

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CARACTERIZAR  
LA TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS ALEADOS EN PROBETAS,  
DESTINADA PARA LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**

**AUTORES:**

**SANTIAGO ALEJANDRO CASCO POZO  
ANDRÉS ALEJANDRO SIGCHA LEDESMA**

**DIRECTOR:**

**MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

**Quito, abril de 2015**

## CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Milton Salomón Jami Lema, certifico que el presente trabajo previo a la obtención de Ingeniero Mecánico fue desarrollado y elaborado en su totalidad por los señores **Santiago Alejandro Casco Pozo y Andrés Alejandro Sigcha Ledesma.**

El análisis, diseño y cálculos realizados y las conclusiones del mismo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Atentamente:

---

Ing. Milton Salomón Jami Lema

DIRECTOR DE TESIS

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE  
USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.**

Nosotros, Santiago Alejandro Casco Pozo y Andrés Alejandro Sigcha Ledesma, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

---

Santiago Alejandro Casco Pozo  
C.I. 1714361316

---

Andrés Alejandro Sigcha Ledesma  
C.I. 1724373483

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser siempre mi fortaleza y brindarme su infinito amor. A mis amados padres María Dolores y Benigno, que con su amor, sacrificio y educación a lo largo de mi vida supieron inculcarme los mejores valores para ser un hombre de bien, y un buen profesional. A mi hermano Cristian Javier por su apoyo y cariño en todo momento. A Liz, mi compañera inseparable que con su amor, comprensión y apoyo incondicional supo estar a mi lado en todo momento para cumplir esta anhelada meta.

**Santiago.**

A mis padres por su infinito amor porque siempre han creído en mí y en lo que puedo lograr inculcándome valores y plantando en mí una fe inquebrantable en Dios quien ha sido mi soporte en los momentos más difíciles de mi carrera. A mi padre por su sabiduría, su serenidad y por ser un ejemplo a seguir. A mi madre por abnegación, cariño y apoyo cada día, siempre será la mejor mamá del mundo. A mi hermano quien ha sido para mí un motor y ejemplo de perseverancia y superación. A mi Gaby quien ha sido y será siempre el impulso para alcanzar metas más altas cada vez.

**Andrés.**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Politécnica Salesiana, a los catedráticos y autoridades de la carrera de Ingeniería Mecánica por impartirnos sus conocimientos y moldear gran parte de nuestra vida profesional. A nuestro director el Ing. Milton Jami que con sus acertadas tutorías hizo posible la realización de este trabajo.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 Ensayo Jominy. ....	2
1.2 Forma y preparación de probetas. ....	8
1.2.1 Toma de muestras.....	8
1.2.2 Dimensiones de la probeta.....	9
1.2.3 Tratamiento térmico. ....	10
1.2.4 Mecanizado.....	11
1.3 Aparatos. ....	11
1.4 Calentamiento y templado de la probeta.....	13
1.4.1 Calentamiento.....	13
1.4.2 Templado.....	14
1.5 Preparación y medición de la dureza después del templado. ....	14
1.5.1 Construcción de una curva representativa de las variaciones de la dureza. ....	16
1.5.2 Determinación de la dureza en puntos prefijados.....	17
1.6 Expresión de los resultados.....	17
1.6.1 Dureza de un punto cualquiera. ....	17
1.6.2 Trazado de las curvas de dureza. ....	17
1.6.3 Descripción de las características de templabilidad de un acero dado. ....	18
1.6.4 Codificación de los resultados de los ensayos. ....	18
1.7 Los aceros.....	19
1.7.1 Atendiendo al porcentaje de carbono los aceros se clasifican en:.....	19
1.7.2 Desde el punto de vista de su composición, los aceros se pueden clasificar en dos grandes grupos: .....	19
1.8 Aceros aleados. ....	20

1.9	Microestructuras de los aceros.....	21
1.9.1	Templabilidad.....	21
1.9.2	Diagrama TTT.....	22
1.9.3	Curvas de enfriamiento.....	24
1.9.4	Microestructuras.....	25
CAPÍTULO II.....		30
2.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	30
2.1	Alternativas de diseño.....	30
2.1.1	Alternativa 1. Máquina caracterizadora de templabilidad con horno y controladores automatizados.....	30
2.1.2	Alternativa 2. Máquina caracterizadora de templabilidad con dispositivo de refrigeración controlada.....	32
2.1.3	Alternativa 3. Máquina caracterizadora de templabilidad con control manual de instrumentos.....	33
2.2	Análisis de necesidades.....	35
2.2.1	Costos.....	35
2.2.2	Seguridad.....	36
2.2.3	Complejidad en su construcción.....	36
2.2.4	Mantenimiento.....	36
2.2.5	Tamaño y peso.....	36
2.2.6	Didáctica.....	36
2.2.7	Distancia entre maquina Jominy y horno.....	36
2.3	Elección de la alternativa de diseño.....	37
CAPÍTULO III.....		38
3.	DISEÑO Y CÁLCULOS DE ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS.....	38
3.1	Diseño del sistema hidráulico.....	38

3.1.1	Cálculo de velocidad de salida en el sistema.....	38
3.1.2	Cálculo del caudal. ....	40
3.1.3	Selección de la tubería del sistema.....	41
3.1.4	Tobera de reducción. ....	41
3.1.5	Elementos del sistema hidráulico. ....	42
3.1.6	Cálculo de pérdidas de energía en el sistema hidráulico. (hl) .....	43
3.1.7	Cálculo de la carga total sobre la bomba.....	54
3.1.8	Potencia suministrada a la bomba. ....	57
3.1.9	Presión crítica en la salida de la bomba.....	57
3.1.10	Cálculo del NPSH.....	59
3.1.11	Curva del sistema. ....	62
3.1.12	Selección de bomba.....	64
3.2	Diseño del porta probetas.....	69
3.2.1	Tipos de aceros para probetas.....	69
3.2.2	Análisis de porta probetas. ....	71
3.2.3	Dimensionamiento del porta probetas.....	72
3.2.4	Análisis de temperaturas y transferencia de calor del porta probetas en Autodesk Simulation Mechanical 2014. ....	73
3.3	Diseño de reservorio y tanque de ensayo.....	85
3.3.1	Tanque de ensayo. ....	85
3.3.2	Tanque reservorio.....	86
3.4	Diseño de la mesa para ensayo Jominy.....	88
3.4.1	Descripción de cargas en la mesa.....	88
3.4.2	Selección de perfil para mesa.....	89
	CAPÍTULO IV.....	91
4.	COSTOS .....	91

4.1	Costos directos.....	91
4.1.1	Materia prima.....	91
4.1.2	Mano de obra.....	93
4.2	Costos indirectos.....	95
4.2.1	Costo de imprevistos.....	95
4.2.2	Costo de diseño.....	95
4.3	Costo total de máquina.....	95
	CONCLUSIONES.....	96
	RECOMENDACIONES.....	97
	LISTA DE REFERENCIAS.....	98
	ANEXOS.....	100
	PLANOS.....	121
	MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRECAUCIONES DE SEGURIDAD.....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b> Esquema de ensayo Jominy de templabilidad.....	2
<b>Figura 1-2</b> Correlación de los diagramas de enfriamiento continuo y la transformación isotérmica con los datos de la prueba de templabilidad para un acero al carbono eutectoide.....	3
<b>Figura 1-3</b> Correlación de los diagramas de enfriamiento continuo y transformación isotérmica con los datos de la prueba de templabilidad para un acero 4140. ....	4
<b>Figura 1-4</b> Las curvas de enfriamiento en diferentes medios de temple.....	6
<b>Figura 1-5</b> Ensayo Jominy en un acero de alta templabilidad .....	7
<b>Figura 1-6</b> Ensayo Jominy de templabilidad .....	7
<b>Figura 1-7</b> Ensayo Jominy en un acero de templabilidad media. M= martensita, B= bainita, F= ferrita primaria, P= perlita. ....	8
<b>Figura 1-8</b> Toma de muestras para el mecanizado de la probeta .....	9
<b>Figura 1-9</b> Medidas de la probeta (mm).....	10
<b>Figura 1-10</b> Esquema de un dispositivo de temple. ....	12
<b>Figura 1-11</b> Tobera de proyección.....	13
<b>Figura 1-12</b> Nuevos rebajos a 90° .....	15
<b>Figura 1-13</b> Preparación de la probeta para medición de la dureza y emplazamiento de los puntos de medida. ....	16
<b>Figura 1-14</b> Dureza a una distancia $d$ 15mm. ....	19
<b>Figura 1-15</b> Curvas a) TTT y b) TEC para un acero 4340.....	22
<b>Figura 1-16</b> Diagrama tiempo – temperatura - transformación, ilustrándose varias curvas correspondientes a distintos porcentajes de transformación.....	23
<b>Figura 1-17</b> Diagrama que muestra las temperaturas de temple (rango de austenización).....	24
<b>Figura 1-18</b> Se muestran dos curvas de enfriamiento aproximadas sobre un diagrama TTT del acero SAE 1095 para ilustrar la necesidad de un enfriamiento suficientemente rápido con el fin de evitar el corte de la nariz de diagrama. ....	25

<b>Figura 1-19</b> Diagrama hierro – Carbono.....	26
<b>Figura 1-20</b> Identificación de microestructuras de diferentes metales ferrosos (Austenita).....	27
<b>Figura 1-21</b> Un acero al bajo carbono mostrando los límites de la mayoría de los granos de ferrita con granos aislados de perlita fina (color oscuro); el acero es un 1008 (1000 X). .....	27
<b>Figura 1-22</b> Acero SAE 1090 enfriado lentamente (100% de perlita muy gruesa) (500X) .....	28
<b>Figura 1-23</b> Microestructura de un acero al 1%C en la cual se muestra la cementita en los límites de grano (las líneas blancas) (500X).....	28
<b>Figura 1-24</b> Micro estructura de la bainita está asociada a agujas extremadamente finas de ferrita y cementita, en contraste con la estructura laminar de la perlita. ....	29
<b>Figura 1-25</b> La microestructura acicular o en forma de agujas de la martensita 100X .....	29
<b>Figura 2-1</b> Alternativa 1 .....	31
<b>Figura 2-2</b> Alternativa 2 .....	32
<b>Figura 2-3</b> Alternativa 3 .....	34
<b>Figura 3-1</b> Descripción de chorro libre .....	38
<b>Figura 3-2</b> Tobera de reducción .....	42
<b>Figura 3-3</b> Sistema hidráulico .....	42
<b>Figura 3-4</b> Válvula de pie con alcachofa (colador) tipo de disco de vástago. ....	44
<b>Figura 3-5</b> Coeficientes de resistencia para válvulas y acoplamientos. ....	45
<b>Figura 3-6</b> Codos de tubería.....	46
<b>Figura 3-7</b> Válvula de compuerta.....	46
<b>Figura 3-8</b> Válvula de bola.....	47
<b>Figura 3-9</b> Tobera.....	48
<b>Figura 3-10</b> Puntos de referencia del líquido en el sistema Za-Zb. ....	56
<b>Figura 3-11</b> Puntos de referencia del líquido en el sistema Zc-Zb. ....	58

