	ANEXO 6
Sensor de flujo	Sensor	1	\$ 20.347,00	\$ 20.347,00	ANEXO 7
				\$ 318.717,00	
Lamina de acero AISI 304L	Laminas de 1m x1m calibre 14	2	\$ 86.827,00	\$ 173.654,00	ANEXO 8
Electrodo WEST INOX 308L-16	Cajas	3	\$ 91.900,00	\$ 275.700,00	ANEXO 9
Acero estructural A36	Laminas de 3m x 6 m calibre 12	2	\$ 177.990,00	\$ 355.980,00	ANEXO 10
Elaboracion tanques y estructura	Dispositivo	1	\$ 420.000,00	\$ 420.000,00	
				\$ 1.225.334,00	
Tubo galvanizado 1 <sup>1/2</sup> n	Material hidraulico	3	\$ 45.756,00	\$ 137.268,00	ANEXO 11
Tubo galvanizado 1 <sup>1/4</sup> n	Material hidraulico	9	\$ 8.390,00	\$ 75.510,00	ANEXO 12
Codos 1 <sup>1/4</sup> n	Material hidraulico	8	\$ 3.000,00	\$ 24.000,00	ANEXO 13
Codos 1 <sup>1/2</sup> n	Material hidraulico	2	\$ 3.890,00	\$ 7.780,00	ANEXO 14
Electro bomba	Material hidraulico	1	\$ 466.900,00	\$ 466.900,00	ANEXO 15
Union en T	Material hidraulico	1	\$ 3.690,00	\$ 3.690,00	ANEXO 16
Union universal	Material hidraulico	2	\$ 13.990,00	\$ 27.980,00	ANEXO 17
Valvula Check	Material hidraulico	1	\$ 66.900,00	\$ 66.900,00	ANEXO 18
Valvula de bola	Material hidraulico	1	\$ 23.000,00	\$ 23.000,00	ANEXO 19
				\$ 810.028,00	
Ingeniero/diseñador	Horas trabajadas	600	\$ 2.165,93	\$ 1.299.555,62	ANEXO 20
Asesoría/consultoría	Horas trabajadas	8	\$ 20.000,00	\$ 160.000,00	ANEXO 20
Solid Edge Design and Drafting	subscripción mensual	2	\$ 440.000,00	\$ 880.000,00	ANEXO 21
Transporte (visitas de campo)	viajes (ida-vuelta)	12	\$ 5.000,00	\$ 60.000,00	
				\$ 2.399.555,62	
<b>TOTAL PROYECTO</b>				\$ 4.753.634,62	

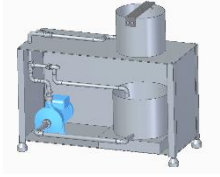
**Nota.** Descripción de los costos de fabricación

## 15.1 Análisis de costos

Después de realizar una matriz DOFA con los dispositivos que actualmente están en el mercado para un ensayo Jominy, la búsqueda se enfocó principalmente en la norma que rige el diseño, el precio y sus dimensiones. Una vez diseñada la maquina en este proyecto, se calculó un aproximado de cuánto costaría elaborarlo, sin tener cuenta las variaciones en los impuestos que se puedan generar en un futuro y se comparó con los dispositivos del mercado que brindan información sobre su precio.

Dispositivo	Precio en COP
 <p data-bbox="203 976 633 1123">DHARA AGENCY, INDIA AUTOMATICA S3848–1981 and ASTM-A255</p>	<p data-bbox="824 808 1015 840">1'659.483,96</p>
 <p data-bbox="203 1417 571 1564">S. M. Engineers, INDIA AUTOMATICA S3848-1981 ASTM A-255</p>	<p data-bbox="824 1312 1015 1344">2'042.441,79</p>
 <p data-bbox="203 1843 430 1875">Liangong, china</p>	<p data-bbox="824 1690 1031 1722">29'934.975,00</p>



Semiautomática	
 <p>Diseño propuesto por los autores, automática, norma ASTM-A255</p>	4'753.634,62

Como se pudo observar por la diferencia de precios podemos encontrar diferentes opciones que pueden servir para el laboratorio de tratamientos térmicos de la Fundación Universidad de América, pero estos dispositivos están sujetos a una normatividad diferente de diseño que pueden concluir en una variación en los resultados de sus ensayos, por otro lado, los dispositivos que se encuentran en el mercado solo tienen el precio de fábrica, mas no está incluido el precio de importación, aranceles e impuestos que puedan llegar a generarse. Cada máquina tiene unas dimensiones distintas, pero que pueden perfectamente funcionar en el laboratorio sin incomodar a nadie. Dependiendo de la función, el tipo de ensayo y las ganancias que se puedan generar por parte de cada máquina se puede optar por alguna ya que cumplirá con su función.

Aparte de los beneficios económicos que se pueden obtener de la construcción del dispositivo para ensayo Jominy, se quiere incentivar a la empresa colombiana, desde la obtención de los materiales, que son productos de buena calidad, pasando por la parte del proceso de construcción ya que existen buenas empresas colombianas que realizan muy buenas construcciones de estructuras y proyectos. La idea principal de este proyecto fue el aporte a la sociedad colombiana para incentivar en cierta medida la economía y resaltar los trabajos que se realizan en esta sociedad.

## 16.CONCLUSIONES

Al momento de diseñar es muy importante tener la normativa adecuada para una buena ejecución del proyecto y así los objetivos a desarrollar serán claros, esto permitiría que el progreso del diseño planteado se ajuste a las necesidades identificadas para darles una solución.

Analizar las maquinas que se encuentran en el mercado permite realizar un estudio sobre beneficios, fortalezas, limitaciones, etc., da una idea clara de la situación para poder solucionar y mejorar las posibles debilidades que se puedan encontrar en el diseño que se realice.