<b>Figura 3-12</b>	Curva del sistema con válvula de compuerta 100% abierta.....	63
<b>Figura 3-13</b>	Curva del sistema con válvula de compuerta 50% abierta.....	63
<b>Figura 3-14</b>	Curva del sistema con válvula de compuerta 25% abierta.....	64
<b>Figura 3-15</b>	Dimensiones bomba Little Giant 2E-38N Series.....	66
<b>Figura 3-16</b>	Curva catalogo bomba.....	66
<b>Figura 3-17</b>	Punto de operación de una bomba.....	67
<b>Figura 3-18</b>	Punto de operación, sistema al 100%.....	68
<b>Figura 3-19</b>	Punto de operación, sistema al 50%.....	68
<b>Figura 3-20</b>	Punto de operación, sistema al 25%.....	69
<b>Figura 3-21</b>	Dimensionamiento de porta probetas.....	72
<b>Figura 3-22</b>	Software Autodesk Simulation Mechanical 2014.....	73
<b>Figura 3-23</b>	Ensamble porta probetas – probeta Autodesk Inventor 2014 .....	74
<b>Figura 3-24</b>	Selección de tipo de análisis.....	75
<b>Figura 3-25</b>	Sistema de unidades .....	75
<b>Figura 3-26</b>	Generación de malla.....	76
<b>Figura 3-27</b>	Parámetros de tiempo.....	76
<b>Figura 3-28</b>	Asignación de cargas porta probetas.....	77
<b>Figura 3-29</b>	Selección de material porta probetas.....	78
<b>Figura 3-30</b>	Condiciones del fluido.....	79
<b>Figura 3-31</b>	Carga de convección de agua.....	80
<b>Figura 3-32</b>	Temperatura inicial de probeta.....	80
<b>Figura 3-33</b>	Asignación de propiedades acero.....	81
<b>Figura 3-34</b>	Simulación.....	81
<b>Figura 3-35</b>	Simulación probeta de acero AISI 4340 .....	82
<b>Figura 3-36</b>	Resultados punto crítico A acero AISI 4340.....	82
<b>Figura 3-37</b>	Simulación probeta de acero AISI 4140 .....	83

<b>Figura 3-38</b> Resultados punto crítico A acero AISI 4140.....	83
<b>Figura 3-39</b> Simulación probeta de acero K460. ....	84
<b>Figura 3-40</b> Resultados punto crítico A acero K460.....	84
<b>Figura 3-41</b> Tanque de ensayo .....	86
<b>Figura 3-42</b> Tanque reservorio.....	88
<b>Figura 3-43</b> Mesa para ensayo Jominy. ....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b> Designación numérica SAE-AISI de los aceros aleados .....	21
<b>Tabla 2-1</b> Matriz de selección de alternativas. ....	37
<b>Tabla 3-1</b> Elementos del sistema hidráulico. ....	43
<b>Tabla 3-2</b> Valores de diseño de rugosidad de tubos.....	53
<b>Tabla 3-3</b> Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua. ....	61
<b>Tabla 3-4</b> Propiedades AISI 4340 .....	70
<b>Tabla 3-5</b> Propiedades AISI 4140 .....	70
<b>Tabla 3-6</b> Propiedades K460.....	71
<b>Tabla 3-7</b> Altura requerida tanque de ensayo.....	85
<b>Tabla 3-8</b> Carga nivel 1 (N). ....	89
<b>Tabla 3-9</b> Carga nivel 2 (N) .....	89
<b>Tabla 4-1</b> Materiales para mesa. ....	92
<b>Tabla 4-2</b> Materiales para tanque de ensayo y reservorio. ....	92
<b>Tabla 4-3</b> Materiales para sistema hidráulico. ....	93
<b>Tabla 4-4</b> Mano de obra. ....	94
<b>Tabla 4-5</b> Costo total de máquina. ....	95

## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

**Afino:** Oxidación del elemento del carbono.

**Arrabio:** Hierros de primera fusión que se obtienen directamente del horno alto en forma de panes o lingotes.

**Austenización:** Difusión del carbono en la austenita.

**Bainita:** Estructura del acero llamada así en honor de E.c. Bain, la cual se forma entre  $482^{\circ}\text{C}$  ( $900^{\circ}\text{C}$ ) = y la temperatura  $M_5$ . A las temperaturas más altas se le conoce como Bainita superior o bainita pluniforme. A las temperaturas inferiores se les conoce como bainita inferior o bainita acicular y se asemeja a la martensita.

**Braley:** Diamante de punta esfero cónica el cual se utiliza únicamente para materiales duros.

**Calamina:** Mineral compuesto de silicato hidratado de Zinc, de color blanco o amarillento; cristaliza en el sistema rómbico.

**Cementita:** También conocida como carburo de Hierro, es un compuesto de hierro y carbono ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

**Conductividad térmica:** Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto.

**Escala Rockwell C:** Se utiliza para metales duros tales como aceros tratados térmicamente.

**Diagrama TTT:** (Temperatura, tiempo, transformación) o **curva S** 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.

**Flujo Volumétrico:** En dinámica de fluidos e hidrometría, el flujo volumétrico o tasa de flujo de fluidos es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado. Usualmente es representado con la letra Q mayúscula.

**Martensita:** Constituyente inestable que se forma al calentar y templar el acero. Se forma sin que ocurra difusión y únicamente por debajo de cierta temperatura conocida como la temperatura  $M_s$ , también es el más duro de los productos de transformación de la austenita y tiene microestructura acicular o en forma de agujas.

**NPSH:** Es un acrónimo de Net Positive Suction Head, también conocido como ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) y CNPA (Carga Neta Positiva en Aspiración). Es la caída interna de presión que sufre un fluido cuando este ingresa al interior de una bomba centrífuga

**Perlita:** Es la mezcla laminar de ferrita y cementita de las aleaciones hierro – carbono enfriadas lentamente; se encuentra en el acero y el hierro colado.

**Proceso Isotérmico:** Se denomina proceso isotérmico o proceso isoterma al cambio reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio a temperatura constante en todo el sistema.

**Templabilidad:** Es la capacidad de una aleación para transformarse en martensita durante un determinado temple esta depende de la composición química del acero el tamaño del grano y su temperatura de austenización, la templabilidad es una medida de la profundidad a la cual una aleación específica puede endurecerse.

## **RESUMEN**

El siguiente proyecto plantea el diseño y construcción de una máquina para caracterizar la templabilidad de aceros, esta tiene como objetivo ser una herramienta de aporte para reforzar el estudio de los aceros aleados, debido a su importante influencia en el diseño de elementos de máquinas.

El diseño de la máquina está basado en norma española UNE-EN ISO 642, la cual se refiere a un procedimiento estándar utilizado ampliamente para determinar la templabilidad llamado ensayo Jominy.

La máquina consta de un dispositivo de enfriamiento o de temple, el cual tiene un elemento de fijación y centrado de la probeta situado en la vertical del orificio de salida del agua con el fin de que el enfriamiento tenga lugar exclusivamente en la base inferior de la probeta; el dispositivo estará al abrigo de corrientes de aire por lo que será encerrada en un tanque de ensayo, además de un sistema de recirculación de agua impulsado por una bomba centrífuga y un tanque reservorio.

De esta forma, es posible obtener análisis y resultados de templabilidad para comparar y representar el material a partir de sus características de endurecimiento.

## **ABSTRACT**

The following project involves the design and construction of a machine for characterizing the hardenability of steels, its main function is to be a tool contribution to strengthen the study of alloy steel, because of its significant influence on the design of machine elements.

The machine design is based on Spanish standard UNE-EN ISO 642, which refers to a standard procedure widely used to determine the hardenability called Jominy test.

The machine consists of a cooling device or hardening, this has a fixing and centering cylinder located directly above the water outlet, so that cooling takes place exclusively in the lower base of the specimen, the device is protected from drafts so you will be locked in a test tank, and a water recirculation system driven by a centrifugal pump and a reservoir tank.

Thus, it is possible to analyze and to compare results of hardenability and represent the material from hardening characteristics.

## **GENERALIDADES.**

### **Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

- Diseñar y construir una máquina para caracterizar la templabilidad de los aceros en probetas, destinada a los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

#### **Objetivos específicos.**

- Analizar las condiciones del sistema hidráulico que permita caracterizar la templabilidad de los aceros.
- Aplicar normas internacionales para ensayos de templabilidad por templado final (ensayo Jominy).
- Elaborar planos de los componentes de la máquina.
- Realizar un manual de operación y mantenimiento para el uso apropiado de la máquina.

### **Alcance.**

El presente proyecto de tesis tiene como fin:

- Diseñar y construir una máquina basada en el ensayo Jominy.
- Selección de materiales según especificaciones técnicas.
- Cálculos para fundamentar la selección de elementos.
- Elaboración de planos para la construcción de la máquina.
- Montaje de la máquina y puesta en marcha.
- Protocolo de pruebas de la máquina.

## **Planteamiento del problema.**

Actualmente el laboratorio de metalografía de la carrera de Ingeniería Mecánica carece de un sistema que permita caracterizar la dureza en distintas zonas de una probeta. La principal razón para realizar este proceso experimental es obtener información del comportamiento de la estructura interna y las propiedades de un acero aleado en probetas a enfriamiento progresivo y controlado, por lo que se ha visto la necesidad de implementar una máquina para realizar prácticas de templabilidad en probetas.

## **Justificación.**

En el laboratorio de metalografía de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana actualmente no se realizan prácticas de laboratorio para el refuerzo del estudio de la templabilidad en los diferentes materiales.

El ensayo Jominy es un procedimiento estandarizado utilizado para determinar la templabilidad de los aceros aleados, simple de realizar, el cual describe la facilidad que tiene una aleación para endurecerse por deformación de martensita, permitiendo así al estudiante de ingeniería una mejor percepción de los conocimientos recibidos en este tema y a la Institución para garantizar un mejor desempeño y funcionamiento de su laboratorio.