La ayuda de un software para analizar, observar y simular las condiciones a las que se encuentra el diseño, facilita la identificación de fallas y errores en el mismo.

Es esencial el uso y selección de los materiales correctos para evitar daños, malos procesos y alzas en los costos de producción y fabricación, así, no incurrir en fallas a futuro que pueda poner en riesgo la integridad de una persona.

Al desarrollar las cotizaciones se observó que el diseño tiene un precio relativamente bajo comparándolo con los equipos que hay en el mercado. La cotización de este proyecto no supera los cinco millones, en cambio el dispositivo más económico encontrado ronda los seis millones, si se tiene en cuenta los aranceles, impuestos y trámites de importación.

Los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera fueron fundamentales para la identificación y solución de una problemática presentada en la materia de tratamientos térmicos. Estos conocimientos permitieron desarrollar un proyecto que solvento la necesidad.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. G. F. F. Giroto et al., "Development and Financial Analysis for the Elaboration Jominy Test Device: Conception of an Engineering Project from the Point of View Undergraduate Students", *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 7, n. ° 6, pp. 331–336, 2020. [En línea]. Disponible: <https://ijaers.com/detail/development-andfinancial-analysis-for-the-elaboration-jominy-test-device-conception-of-an-engineeringproject-from-the-point-of-view-undergraduate-students/> (Acceso: noviembre 9,2021).
- [2] M. Ueno, K. Nakamura, K. Ito y H. Minematsu, "Development of automatic jominy test apparatus", *Tetsu-to-Hagane*, vol. 68, n. ° 1, pp. 155–161, 1982. [En línea]. Disponible: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tetsutohagane1955/68/1/68\\_1\\_155/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tetsutohagane1955/68/1/68_1_155/_pdf/-char/en) (Acceso: noviembre 9,2021).
- [3] ASTM," Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel", West Conshohocken, PA 19428-2959. United States. [PDF]. Disponible: <https://www.astm.org/Standards/A255.htm> [Acceso: nov,9,2021].
- [4] S. Hadi, E. Widiyono, W. Winarto y D. Z. Noor, "EMS-45 tool steels hardenability experiment using jominy ASTM A255 test method", *IPTEK the Journal for Technology and Science*, vol. 24, n. ° 1, abril de 2013. Disponible: <https://iptek.its.ac.id/index.php/jts/article/view/137> (Acceso: noviembre 9,2021).
- [5]. -K. Hwang, "Effects of water jet height and end dipping on the cooling rate and hardenability in the jominy end quench test", *Processes*, vol. 9, n. ° 4, p. 607, marzo de 2021. Disponible: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/4/607#cite> (Acceso: noviembre 9,2021).
- [6] M. Hassan, M. Mehdi, M. Owais, M. Nasir, y S. Haider, "Design and Fabrication of Jominy End-Quench Testing Machine: Hardenability Evaluation of AISI-8620 Case-Hardening Steel," *Journal of Testing and Evaluation* 46, no. 1 (2018): 305-316. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1520/JTE20170185> [Acceso: Sep.30,2021]

[7] G.M Alarcón L, C.A Berrocal R, *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA MAQUINA DE ENSAYO JOMINY PARA LA DETERMINACIÓN DE TEMPLABILIDAD DE ACEROS ALEADOS SEGÚN NORMA ASTM A255 PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA DE LA UCSM*, tesis pre, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, 2018

[8] D.F Garzón C, C.D Mosquera S, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY CON CALENTAMIENTO DE PROBETAS POR INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.*, tesis pre, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica, Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia, 2021

[9]J. Apraiz Barreiro, *Tratamientos Térmicos de los Aceros*, 1a ed. Madrid: Nuevas Gráficas, S. A,1949.

[10]Escuela Colombiana de Ingeniería," *Tratamientos Térmicos Protocolo*". Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Gravito, [En Línea]. Disponible: [https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/1537\\_tratamientostermicosr2.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=xiYFtuTcLJOVGI5p%2FcW9jhQPIBg%3D&Expires=1637726245](https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/1537_tratamientostermicosr2.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=xiYFtuTcLJOVGI5p%2FcW9jhQPIBg%3D&Expires=1637726245) [Acceso: oct.6,2021]

[11] Interempresas. (julio 1,2002). "Introducción a los tratamientos térmicos". [En Línea]. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/2506-Introduccion-a-lostratamientos-termicos.html>. [Acceso: Oct 6,2021].

[12] Guía y tablas técnicas de los aceros,2 ed. Ferrocortes S.A.S, Medellín, Colombia,2013, pp.21. [En línea]. Disponible: <https://www.ferrocortes.com.co/>.

[13] "Nomenclatura de los aceros". [En Línea]. <https://www.thefinitelement.com/ejercicios-resueltosde-arreglos-atomicos/12-materials-science/44-nomenclatura-de-los-aceros>. [Acceso: octubre 9,2021].

[14] E.A. Chala, "Unidad III - 1 Tratamientos Térmicos", presentado a la clase de tratamientos térmicos, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, May,12,2020. [Diapositivas de PowerPoint]Acceso: Oct,13,2021.

[15] ASTM, "Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel", West Conshohocken, PA 19428-2959. United States. [PDF]. Disponible: <https://www.astm.org/Standards/A255.htm>. [Acceso: sept,13,2021]

[16] A.E. Sturla, Tratamientos Térmicos de los Aceros, 1a.ed., Argentina: Nueva Librería SRL,2022

[17] E.A. Chala, "Unidad III - 1 Tratamientos Térmicos", presentado a la clase de tratamientos térmicos, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, May,19,2020. [Diapositivas de PowerPoint]Acceso: Oct,16, 2021.

[18] W.D. Callister, Jr, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 2a ed. Barcelona: Editorial Reverte,2015.

[19] U.T.N, "TEMPLABILIDAD-ENSAYO YOMINY". U.T. N, [En Línea]. Disponible: <http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/mecanica/Ensayo%20de%20Jominy.pdf>

[Acceso: jul. 14,2022]

[20] P.A. Fernández, "GUIA: Diagramas TTT, CCT. Tanto en enfriamiento continuo (Continuous Cooling Transformation, CCT) como isotérmicas (Temperatura-Tiempo-Transformación, TTT). - No. 10 -", Uptc, Tunja, Reporte 10, [En línea]. Disponible: [https://eds.p.ebscohost.com/eds/results?vid=2&sid=f062416d-042e-4cf9-9bd5-0b16863af55d%40redis&bquery=GUIA%3a++Diagramas+TTT%2c+CCT.+Tanto+en+enfriamiento+continuo+\(Continuous+Cooling+Transformation%2c+CCT\)+como+isotérmicas+\(Temperatura-Tiempo-Transformación%2c+TTT\).+-+No.+10+&bdata=JmNsaTA9RIQxJmNsdjA9WSZsYW5nPWVzJnR5cGU9MCZzZWVzY2hNb2RIPUFuZCZzaXRIPWVky1saXZl](https://eds.p.ebscohost.com/eds/results?vid=2&sid=f062416d-042e-4cf9-9bd5-0b16863af55d%40redis&bquery=GUIA%3a++Diagramas+TTT%2c+CCT.+Tanto+en+enfriamiento+continuo+(Continuous+Cooling+Transformation%2c+CCT)+como+isotérmicas+(Temperatura-Tiempo-Transformación%2c+TTT).+-+No.+10+&bdata=JmNsaTA9RIQxJmNsdjA9WSZsYW5nPWVzJnR5cGU9MCZzZWVzY2hNb2RIPUFuZCZzaXRIPWVky1saXZl) [Acceso:Jul. 14,2022]

[21] J.S Noratto R, A.G Ruiz F, *DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA PARA LABORATORIO DE 40 Kg/h, DE PLÁSTICO RECICLADO REFORZADO CON*

*RESIDUOS DE MADERA: PARA LA FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.*, tesis pre, Facultad de Ingenierías, Universidad de America, Bogotá, Colombia,2021

[22] E.F Megyesy, *Manual de recipientes a presión*, 1ª edición., Tulsa: LIMUSA,1989.

[23] INSTRUCCIONES PARA LA SOLDADURA A TOPE, Aliaxis Utilities & Industry S.L.U, Barcelona – España [En línea]. Disponible: <http://www.aliaxis-ui.es> [Acceso: jul. 14,2022]

[24] BRITISH FEDERAL MÉXICO, noviembre 27, 2019, “¿Cómo funciona la Soldadura a tope?”. [En línea]. <https://bfmx.com/soldadura/como-funciona-la-soldadura-a-tope/#:~:text=La%20Soldadura%20a%20tope%20también,una%20corriente%20eléctrica%20sin%20empalmarlas>. [Acceso: jul. 14,2022]

[25] Calculo de uniones soldadas, 6a ed.U.NL.P,2013. [En línea]. Disponible: <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Uniones%20soldadas%20sexta%20edicion%202013.pdf>

[26] R.G Budynas, J.K Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8ª edición., México: Mc Graw Hill, 2008.p.p 472

[27] J.A. Mejia C. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO JOMINY DE TEMPLABILIDAD PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*, tesis pre. Facultad en ingeniería de ciencias aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2016.

[28] Greelane, “Qué es una variable controlada y por qué es importante”, [En línea]. Disponible: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnología-matemáticas/ciencia/controlled-variable-definition-609094/> [Acceso: May.28,2022]

# ANEXOS

## ANEXO 1: NORMA ASTM A255

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: A255 – 20a

### Standard Test Methods for Determining Hardenability of Steel<sup>1</sup>

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 ( $\epsilon$ ) 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*

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

1.7 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

#### 2. Referenced Documents

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

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E112 Test Methods for Determining Average Grain Size

#### 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

<sup>1</sup> 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 Nov. 1, 2020. Published November 2020. Originally approved in 1942. Last previous edition approved in 2020 as A255–20. DOI: 10.1520/A0255-20A.

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

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

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved), Mon Sep 13 18:32:02 GMT 2021

Downloaded from [www.astm.org](http://www.astm.org) by FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA (FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.



**TABLE 1 Normalizing and Austenitizing Temperatures<sup>a</sup>**

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, <sup>b</sup> 8100, 8600, 8700, 8800, 9400, 9700, 9800	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1600 (870)
	0.37 and over	1600 (870)	1550 (845)
2300, 2500, 3300, 4800, 9300	0.25 and under	1700 (925)	1550 (845)
	0.26 to 0.36, incl	1650 (900)	1500 (815)
	0.37 and over	1600 (870)	1475 (800)
9200	0.50 and over	1650 (900)	1600 (870)

<sup>a</sup> A variation of  $\pm 10$  °F (6 °C) from the temperatures in this table is permissible.  
<sup>b</sup> 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 °F to 85 °F (5 °C 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.