## **Hipótesis.**

Mediante el diseño y construcción de la máquina que permite determinar la templabilidad, se podrá realizar prácticas de laboratorio utilizando probetas estandarizadas en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

## INTRODUCCIÓN

La capacidad de un acero aleado para transformarse en martensita durante un determinado temple depende de la composición química, del tamaño del grano austenítico y de la estructura del acero antes del temple y está directamente relacionada con un parámetro denominado templabilidad, el cual es un término utilizado para describir la aptitud de una aleación para endurecerse por formación de martensita.

La dureza es la propiedad de la capa superficial del material de resistir la deformación elástica y plástica, a partir de las medidas de dureza se puede encontrar la templabilidad de un acero y diferentes factores que influyen en la misma como por ejemplo curvas de enfriamiento y tamaño del grano.

En base a esto se puede afirmar que la principal motivación para la realización del ensayo Jominy es definir el comportamiento de los aceros ante el tratamiento de temple y para predecir la dureza de una pieza templada, así como también el determinar las velocidades de enfriamiento de los puntos de la probeta a una temperatura determinada.

# CAPÍTULO I

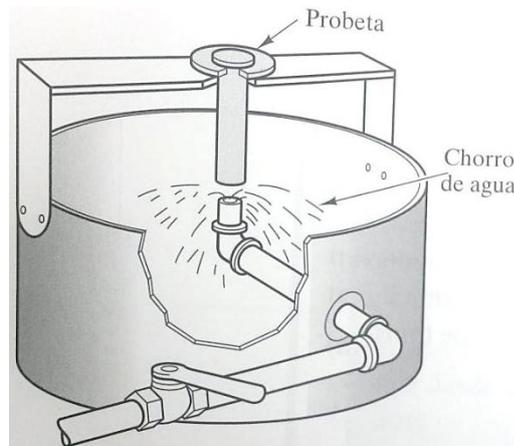
## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Ensayo Jominy.

Neely (2002) afirma que este ensayo se utiliza para determinar la profundidad del endurecimiento o templabilidad de diversos tipos de aceros. En la realización de esta prueba se calienta uniformemente una muestra de sección circular de 1 pulg de diámetro y aproximadamente 4 pulg de longitud hasta la temperatura de austenización correcta durante el tiempo necesario para completar la austenización.

La probeta se remueve rápidamente y se coloca en una abrazadera de manera tal que un chorro de agua a temperatura ambiente golpee la superficie inferior de la muestra caliente sin que se humedezcan los lados. Se le deja estar bajo la acción del chorro de agua hasta que se enfríe la muestra completa.

**Figura 1-1** Esquema de ensayo Jominy de templabilidad



**Fuente:** Shackelford, 2010, p. 25

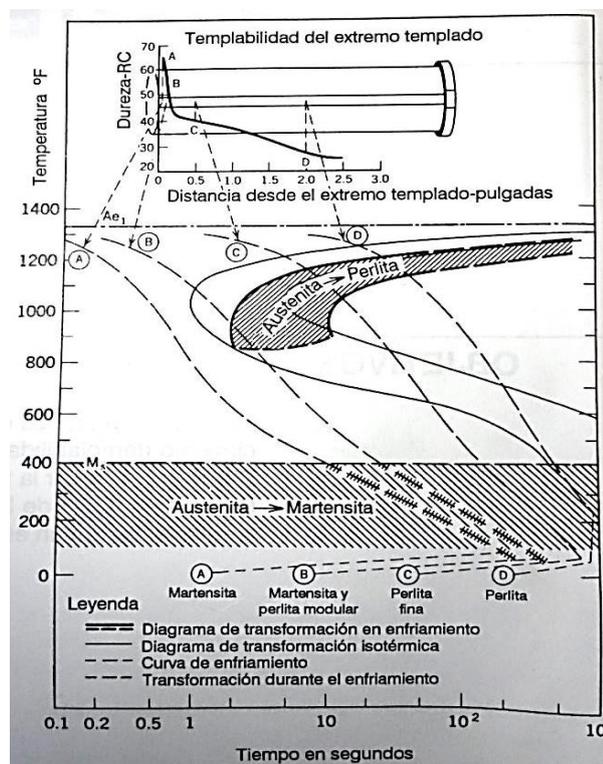
Después de que se enfríe, se esmerila las superficies planas longitudinales laterales para eliminar la descarburación y se toman lecturas Rockwell C. a intervalos de 1/16 de pulgada desde el extremo templado. Ya que el efecto del temple se concentra en la superficie del extremo, la medición de la dureza en cada punto corresponde con cierta velocidad de enfriamiento y penetración de la dureza a esa

profundidad en función del tipo particular de metal que se prueba; los datos obtenidos se grafican en un diagrama xy ( $^{\circ}\text{T}$  vs Distancia del extremo templado).

A partir de un estudio de las curvas, resulta evidente que la dureza inicial de la superficie es una función fuertemente dependiente del contenido de carbono y que la templabilidad (profundidad de endurecimiento) depende de la cantidad de carbono presente, el contenido de aleantes y el tamaño de grano. El manganeso, el boro, el cromo y el molibdeno son elementos principales que facilitan la dureza a profundidad, mientras que el níquel y el silicio ayudan en menor grado. (Neely, 2002, p. 188).

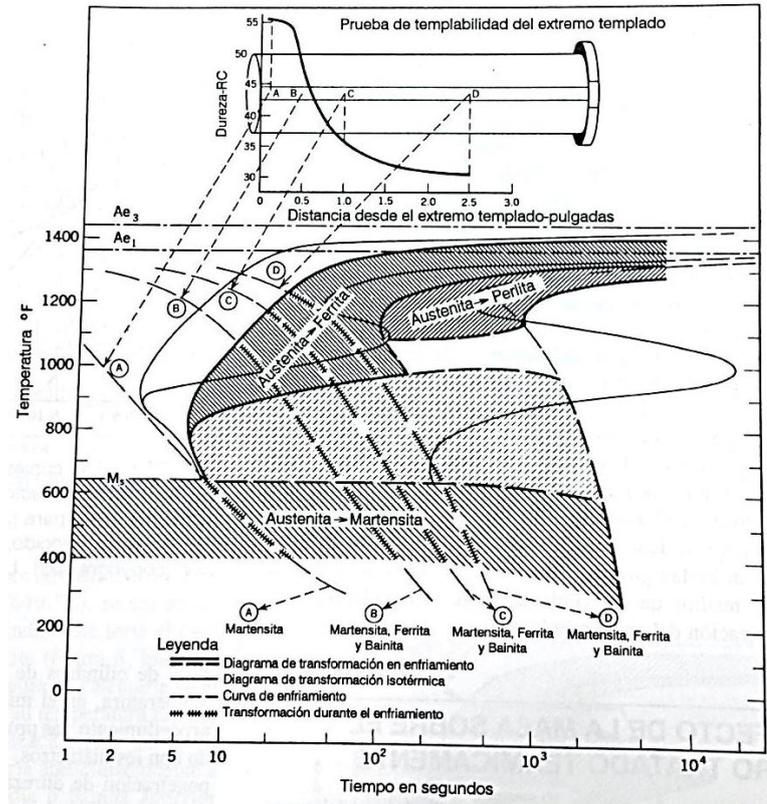
En las Figuras 1.2 y 1.3 se muestran las diferentes profundidades de endurecimiento del acero al carbono simple eutectoide (0.83% y en el acero SAE 4140).

**Figura 1-2** Correlación de los diagramas de enfriamiento continuo y la transformación isotérmica con los datos de la prueba de templabilidad para un acero al carbono eutectoide.



Fuente: Neely 2002,p. 188

**Figura 1-3** Correlación de los diagramas de enfriamiento continuo y transformación isotérmica con los datos de la prueba de templabilidad para un acero 4140.



Fuente: Neely, 2002, p.189

Como se observa en la figura 1.2, en el diagrama superior, las velocidades de enfriamiento disminuyen conforme se incrementa la distancia desde el extremo templado. Según puede verse, esta grafica superior se sobrepone directamente sobre un dibujo de la probeta Jominy en su extremo templado. La línea vertical del extremo de la muestra representa la dureza en incrementos de la escala Rockwell C.

La línea horizontal representa la longitud de la probeta. La pruebas de dureza que se realizan en la superficie plana se grafican en términos de dureza y distancia para formar una curva.

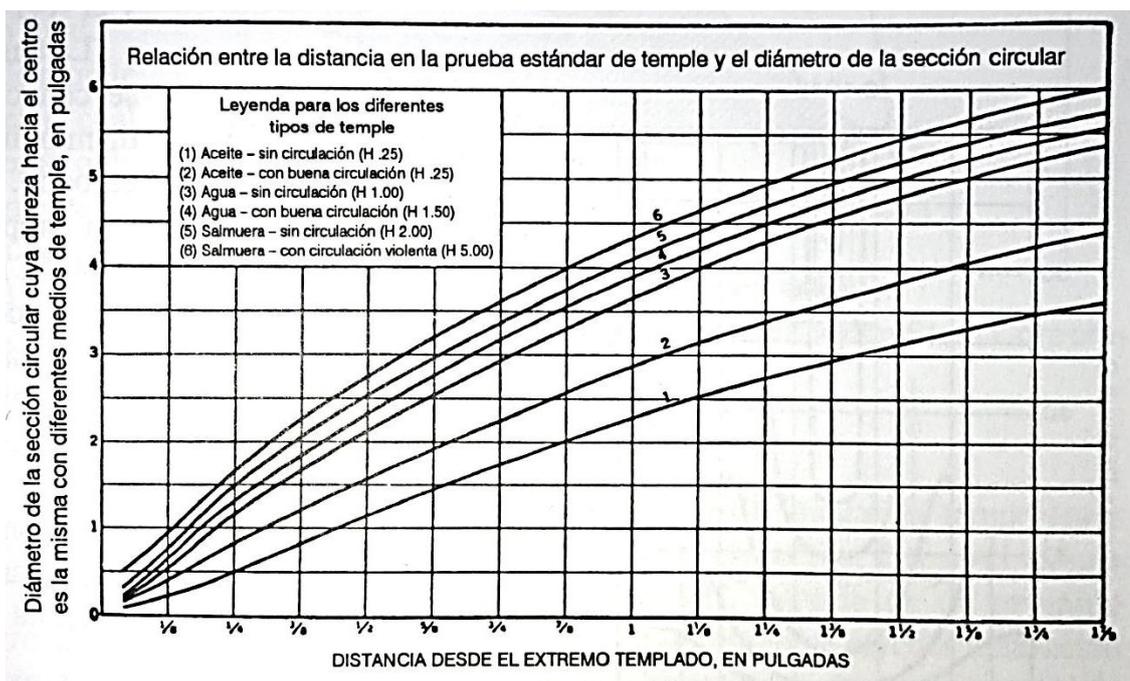
En la gráfica, el punto A de la curva representa la dureza 65RC y alrededor de 1/16 de pulgada desde el extremo. Este punto se transporta hacia abajo por la flecha punteada hacia la curva de enfriamiento (A) del diagrama TTT. Solo se obscurece la

porción de perlita del diagrama que muestra la “rodilla” pues esa es el área importante del estudio. (Neely, 2002, p. 189)

La curva de enfriamiento sobrepuesta A muestra una tasa de enfriamiento suficientemente rápida para producir 100% de martensita, pero la curva de enfriamiento B con su velocidad de enfriamiento levemente inferior produce martensita y perlita modular. Según puede verse en la figura superior, la dureza en el punto B es aproximadamente de 48 Rc y la prueba se tomó a 1/8 de pulg del extremo. En contraste, en la Figura 2.3, la prueba Rockwell en el punto B es alrededor de 1/2 pulg del extremo y de una dureza de 48Rc. Su curva de enfriamiento sobrepuesta sobre el diagrama TTT produce martensita, ferrita y bainita.

La ferrita es un producto posible debido a que este es un acero al carbono medio que contiene 0.40% de Carbono. La bainita es una substancia relativamente dura pero no tanto como la martensita. El cromo y el molibdeno del acero SAE 4140 hacen que sea de endurecimiento más profundo que el acero al carbono eutectoide. En la figura 1.4 se muestra el efecto de los diversos tipos de medios de enfriamiento sobre la templabilidad o profundización del endurecimiento, esta grafica se conoce como TTT. (Neely, 2002, p. 190)

**Figura 1-4** Las curvas de enfriamiento en diferentes medios de temple.



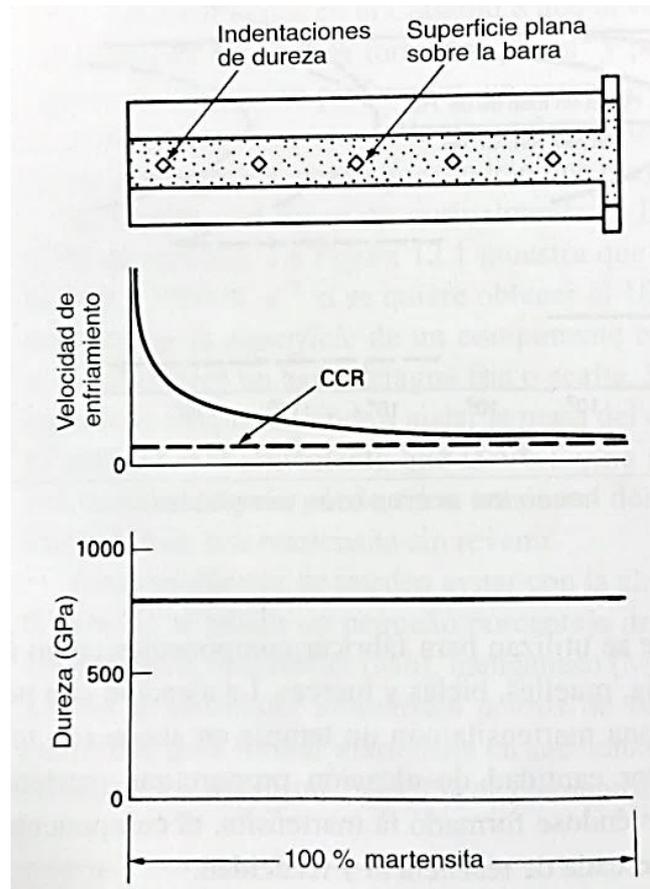
Fuente: Neely, 2002, p. 189

Tal como se describe Ashby & Jhones (2009) se conoce que, cuando todos los elementos de la aleación están en solución sólida un chorro de agua incide en los extremos de la barra. (Figura 1-5). La superficie se enfría muy rápidamente, para las distintas secciones de la barra, según nos alejamos del extremo enfriado, es decir se enfrían progresivamente más despacio. (p. 153) (Figura 1-6).

Luego de transcurrir un tiempo estandarizado, cuando se ha enfriado toda la barra se mide la dureza a lo largo de la generatriz del cilindro. Un acero de alta templabilidad muestra una dureza alta en toda la longitud de la barra (Figura 1-5). Esto se debe a que la velocidad de enfriamiento, incluso en el extremo más alejado del extremo templado, es superior a la velocidad crítica de temple, y el conjunto de la barra se transforma en martensita. Un acero de templabilidad media muestra resultados algo distintos (Figura 1-7).

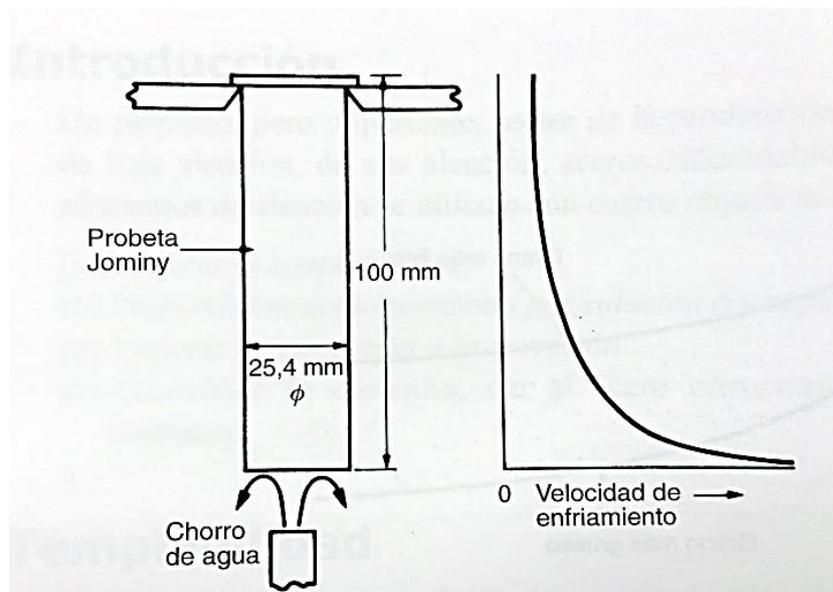
La velocidad crítica del temple es mucho mayor y solo se supera en los primeros centímetros de la barra. Una vez que la velocidad de enfriamiento cae por debajo de la velocidad crítica del temple, el acero comienza a transformarse en bainita, en vez de martensita, y la dureza cae rápidamente. (Ashby & Jhones, 2009, p. 152)

**Figura 1-5** Ensayo Jominy en un acero de alta templabilidad



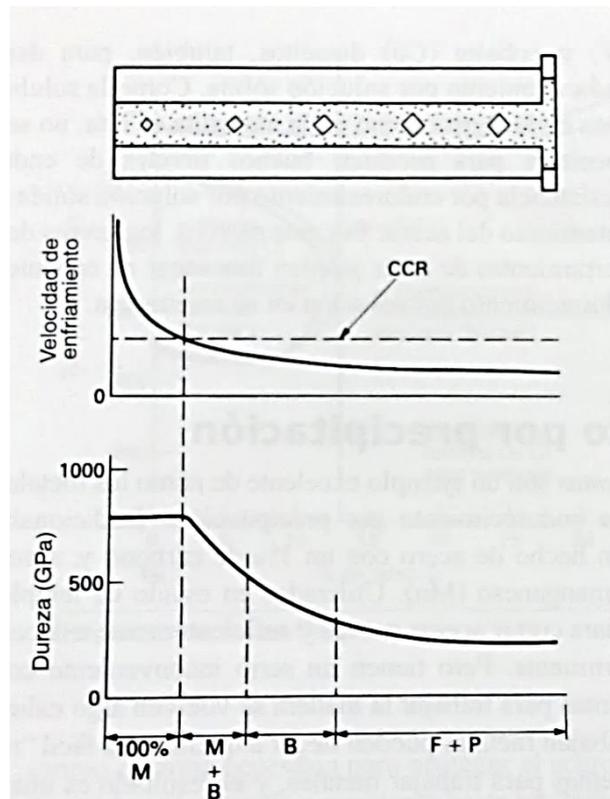
**Fuente:** Ashby & Jones, 2009, p. 152

**Figura 1-6** Ensayo Jominy de templabilidad



**Fuente:** Ashby & Jones, 2009, p. 152

**Figura 1-7** Ensayo Jominy en un acero de templabilidad media. M= martensita, B= bainita, F= ferrita primaria, P= perlita.



Fuente: Ashby & Jones, 2009, p. 153

## 1.2 Forma y preparación de probetas.

### 1.2.1 Toma de muestras.

En la norma UNE-EN-ISO 642 (2000), describe que la obtención de probetas puede efectuarse:

- Bien por el laminado forjado de probetas de 30mm a 32mm de diámetro;
- O bien mecanizando las probetas de diámetro  $(25_0^{+0.5})$  mm cuyo eje debe estar a una distancia de al menos  $(20_0^{+5})$  mm de la superficie del producto. (UNE-EN-ISO 642, 2000, p. 9) (Figura 1-8)

En el caso de productos de colada continua, se recomienda un coeficiente de reducción mínimo de 8:1 antes de efectuar la toma de muestras.

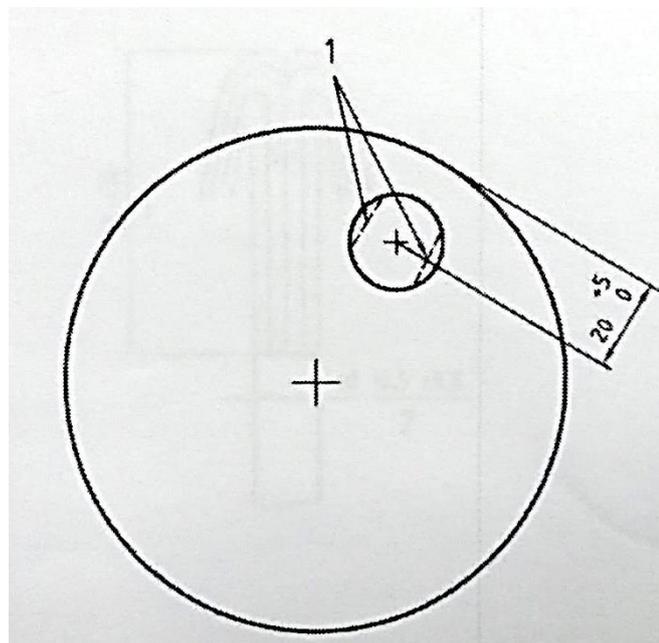
En todos los procesos de conformado que preceden al mecanizado de la probeta, la deformación del producto debe ser lo más uniforme posible a partir de todas sus caras.