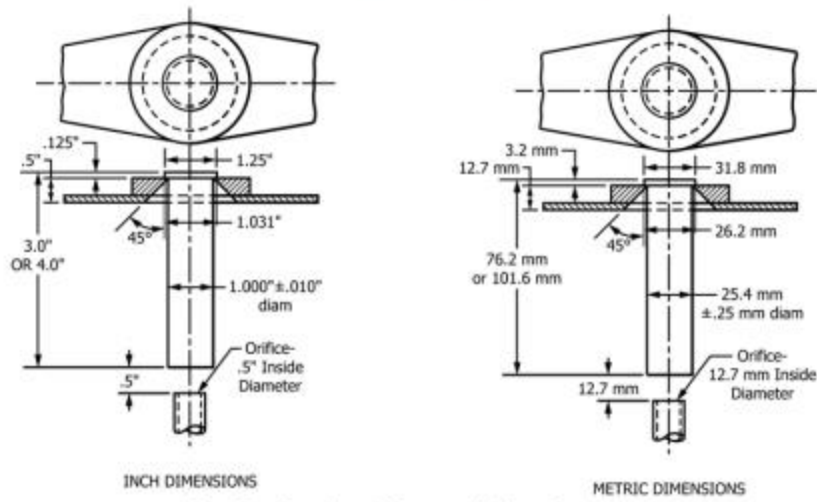


FIG. 1 Test Specimen in Support for Water Quenching

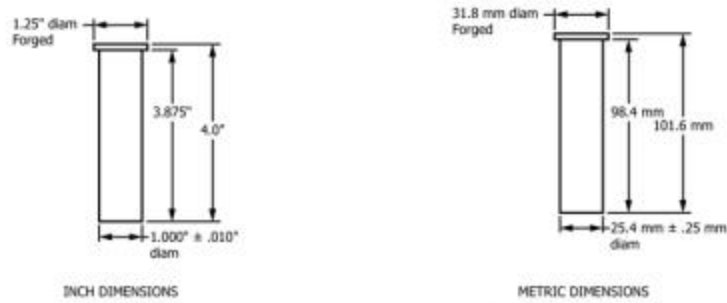


FIG. 2 Preferred Test Specimen

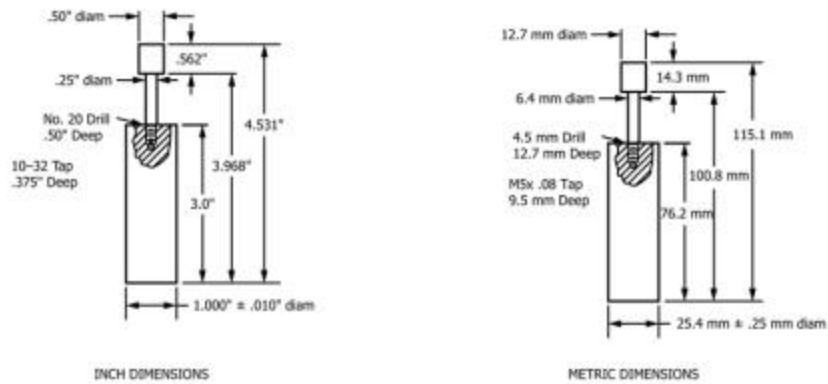


FIG. 3 Optional Test Specimen

6.4.1 The preparation of the two flats must be carried out with considerable care. They should be mutually parallel and the grinding done in such a manner that no change of the quenched structure takes place. Very light cuts with water

cooling and a coarse, soft-grinding wheel are recommended to avoid heating the specimen. In order to detect tempering due to grinding, the flat may be etched with one of the following etchant solutions:

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

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

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

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

6.4.2 When hardness tests are made, the test specimen rests on one of its flats on an anvil firmly attached to the hardness machine. It is important that no vertical movement be allowed when the major load is applied. The anvil must be constructed to move the test specimen past the penetrator in accurate steps of  $\frac{1}{16}$  in. (1.5 mm). Resting the specimen in a V-block is not permitted.

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  $0.0625$  in.  $\pm$   $0.004$  in. ( $1.5$  mm  $\pm$   $0.10$  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-hardness steels than when testing high-hardness 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  $180^\circ$  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,  $90^\circ$  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 chart on which typical hardenability curves have been plotted is shown in Fig. 4.

## 8. Index of Hardenability

8.1 The hardenability of a steel can be designated by a specific HRC hardness value or HRC hardness value range at a given Jominy (“J”) distance. Examples of this method are J  $\frac{1}{16}$  in. (6.4 mm) = 47 HRC min, J  $\frac{1}{16}$  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

**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	.25		±600	1550
8620	621271	7-8	.19	.80	.015	.015	.23	.46	.52	.22	1700	1700

REMARKS:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

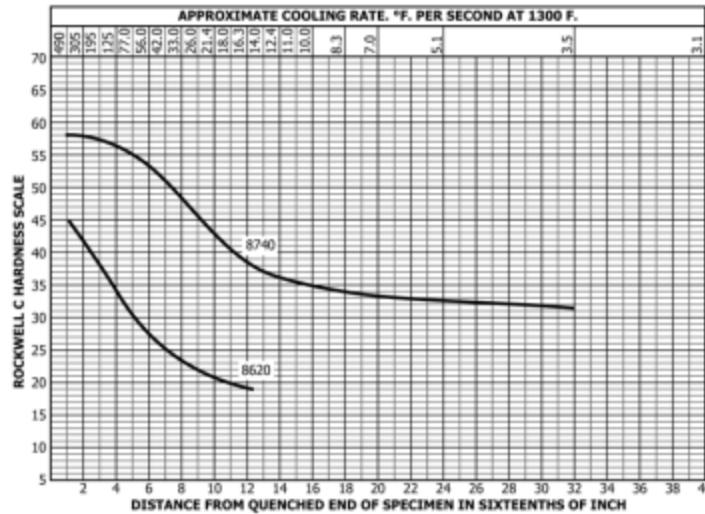


FIG. 4 Facsimile of Standard ASTM Hardenability Chart, Showing Typical Hardenability Curves [Chart Size: 8½ in. by 11 in. (216 mm by 279 mm)]

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

Composition, %								Calculated DI (boron excluded)	
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	B	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 8/16 in. from the quenched end (interpolation required).

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

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

10.4.5 *Calculation of DI with Boron (DI<sub>B</sub>)*:

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<sub>B</sub> 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



APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SPECIMENS FOR SPECIAL APPLICATIONS

X1.1 Scope

X1.1.1 The end-quench or Jominy hardenability test may be applied with some modification when the test specimens available are smaller in size than those shown in Figs. 2 and 3 or when shallow hardening steel is to be tested.

X1.2 Subsize Specimens

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

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

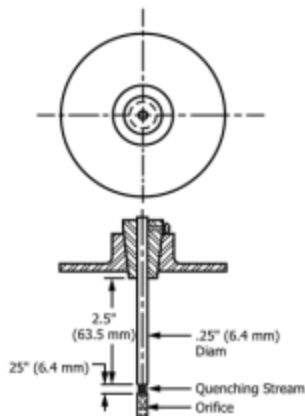


FIG. X1.1 Support for Smaller-Size Specimens, Showing 0.25 in. (6.4 mm) Specimen in Position

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

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

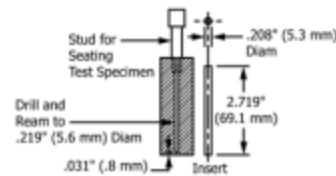


FIG. X1.2 Drilled Bar Specimen for Steel Available Only in Small Sizes

X1.3 Shallow-Hardening Steels

X1.3.1 The 1.0 in. (25.4 mm) diameter standard hardenability specimen may be used to determine the hardenability of shallow-hardening steels, other than the carbon tool steels, by a modification in the hardness survey. The procedure in preparing the specimen prior to hardness measurements is described in Sections 4, 5, and 6. An anvil providing a means of very accurately measuring the distance from the quenched end is essential.

X1.3.2 Hardness values are obtained from 1/16 to 5/16 in. (1.6 to 12.7 mm) from the quenched end in intervals of 1/32 in. (0.8 mm). Beyond 5/16 in., hardness values are obtained at 1/16, 1/8, 3/16, 1/4, and 5/16 in. (1.6, 3.2, 4.8, 6.4, and 8.0 mm) from the quenched end. For readings to 5/16 in. from the quenched end, two hardness traverses are made, both with readings 1/16 in. apart; one starting at 1/16 in. and being completed at 5/16 in. from the quenched end, and the other starting at 1/8 in. (2.4 mm) and being completed at 15/32 in. (11.9 mm) from the quenched end.

X1.3.3 Only two flats 180° apart need be ground if the mechanical fixture has a grooved bed that will accommodate the indentations of the flat surveyed first. The second hardness traverse is made after turning the bar over. If the fixture does not have such a grooved bed, two pairs of flats should be ground, the flats of each pair being 180° apart. The two hardness surveys are made on adjacent flats.

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

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

X1.4.1 A specimen available only in a small size may be prepared as an insert in an axially drilled standard size test which serves as a sheath (Fig. X1.2). About 0.2 g of Woods metal<sup>3</sup> shall be placed in the bottom of the test sheath (Fig. X1.2). The small test specimen inserted in the sheath, and the

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

<sup>3</sup> The composition of Woods metal is 50 % bismuth, 25 % lead, and 25 % tin, and the melting point is 200 °F (93 °C).

#### REFERENCES

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

#### SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A255 – 20) that may impact the use of this standard. (Approved Nov. 1, 2020.)

(1) Adjunct information in 2.2 and former Footnote 3 was deleted.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A255 – 10 (2018)) that may impact the use of this standard. (Approved July 1, 2020.)

(1) Table 6 – The carbon multiplication factor value for 0.89 % Alloy was changed from 0.317 to 0.319.

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

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

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/*

## ANEXO 2: TABLA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AISI 304L

Cotiza ya [Contáctanos](#)

**DIPAC**  
PRODUCTOS DE ACERO

Productos ▾ Sucursales Catálogos Blog

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10.5	18 - 20

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
3/16"	
1/4"	
5/16"	
3/8"	
1/2"	
5/8"	
3/4"	
1"	
1-1/4"	
1-1/2"	
2"	
2-1/2"	
3"	
3-1/2"	
4"	
5"	
6"	

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

## ANEXO 3: FICHA TÉCNICA ELECTRODO



ENVÍAME UNA COTIZACIÓN

COMPRAR AHORA

# WEST INOX 308L-16

VISION GENERAL

DOCUMENTACIÓN Y ESPECIFICACIONES

INFORMACIÓN PARA COMPRA



El WEST Inox 308L-16 es un electrodo de revestimiento rutilico que trabaja en todas las posiciones. Puede ser aplicado con la técnica de arrastre. Produce un arco suave con pérdidas por salpicaduras bajas. Su escoria es de fácil remoción. Por su bajo contenido de carbono, su depósito presenta buena resistencia a la corrosión intergranular, pues se impide la precipitación de carburos durante la aplicación de la soldadura.

### CARACTERÍSTICAS

#### APLICACIONES TÍPICAS


El WEST Inox 308L se usa para soldar tanques, tuberías y reactores de acero inoxidable tipo AISI 304 y 304L. Puede emplearse también para la soldadura de aceros AISI 204, 301, 302, 308 y 308L.

#### RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

- Use corriente continua polaridad invertida (+) o corriente alterna.
- Al soldar con corriente continua se obtendrán las mejores condiciones de operación características del electrodo.
- Emplee un amperaje tan bajo como sea posible.
- Se puede usar barras de cobre para conducir rápidamente el calor fuera de la junta.
- Se debe evitar la contaminación de partículas de acero al carbono y de sustancias como pintura, grasa, aceite, etc.
- Para la limpieza entre pases utilizar grata de acero inoxidable.