En el caso de un lingotillo de colada, la sección inicial antes de la deformación debe ser al menos tres veces la correspondiente al diámetro requerido de 30mm a 32mm.

Por acuerdo particular, la probeta puede obtenerse por un procedimiento apropiado de moldeado y debe ensayarse en la condición bruto de modelado.

Los semiplanos de la probeta deben tener sus ejes situados aproximadamente a la misma distancia de la superficie del producto (Figura 1-8). Con ese objeto, la probeta debe marcarse de manera que su posición en la barra pueda ser claramente determinada. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 7)

**Figura 1-8** Toma de muestras para el mecanizado de la probeta



Leyenda:  
1 Rebajos

Fuente: UNE-EN-ISO642, 2000, p. 9

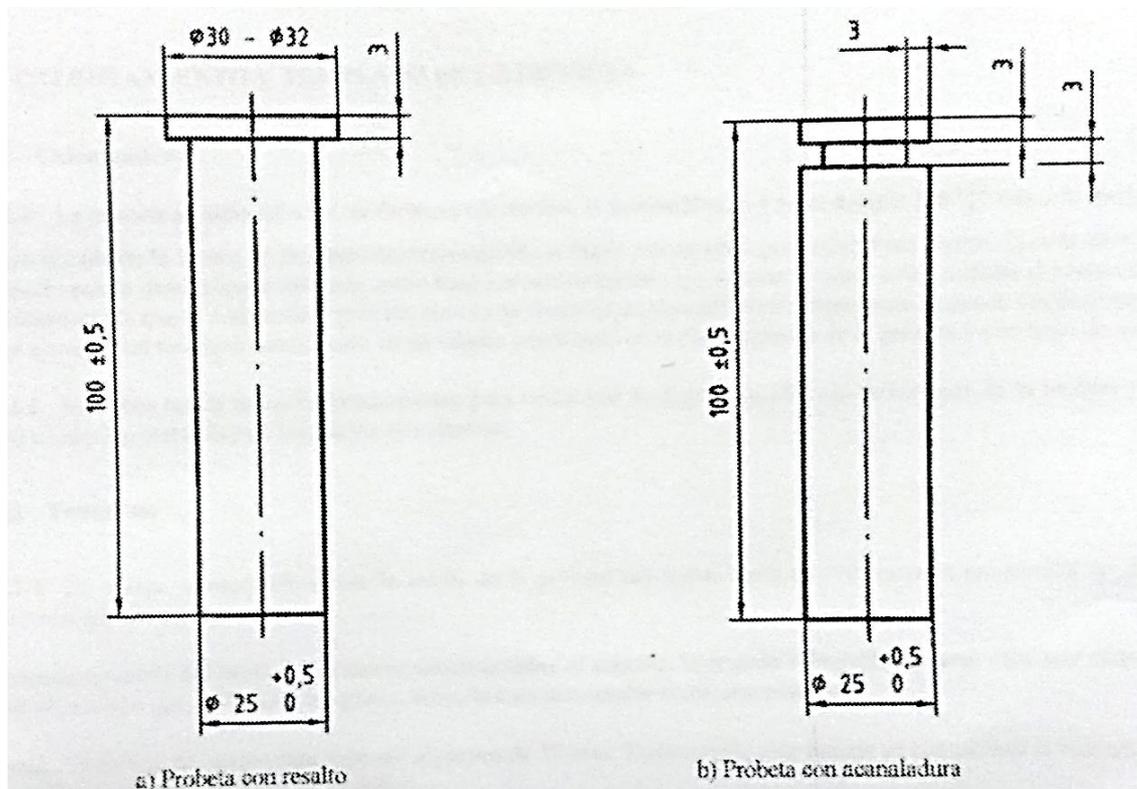
### 1.2.2 Dimensiones de la probeta.

La probeta debe consistir en una barra cilíndrica mecanizada, de 25mm de diámetro y 100mm de longitud.

El extremo de la probeta que no va a ser templado debe tener un diámetro comprendido entre 30mm y 32mm o igual a 25mm, según su forma. Dos ejemplos de probetas, una con resalto y otra con acanaladura (para permitir un centrado y posicionamiento rápido de la probeta en la operación de templado, por medio de un soporte apropiado) Figura 1-9.

Cuando sea necesario, se marcará (en el extremo opuesto al destinado a templar), la posición y orientación de la probeta con relación al producto de origen. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 8)

**Figura 1-9** Medidas de la probeta (mm)



Fuente: UNE-EN-ISO642, 2000, p. 9

### 1.2.3 Tratamiento térmico.

Salvo acuerdo en contrario, la probeta se debe someter a un tratamiento de normalización antes del mecanizado y el temple. El tratamiento de normalización se debe efectuar a la temperatura media del intervalo especificado en la norma de producto. Si la norma de producto no especifica una temperatura del normalizado, esta debe ser objeto de

un acuerdo particular o ser elegida por el laboratorio de ensayo. La duración del mantenimiento a la temperatura del normalizado debe ser de  $(30_0^{+5})$  min.

El tratamiento térmico se debe efectuar, en cada caso, de tal modo que las probetas después del mecanizado de acabado no presten ninguna tasa de decarburación. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 8)

#### **1.2.4 Mecanizado.**

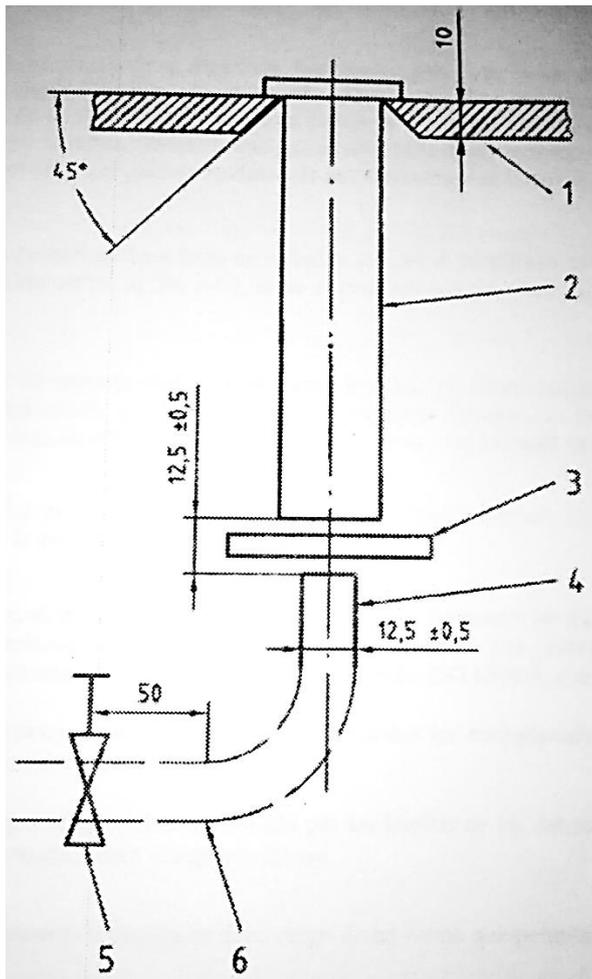
“La superficie cilíndrica de la probeta se debe mecanizar por torneado fino; la superficie del extremo a temprar de la probeta tendrá también un acabado fino, obteniendo preferentemente por rectificado y no debe presentar rebabas”, Figura 2-9. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 8)

#### **1.3 Partes constitutivas.**

El dispositivo de temple consiste esencialmente en una tobera de proyección de agua sobre el extremo de la probeta a temprar. Esto se puede realizar, por ejemplo, mediante una válvula de acción rápida y un sistema de regulación de caudal de agua o bien con un disco (3) que permita la apertura y cierre rápido del chorro de agua (Figura 1-10). En el caso de una válvula de acción rápida, la tubería de agua, después de la válvula, debe tener al menos 50 mm de longitud, con el fin de garantizar el flujo de agua sin turbulencias.

Las posiciones relativas del orificio de salida del agua y del soporte de la probeta deberán ser tales que la distancia entre dicho orificio y el extremo de la probeta a temprar sea de  $12.5 \pm 0.5$  mm. Figura 1-10. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 8)

**Figura 1-10** Esquema de un dispositivo de temple.



Leyenda:

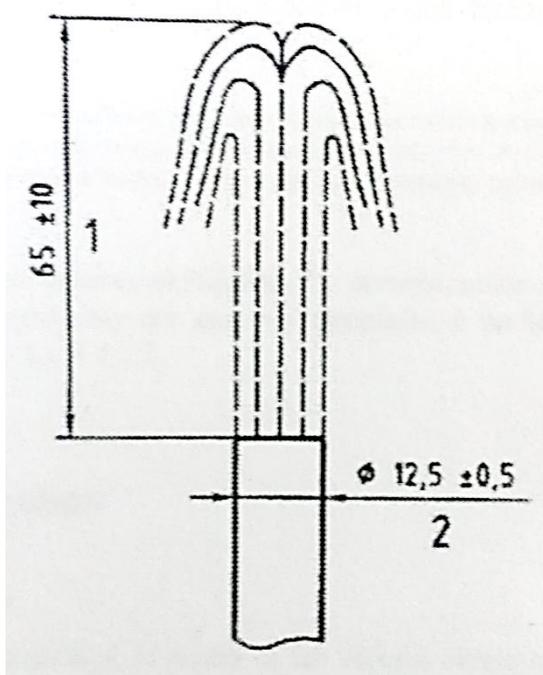
- 1 Dispositivo de fijación y centrado de la probeta.
- 2 Probeta en posición.
- 3 Disco.
- 4 Tobera de proyección.
- 5 Válvula de apertura.
- 6 Tubería de agua.

**Fuente:** UNE-EN-ISO642, 2000, p. 10

El soporte de la tobera permitirá el centrado preciso de la misma sobre el orificio y la fijara durante la proyección del agua. Debe estar seco cuando se coloque la probeta; se evitará cualquier proyección de agua sobre la probeta durante el emplazamiento y antes de comenzar el temple propiamente dicho.

La figura del chorro de agua por encima del plano del orificio cuando no esté situada la probeta será de  $(65 \pm 10 \text{ mm})$  Figura 1-11. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 8)

**Figura 1-11** Tobera de proyección.



Leyenda:

- 1 Altura de chorro libre
- 2 Diámetro del orificio de salida

Fuente: UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11

Como se indica en UNE-EN-ISO642 (2000), la temperatura del agua en el tubo debe ser de  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . (p. 8)

Para el caso de ensayos comparativos, los ensayos se deben efectuar con la misma temperatura del agua.