# ANEXO 4: DISPLAY




**KACOM Store**  
94.2% Valoraciones positivas  
312 Seguidores

Estoy buscando...  **En AliExpress** **En esta tienda**

Página principal de la tienda Productos Artículos en oferta Más vendidos Comentarios

## Text PLC all-in-one machine

High-speed version supports 2-way encoder 4-axis high-speed output



Color: Keys yellow screen  
Keys yellow screen

Número de pines: Relay 10MR all  
Relay 10MR all Low-speed 10MT all High speed 10MT pulse


Litter USB to serial Blue USB to serial p PLC add clock

Cantidad: 1 993 unidades disponibles

Text-máquina todo en uno PLC, controlador de pantalla de 10Mt, salida de alta velocidad, tablero de control industrial doméstico op320 v8.0  
9 vendidos

**COP 202,604.78** ~~COP 213,266.36~~ -5%  
COP 15,405.91 Descuento Cupones para ti [Conseguir cupones](#)

Otras recomendaciones




COP 68,968.87

COP 176,724.02

## ANEXO 5: SENSOR DE TEMPERATURA




Buscar...



Ingresar  Carrito 

CATEGORÍAS ▾ PRODUCTOS NOSOTROS POLÍTICA DE ENVÍOS DEVOLUCIONES POLÍTICA DE PAGOS CONTÁCTENOS



Inicio / Tienda / Sensores / Sensor de temperatura sumergible DS18B20 ⟨ ⟩



### Sensor de temperatura sumergible DS18B20

El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales, los dos de alimentación y el pin "data"

**\$ 10.000**  
Impuestos incluidos

1	^	 <b>COMPRAR</b>		
---	---	--	---	---

[f](#) [t](#) [p](#)

## ANEXO 6: SENSOR DE NIVEL



Nuevo

Sensor De Nivel Agua  
Horizontal Montado Lado  
Líquido Tanque



\$ 85.766

en 12x \$ 7.147 sin interés

[Ver los medios de pago](#)

**COMPRA INTERNACIONAL**

**Envío internacional gratis**

Llega entre el 16 jun. y 7 jul. desde China



Costos de importación: \$ 16.000

¡Última disponible!

[Comprar ahora](#)

**Compra Protegida**, recibe el producto que

## ANEXO 7: SENSOR DE FLUJO

  0 ARTÍCULO(S)  
[PRODUCTOS](#) [IMPRESIÓN 3D](#) [TUTORIALES](#) [NOTICIAS](#)

Inicio > Sensores > Líquidos > Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201



### SENSOR DE FLUJO DE AGUA 1/2" YF-S201 < >

#SKU: 000108



Sensor para medir el caudal de agua en una tubería de D1/2" y así poder conocer el consumo. La salida del sensor son pulsos digitales por cada paso de un factor de volumen.



S/ 20,00

En stock


- 1 +

 Añadir Al Carrito

 Código QR [Compartir](#)

 A Lista De Deseos

## ANEXO 8: LAMINA 304L





Ahora haz tus pedidos en línea  
de forma **segura y rápida**

Buscar productos

5 = "LAMINA 304 ACABADO-2B" han sido añadidos a tu carrito. [Ver carrito](#)

### Categorías

- Tuberías y Accesorios
- Láminas y Rollos
- Malla Mesh
- Soldadura
- Tornillería



## LAMINA 304 ACABADO-2B

~~\$21.265~~ - ~~\$8.704.850~~ IVA inc.

LAMINA 304 ACABADO-2B

Tipo: 00.45 1219 X METRO-2B

**\$86.827** IVA inc. [Limpiar Selección](#)  
4 disponibles

- 4 + [Añadir al carrito](#)

SKU: 13042026401  
Categoría: Láminas y Rollos

# ANEXO 9: ELECTRODOS INOX



¿Qué estás buscando?



Bogota D.C.



Mi Cuenta

CONSTRUCCIÓN  
Y FERRETERÍA

PISOS, PINTURAS Y  
TERMINACIONES

HERRAMIENTAS Y  
MAQUINARIAS

BAÑO,  
COCINA Y  
ASEO

ELECTROHOGAR,  
TECNOLOGÍA Y  
CLIMATIZACIÓN

MUEBLES Y  
ORGANIZACIÓN

DECORACIÓN, MENAJE  
E ILUMINACIÓN

AIRE LIBRE,  
JARDÍN Y  
MASCOTAS

AUTOMÓVILES Y  
CARCENTER

SERVICIOS  
HOGAR

PROYECTOS E  
INSPIRACIÓN

Herramientas y Maquinarias > Maquinaria Especializada > Accesorios y Complementos de Maquinaria Especializada > Electrodo Super 3/32 Pulgadas X 5K

ENVÍO GRATIS

West Arco

Código 38820

## Electrodo Super 3/32 Pulgadas X 5K

★★★★★ 0.0 (0)

**\$91.900und**

\$18.380,00 KILOGRAMO



Pide tu Tarjeta de Crédito 100% online

Obtén un bono de \$45.000 para tu primera compra

Solicítala aquí >

- 1 +

Agregar al carro

Garantía extendida

más información

## ANEXO 10: LAMINA A36



Nuevo

**Forney 49575 Chapa De  
Calibre 16 En A36 Aleacion  
De Acero A**



**\$ 177.990**

Hasta 48 cuotas



[Más información](#)

 **Envío gratis a nivel nacional**

Conoce los tiempos y las formas de envío.

[Calcular cuándo llega](#)

 **Devolución gratis**

Tienes 30 días desde que lo recibes.

[Conocer más](#)

**Disponible 13 días después de tu compra**

Cantidad: **1 unidad** ▾ (12 disponibles)

## ANEXO 11: TUBO GALVANIZADO

Comparar



Camedu  
Tubería Galvanizada Para  
Conducción de Agua

★★★★★ (0)

\$19.100 UND

- ✓ Disponible para despacho
- ✓ Disponible para retiro



## ANEXO 12: TUBO GALVANIZADO



Inicio / HIDRAULICA / MANGUERAS Y TUBERIAS / TUBO DE HIERRO / TUBO GALVANIZADO 1 1/2"x6m ISO 2

### TUBO GALVANIZADO 1 1/2"x6m ISO 2

\$55.16

- 1 +

AÑADIR AL CARRITO

## ANEXO 13: CODO

HOME EMPRESA CATÁLOGO CATEGORÍAS PROMOS

Home > Galvanizado > Accesorios Galvanizados > Codo Calle Galvanizado



Q

### Codo Calle Galvanizado

Codo Calle Galvanizado  
Para mas información descargar PDF con ficha técnica:

**FICHA TÉCNICA**

Medida

- 1 + **Cotizar**

SKU: N/D Categorías: [Accesorios Galvanizados](#), [Galvanizado](#)

## ANEXO 14: CODO

🔍

[Secciones](#) [Conócenos](#) [Tiendas](#) [Catalogos](#) [Blog](#) [milwaukee](#) [100años](#) [honda](#) [Centro de Servicio](#) [Minas](#) [OUTLET](#) [Facturación](#) [Entra](#)

ESTAS EN: / [INICIO](#) / [PLOMERÍA Y TUBERÍA](#) / [CONEXIONES CEDULA 40](#) / [CODO 90°](#) / 11001380

[Mas Articulos](#)



**ENVIAMOS A TODO MÉXICO**

### CODO 90o REFORZADO DE 1-1/4" 150LBS GALVANIZADO

**\$39.02** Incluye Impuestos

[Ver Disponibilidad en](#)

<b>Codigo Myers</b>	11001380
Marca	Generico
Modelo Proveedor	510-006L
Unidades Disponibles	313 Unidades

Pide ahora y recibe del 18 al 22 de Agosto. (?)

[+](#) **Agregar al Carrito**

[Compra segura certi](#)

# ANEXO 15: ELECTROBOMBA ½ HP



¿Qué estás buscando?



Bogotá D.C.



Mi Cuenta

CONSTRUCCIÓN  
Y FERRETERÍA

PISOS, PINTURAS  
Y  
TERMINACIONES

HERRAMIENTAS  
Y  
MAQUINARIAS

BAÑO,  
COCINA Y  
ASEO

ELECTROHOGAR,  
TECNOLOGÍA Y  
CLIMATIZACIÓN

MUEBLES Y  
ORGANIZACIÓN

DECORACIÓN,  
MENAJE E  
ILUMINACIÓN

AIRE LIBRE,  
JARDÍN Y  
MASCOTAS

AUTOMÓVILES  
Y CARCENTER

SERVICIOS  
HOGAR

PROYECTOS E  
INSPIRACIÓN

VISTOS  
RECIENTEMENTE

Home > Construcción y Ferrería > Plomería > Bombas y Motobombas > Bombas Centrifugas > Electrobomba Centrifuga 1/2 hp



Humboldt

Código 294

## Electrobomba Centrifuga 1/2 hp

Modelo Xcm158

★★★★★ 1.0 (1)

**\$466.900und**



Pide tu Tarjeta de Crédito 100% online

[Solicítala aquí](#)

Obtén un bono de \$45.000 para tu primera compra

- 1 +

Agregar al carro



### Satisfacción Garantizada

[ver](#)

Puedes devolver este producto en un plazo máximo de 30 días, éste debe estar en perfecto estado: sin uso, tener todos sus accesorios, manuales y embalaje original. Si tienes dudas, comunícate a nuestra línea de atención al cliente desde Bogotá: 3077115 o a la línea Nacio 320 88 999 33.

Opciones de entrega para Bogotá D.C.

## ANEXO 16: UNIÓN TEE



INICIO FERRETERÍA ▾ HERRAMIENTAS ▾ HOGAR ▾ BLOG RASTREA TU PAQUETE MARCAS ▾

MICARRITO  
0 Artículos

INICIO > TEE SENCILLA, ACERO GALVANIZADO, 1-1/4' FOSET

### Categorías

Manuales ▾

Eléctricas ▾

A gasolina ▾

Seguridad industrial ▾ ( 319 )

### NOVEDADES



Lámpara Led A19 9w  
E27 Luz De Día 4pzs  
En...



\*La foto del producto no necesariamente corresponde a la medida del producto

## Tee sencilla, acero galvanizado, 1-1/4' Fosef

☆☆☆☆ |

DISPONIBILIDAD :  Disponible

TIPO DE PRODUCTO : Conexiones galvanizadas

MARCA : Fosef

SKU : 48755

**\$ 84.00**

Paga en 5 plazos con **aplazo** [Conoce más.](#)

- 1 +

Agregar Al Carrito

COMPRAR AHORA



## ANEXO 17: ACOPLA

Buscador 

**Ferro Materiales**  
del Sur  
*Servicio y Calidad al mejor precio*

CONSTRUCCIÓN ▾ ACABADOS ▾ HERRAMIENTAS ▾ TORNILLERÍA ▾ ASEO ▾ ELÉCTRICOS ▾ GRIFERÍA ▾ VAR



### Bushing 1.1/2 X 1 Galvanizado

\$9.658

 26 disponibles

1

**Añadir al carrito**

## ANEXO 18: VALVULA CHECK



### Válvula check de 1-1/4 pulg RED WHITE

SKU#15820

\$ 91.95 / PZA

Opciones de entrega para: Escalón

- |                          |   |                                     |
|--------------------------|---|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Retiro en tienda  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Envío a domicilio (Express)<br>Siguiete día hábil LUN - VIE | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | Envío a domicilio (Estandar)<br>3 - 5 días hábiles          | <input checked="" type="checkbox"/> |

AGREGAR AL CARRITO

## ANEXO 19: VÁLVULA DE BOLA



### Válvula bola 1 1/4 pulgada agua

★★★★★ [Escribe una reseña](#)

**\$ 64.990** unidad

Precio por pieza \$ 64.990

En Grival puedes encontrar gran calidad en la válvula de bola con más  
aquí!