Durante el calentamiento y el templado, la probeta debe estar al abrigo de las corrientes de aire. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11)

#### **1.4 Calentamiento y templado de la probeta.**

##### **1.4.1 Calentamiento.**

La probeta se debe calentar uniformemente durante al menos 20 min y estar durante  $(30_0^{+5})$  min a la temperatura especificada en la norma de producto correspondiente, o fijada por acuerdo particular. Para ciertos tipos de horno, este periodo puede determinarse tomando como base los resultados de experiencias previas, estableciendo el tiempo mínimo

necesario para que el núcleo de la probeta alcance la temperatura deseada (esta temperatura se puede verificar mediante, por ejemplo, un termopar introducido en un taladro practicado en la parte superior de la probeta y a lo largo de su eje).

Se debe tomar todas las precauciones para minimizar la descarburación o la carburación de la probeta y evitar una oxidación marcada con formación de calamina. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11)

#### **1.4.2 Templado.**

De acuerdo a la norma (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11) la probeta no debe permanecer más de 5 seg luego de haberla sacado del horno y llevarla al chorro.

Durante su salida del horno y su posicionamiento sobre el soporte, la probeta solo debe sujetarse mediante unas pinzas, por el extremo que no ha sido templado, sobre la cara con resalto o con acanaladura.

El tiempo de proyección debe ser al menos 10 min. Transcurrido este tiempo se completará el enfriamiento de la probeta introduciéndola en agua fría. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11,12)

#### **1.5 Preparación y medición de la dureza después del templado.**

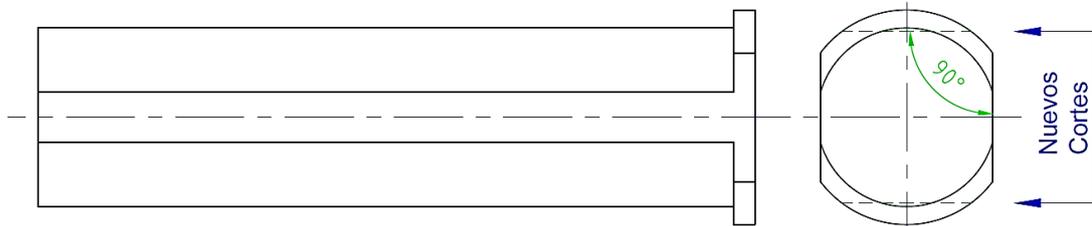
Se preparan, mediante rectificado de la superficie, dos rebajos para la medición de la dureza situados a 180° el uno del otro y paralelo al eje de la probeta. En el caso de probetas obtenidas por mecanizado, los dos rebajos deben estar a la misma distancia de la superficie del producto (Figura 2-8). La profundidad del rebajo debe ser de 0.4mm a 0.5mm. Los rebajos se deben mecanizar con aporte abundante de refrigerante y con muela de grano fino, con objeto de evitar todo calentamiento que pueda modificar la micro estructura de la probeta.

Para comprobar que la probeta no ha sufrido un revenido durante el rectificado se recomienda atacar aquella con una disolución acuosa de

ácido nítrico al 5% (v/v) hasta el ennegrecimiento total. La coloración resultante debe ser uniforme.

Si se aprecian manchas que detecten la presencia de puntos blandos se debe realizar dos nuevos rebajos a 90° como se muestra en la figura 1-12 y atacarlos como se indicó anteriormente para asegurar que son aceptables. En este caso, la medición de la dureza se debe efectuar sobre este segundo juego de rebajos y así se debe constar, con una nota, en el informe de ensayo.

**Figura 1-12** Nuevos rebajos a 90°



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

Se deben tomar todas las precauciones precisas para asegurar que la probeta está bien apoyada y rígidamente sujeta durante la medición de la dureza.

El dispositivo para el desplazamiento de la probeta sobre la máquina de ensayo de dureza debe permitir un centrado preciso del rebajo y un espaciamiento de las indentaciones de  $\pm 0.1$  mm. Las indentaciones de dureza HRC deben efectuarse según las normas internacionales ISO 6508-1, ISO 6508-2 e ISO 6508-3, a lo largo del eje de los rebajos.

Por acuerdo, las mediciones de la dureza Rockwell C. pueden ser reemplazadas por mediciones de la dureza Vickers HV 30 según la norma internacional ISO 6507-1.

Es necesario asegurar que ningún reborde formado por la huellas de las terminaciones en el primer rebajo, influyan en las mediciones efectuadas sobre el segundo rebajo.

El emplazamiento de los puntos de medida se debe elegir de tal forma que una de las dos determinaciones siguientes:

- a) Construcción de una curva representativa de las variaciones de la dureza.
- b) Determinación de la dureza en uno o varios puntos prefijados. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 12)

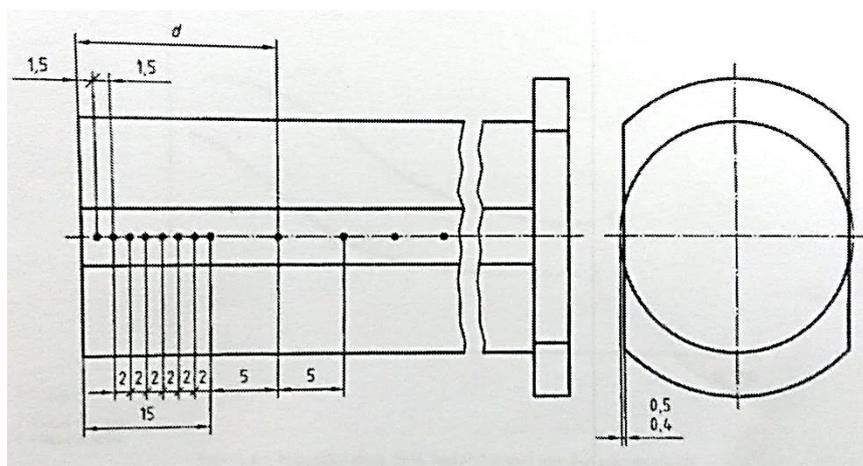
### 1.5.1 Construcción de una curva representativa de las variaciones de la dureza.

“En el caso general, las distancias, expresadas en milímetros, de los ocho primeros puntos tomados a partir del extremo templado, son las siguientes”, (Figura 1-12):

1.5-3-5-7-9-11-13-15

La norma especifica que el espaciamiento entre puntos debe ser de 5mm.

**Figura 1-13** Preparación de la probeta para medición de la dureza y emplazamiento de los puntos de medida.



Fuente: UNE-EN-ISO642, 2000, p. 15

En el caso de aceros de baja templabilidad, el primer punto de medida debe estar a 1.0 mm del extremo templado; los siguientes puntos deben estar espaciados 1.0 mm entre sí, hasta una distancia de 11 mm del extremo templado. Los cinco últimos puntos deben estar, respectivamente, a una distancia de 13 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm y 30 mm del extremo templado.

Es evidente que las distancias entre cada medición de la dureza indicadas, no siempre serán conformes con las distancias mínimas estipuladas en la norma internacional ISO 6508. Para el objeto de esta norma internacional, se considera, sin embargo, que los valores de la dureza obtenidos serán, en general, suficientemente precisos. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 12)

### **1.5.2 Determinación de la dureza en puntos prefijados.**

“La determinación de la dureza se puede efectuar en uno o varios puntos situados a distancias prefijadas del extremo templado, e incluyendo, o no, el primer punto definido en la Figura 1-12”. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

## **1.6 Expresión de los resultados.**

### **1.6.1 Dureza de un punto cualquiera.**

“Se tomará como dureza, para cada distancia  $d$ , la media de los valores obtenidos a esta misma distancia  $d$  en cada una de los dos rebajos especificados anteriormente, y el valor se redondea en principio a 0.5 HRC ó 10 HV”. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **1.6.2 Trazado de las curvas de dureza.**

En ejes cartesianos, se tomarán las distancias en abscisas y las durezas correspondientes en ordenadas, utilizando las escalas siguientes:

- En abscisas: cada 10 mm corresponden a una distancia de 5 mm; o 10 mm corresponden a una distancia de 1 mm para aceros de baja templabilidad.
- En ordenadas: 10 mm corresponden a 5 HRC o 50 HV.

Cuando las curvas Jominy se construyen con dispositivos asistidos por ordenador, el programa del ordenador establece automáticamente las escalas de los ejes. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **1.6.3 Descripción de las características de templabilidad de un acero dado.**

Utilizar uno de los métodos siguientes:

- a) Trazado de la curva de dureza;
- b) Determinación de la dureza en tres puntos, el primero de los cuales estará situado a 1.5 mm del extremo templado, (1 mm para los aceros de baja templabilidad); fijándose los otros dos por acuerdo particular;
- c) Determinación de la dureza de dos puntos situados a distancias prefijadas por acuerdo particular;
- d) Determinación de la dureza a una distancia determinada del extremo templado;
- e) Tablas de doble entrada dureza – distancia. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **1.6.4 Codificación de los resultados de los ensayos.**

“El resultado del ensayo puede expresarse de la siguiente forma: letra J seguida de dos números:

$$J_{xx} - d$$

Donde:

xx: Dureza HRC o HV 30.

d: Es la distancia, expresada en milímetros, del punto de medida al extremo templado”.

Ejemplos:

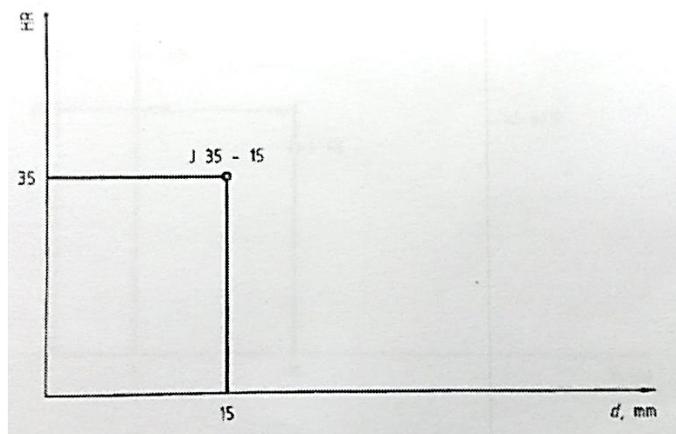
$$J35 - 15$$

Significa que a 15 mm del extremo templado, la dureza es 35 HRC (Figura 2-13).

$$JHV 450 - 10$$

Significa que a 10 mm del extremo templado, la dureza es 450 HV 30.