**!** ¡Agotado temporalmente!  
Déjanos tu correo electrónico, te avisaremos en

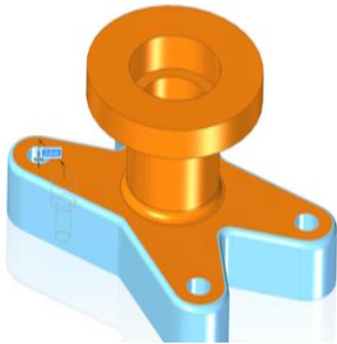
[Unirme a lista de espera](#)



## CONOZCA SU SALARIO

- Salario mínimo y máximo de un Ingenieros mecánicos - de \$ 1.581.126 a \$ 6.395.801 por mes - 2022.
- Un/una Ingenieros mecánicos gana normalmente un salario neto mensual de entre \$ 1.581.126 y \$ 3.093.465 al empezar en el puesto de trabajo.
- Tras cinco años de servicio, esta cifra se sitúa entre \$ 2.229.989 y \$ 4.312.964 al mes con una semana de trabajo de 48 horas.

## ANEXO 21: LICENCIAS DE SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN



*Nuestro CAD en 3D básico con paquete de soporte*

### Solid Edge Design and Draft

Incorpora el diseño introductorio de partes y ensambles y dibujos automatizados.

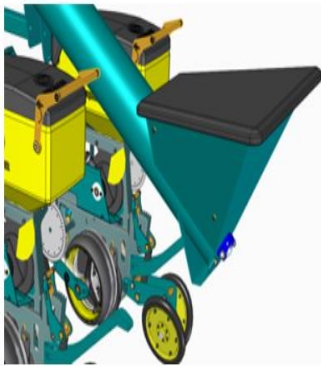
Más información



*desde*

USD \$60 / mes

facturado anualmente



*Nuestro CAD 3D completo con paquete de soporte.*

### Solid Edge Foundation

Incorpora una funcionalidad de diseño de sheet metal, soldaduras y estructuras.

Más información



*desde*

USD \$135 / mes

facturado anualmente

## ANEXO 22: CATALOGO TUBERIA TERNIUM

Ternium Tubería y Perfiles

# Tubería conducción SCH40

### Normas

Fabricación:

NTC 3470 (ASTM  
A53/A53M)

Tubería de Conducción  
Tipo E grado A.



NTC 3470:2013  
Tubos de Acero SCH

### Descripción

Tubería de conducción redonda, formada en frío a partir de lámina rolada en caliente y soldada por inducción de alta frecuencia, fabricada con extremos lisos. Esta tubería es probada mediante ensayo hidrostático, garantizando la calidad y aplicabilidad del producto.

### Aplicaciones

Conducción de fluidos poco corrosivos como aire, gas, aceite, agua y vapor.

### Longitud

Longitud estándar de 6 m.

### Ventajas

Mejor comportamiento al aplastamiento que cualquier otra tubería.

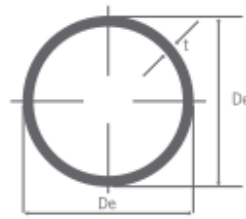
Mejor comportamiento a la compresión, tracción, torsión y temperatura que las tuberías de plástico y cobre.

Tubería de Conducción SCH 40 NTC3470				
Referencia	Diametro exterior (mm)	Espesor (mm)	Masa Teórica Lineal A (kg/m)	Unidades por paquete
Tubo SCH 40 1/2" x 2.77 mm*	21.30	2.77	1,28	127
Tubo SCH 40 3/4" x 2.87 mm*	26.70	2.87	1,65	91
Tubo SCH 40 1" x 3.38 mm*	33.40	3.38	2,67	61
Tubo SCH 40 1 1/4" x 3.56 mm*	42.20	3.56	3,43	37
Tubo SCH 40 1 1/2" x 3.68 mm*	48.30	3.68	3,96	37

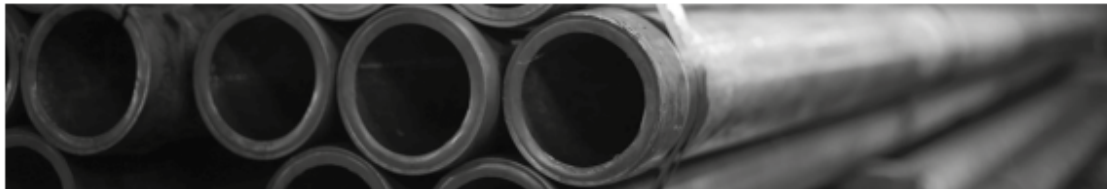
Nota: A - La masa teórica lineal (kg/m) cumple con el peso definido en la norma NTC3470:2013 Tabla X.2.2 +/- 10%  
Nota: Para longitudes especiales se requiere aprobación por parte de las áreas de planificación e ingeniería de producto, el pedido mínimo para cada longitud es de 5 unidades.

\*Producción bajo pedido, previa consulta de volúmenes mínimos a planificación.

Geometría Tubería  
Conducción SCH40



TUBO SCH 40 [ ] x [ ] Designación  
t: Espesor (mm)  
Dn: Diámetro nominal (in)  
TUBO SCHEDULE 40



ETP consultada(s):

DATETP01012 N3 ETP COLCLO T02 NTC 3470 TUBERÍA SCH 40, Revisión 4 / Sujetas a cambio sin previo aviso