**Figura 1-14** Dureza a una distancia  $d$  15mm.



**Fuente:** UNE-EN-ISO642, 2000, p. 15

## 1.7 Los aceros

También conocidas como aleaciones de hierro carbono, aptas para ser deformadas en frío y en caliente. Generalmente, el porcentaje de carbono no excede el 1.72%. El acero se obtiene sometiendo el arrabio que refundidos, dan las fundiciones o hierros de segunda fusión, empleados en coladas y luego a un proceso de descarburación y eliminación de impurezas.

Además de carbono, las fundiciones corrientes contienen: silicio, fósforo, magnesio y azufre. (Moreno, 2008, p. 191,192)

### 1.7.1 Atendiendo al porcentaje de carbono los aceros se clasifican en:

- Aceros hipoentectoides: cuando su porcentaje de carbono es inferior al punto entectoide, o sea al 0.89%.
- Aceros hiperentectoides: si su porcentaje de carbono es superior al punto entectoide. (Moreno, 2008, p. 191,192)

### 1.7.2 Desde el punto de vista de su composición, los aceros se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Aceros al carbono: principalmente formados por hierro al carbono.
- Aceros aleados: además del carbono contienen otros elementos en cantidades suficientes como para alterar sus propiedades (dureza, puntos críticos, tamaño del grano, templabilidad, resistencia a la corrosión).

Con respecto a su composición, pueden ser de baja o alta aleación y los elementos que puede contener el acero pueden ser tanto deseables como indeseables, en forma de impurezas. (Moreno, 2008, p. 191-192)

### **1.8 Aceros aleados.**

Un acero aleado debe contener, al menos, un pequeño porcentaje de manganeso, silicio y cobre. Sin embargo todos los aceros contienen una pequeña cantidad de manganeso y trazas de otros elementos. Los aceros para herramientas constituyen una categoría especial de aceros templables.

De los cientos de aceros aleados algunos pueden tratarse térmicamente, por ejemplo los aceros aleados templados y revenidos. Otros son aceros de baja aleación y alta resistencia, aceros inoxidable, aceros aleados resistentes a la abrasión, aceros de alta aleación resistentes al calor y aceros aleados para altas temperaturas de servicio. Los elementos aleantes afectan la templabilidad y otras propiedades de los aceros y todos afectan mucho a la soldabilidad del metal y la condición de la soldadura. (Neely, 2002, p. 271,272)

Los propósitos de alear el acero con otros elementos son los siguientes:

- Incrementar la resistencia mecánica, ya sea a bajas o altas temperaturas.
- Incrementar la templabilidad y mejorar la tenacidad.
- Incrementar la resistencia al desgaste.
- Mejorar las propiedades magnéticas.
- Incrementar la resistencia a la corrosión. (Neely, 2002, p. 271-272)

Los sistemas SAE y AISI utilizan un número de 4 o 5 dígitos. El primer número indica el tipo de acero, el segundo indica el porcentaje aproximado del elemento aleante predominante. El tercer y cuarto dígitos representados por “x” siempre denotan, el porcentaje de carbono en centésimas. (Neely, 2002, p. 54)

**Tabla 1-1** Designación numérica SAE-AISI de los aceros aleados

Aceros al carbono	
Al carbono simple	10xx
Para corte libre, resulfurados	11xx
Aceros al manganeso	13xx
Aceros al níquel	
Con 0.50% de níquel	20xx
Con 1.50% de níquel	21xx
Con 3.5% de níquel	23xx
Con 5.00% de níquel	25xx
Aceros al níquel-cromo	
1.25% de níquel, 0.65% de cromo	31xx
1.75% de níquel, 1.00% de cromo	32xx
3.50% de níquel, 1.57% de cromo	33xx
3.00% de níquel, 0.80% de cromo	34xx
Aceros resistentes al calor y a la corrosión	303xx
Aceros al molibdeno	
Cromo	41xx
Cromo-níquel	43xx
Níquel	46xx y 48xx
Aceros al cromo	
Al bajo cromo	50xx
Al cromo medio	51xx
Al alto cromo	52xx
Aceros al cromo-vanadio	6xxx
Aceros al tungsteno	7xxx
Aceros triplemente aleados	8xxx
Aceros al silicio-manganeso	9xxx
Aceros al plomo	11Lxx (ejemplo)

(x representa el porcentaje de carbono en cientos).

**Fuente:** Neely, 2002, p. 54

## **1.9 Microestructuras de los aceros.**

### **1.9.1 Templabilidad.**

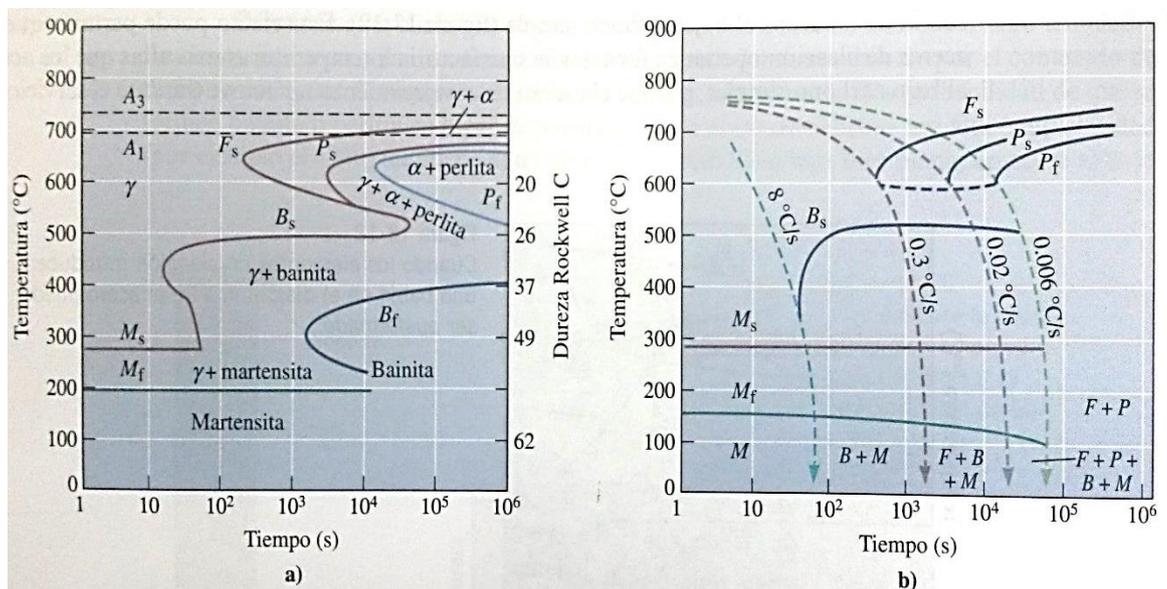
Shackelford (2010) describe que la templabilidad es la capacidad relativa de un acero para ser endurecido mediante un tratamiento de temple. (p. 509).

Los aceros al bajo carbono tienen una baja templabilidad; con magnitudes de rapidez de enfriamiento muy rápido producen solo martensita. Los aceros de aleación tienen alta templabilidad, incluso algunos enfriando al aire pueden producir martensita. La templabilidad no se refiere a la dureza del acero. Un acero al bajo carbono y de alta aleación puede fácilmente formar martensita, pero debido al bajo

contenido de carbono, la martensita no es dura. (Askeland, Fulay, & Wright, 2012, p. 509)

Para representación de la templabilidad en curvas TTT y TEC (transformación de enfriamiento continuo) se requiere de magnitudes de rapidez de enfriamiento muy rápidas para producir solo martensita en aceros al bajo carbono por presentarse en tiempos muy cortos, como se observa en la Figura 1-14 el diagrama TTT y TEC de un acero 4340. (Askeland, Fulay, & Wright, 2012, p. 509)

**Figura 1-15** Curvas a) TTT y b) TEC para un acero 4340.



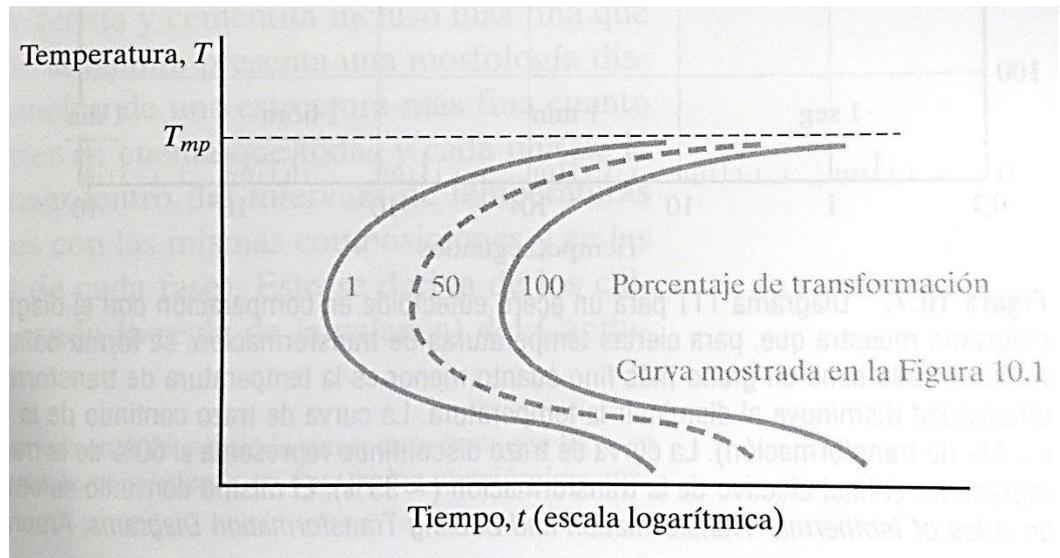
**Fuente:** Askeland, Fulay, & Wright, 2012, p. 509

### 1.9.2 Diagrama TTT.

Es un diagrama que corresponde a tiempo, temperatura y transformación (en porcentaje) conocido también como “diagrama de transformaciones isotérmicas”.

En la Figura 1-15 se puede observar el progreso de la transformación mediante las curvas correspondientes a distintos porcentajes de transformación. (Shackelford, 2010, p. 327)

**Figura 1-16** Diagrama tiempo – temperatura - transformación, ilustrándose varias curvas correspondientes a distintos porcentajes de transformación.

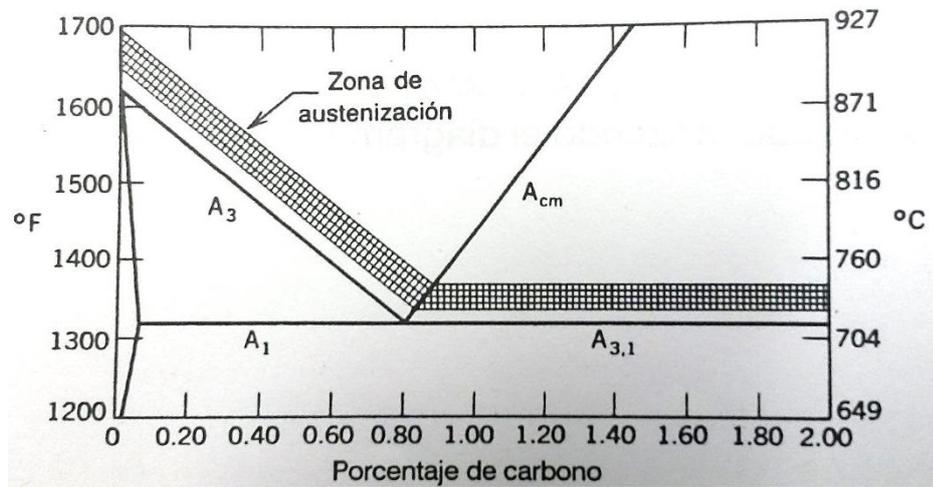


**Fuente:** Shackelford, 2010, p. 327

Al graficar un diagrama de TTT se debe tomar en cuenta 3 factores importantes:

1. Cuando la austenita se enfría por debajo de la línea  $A_1$  (Figura 1-16) a una temperatura determinada y se mantiene a temperatura constante, se empieza y se completa la transformación después de cierto tiempo, característico del acero.
2. La formación de martensita es únicamente a temperaturas relativamente bajas y de manera instantánea.
3. Si la austenita se transforma en algún punto de la curva en una estructura que es estable expuesta a temperatura ambiente, un enfriamiento rápido no cambiara el producto ya transformado, pero la austenita restante se transformara en martensita.

**Figura 1-17** Diagrama que muestra las temperaturas de temple (rango de austenización)



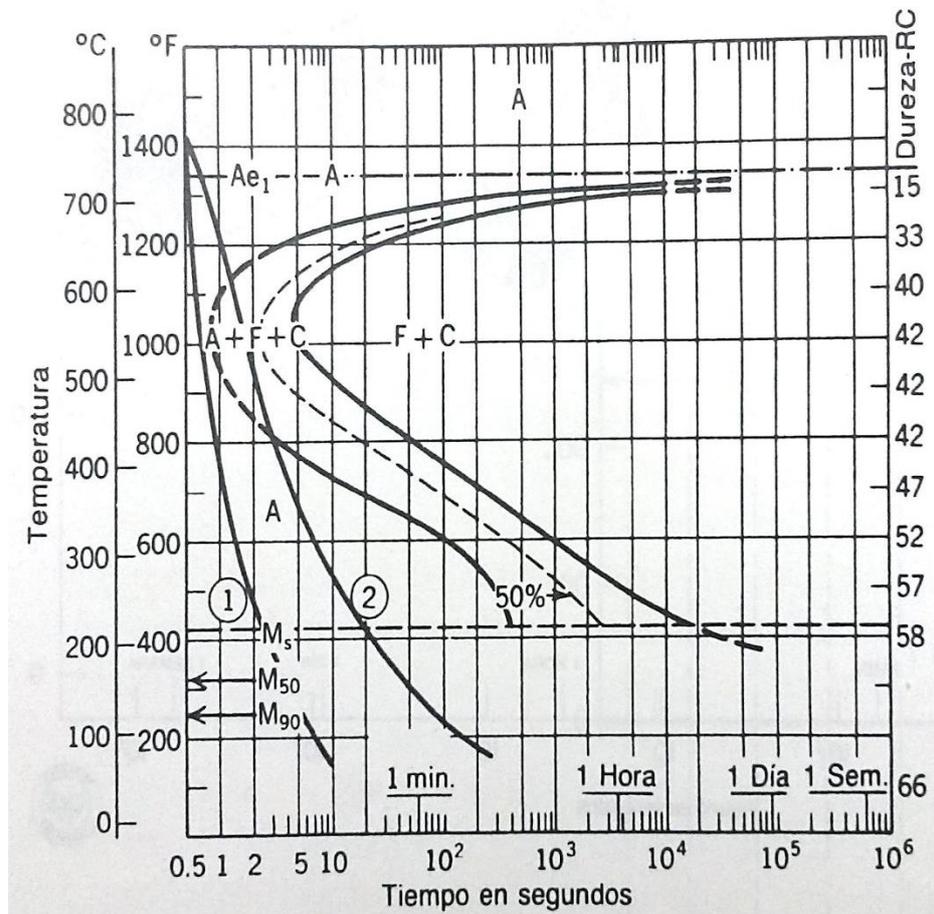
Fuente: Neely, 2002, p. 178

### 1.9.3 Curvas de enfriamiento

Si se superpone una curva de enfriamiento (Figura 1-17) sobre el diagrama TTT, puede verse que debe pasar a la izquierda de la nariz (1) del diagrama para que ocurra la transformación a martensita. Sin embargo, si la tasa de enfriamiento es demasiado lenta la curva de enfriamiento cortara la nariz del diagrama, mostrándose que ocurre una transformación parcial o completa en ese punto (2) y que la perlita fina más la martensita son las estructuras que se desarrollaron en vez de la martensita deseada.

Por lo tanto, la tasa de enfriamiento para un temple dado debe ser tal que la nariz del diagrama quede a la derecha de la curva de enfriamiento. Sin embargo, la formación de la martensita depende de la temperatura y no del tiempo. (Neely, 2002, p. 179)

**Figura 1-18** Se muestran dos curvas de enfriamiento aproximadas sobre un diagrama TTT del acero SAE 1095 para ilustrar la necesidad de un enfriamiento suficientemente rápido con el fin de evitar el corte de la nariz de diagrama.



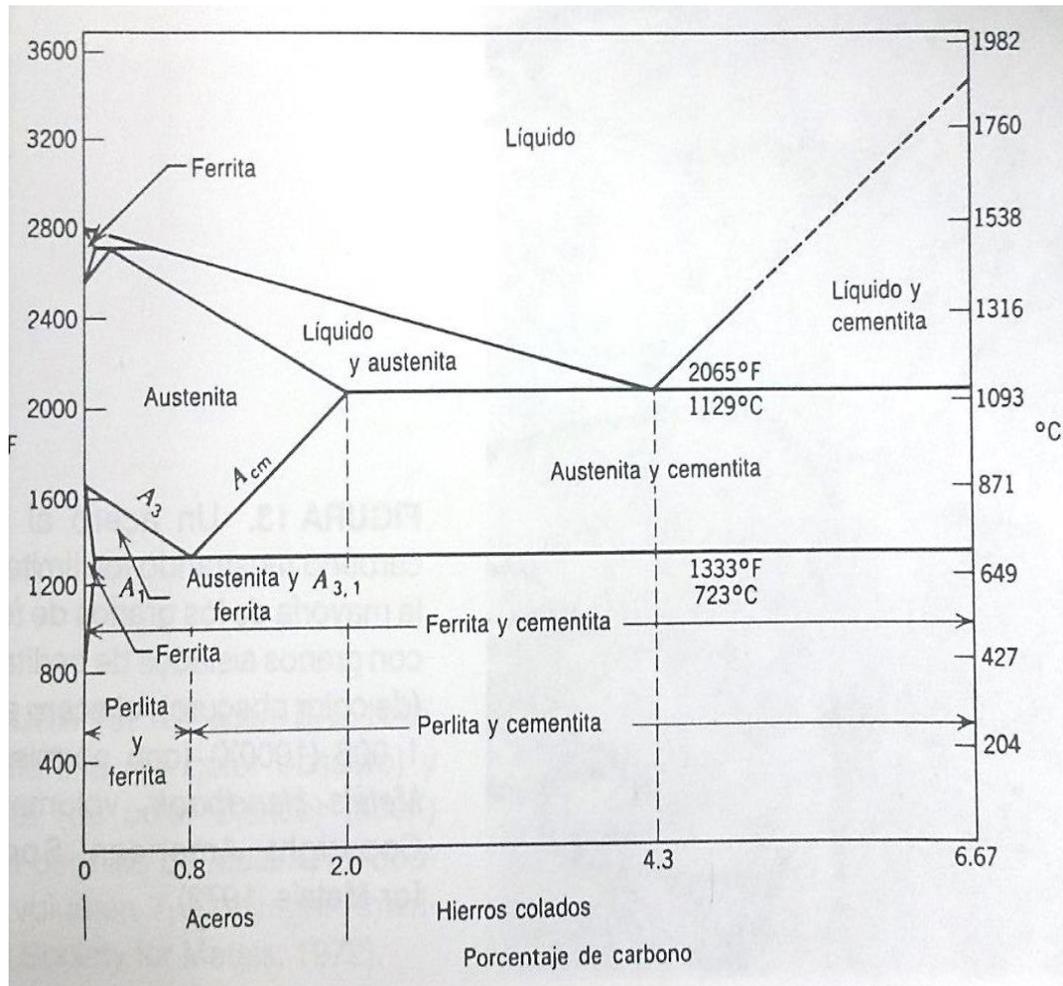
Fuente: Neely, 2002, p. 197

#### 1.9.4 Microestructuras.

Al observar un acero a través de un microscopio metalúrgico puede identificarse microestructuras como perlita, ferrita, cementita (carburo de hierro) austenita o bainita con algunas variaciones dependiendo de si ha sido sometida a un tratamiento térmico.

La estructura más dura en el diagrama de fases hierro - carbono es la cementita o carburo de hierro que contiene 6.67% en peso como se muestra en el siguiente diagrama a la derecha del mismo. (Neely, 2002, p. 145)

**Figura 1-19** Diagrama hierro – Carbono



**Fuente:** Neely, 2002, p. 145

### 1.9.4.1 Austenita.

Es un hierro cubico centrado en las caras, por lo que es una solución sólida y no una mezcla. No es estable por debajo de la temperatura de transformación inferior o crítica  $A_1 - A_{3,1}$  (Figura 1-18), excepto en algunos aceros aleados si no que se descompone en perlita, ferrita y/o cementita.

“Tiene la capacidad de disolver carbono intersticialmente hasta un máximo de 2% a 2065°F (1129°C)” (Neely, 2002, p. 147)

**Figura 1-20** Identificación de microestructuras de diferentes metales ferrosos (Austenita)



**Fuente:** Neely, 2002, p. 147

#### 1.9.4.2 Ferrita.

Se localiza en el extremo izquierdo en la zona de solución sólida angosta como se observa en el diagrama. Al ser dicha zona de grano muy limitado la ferrita es la estructura más blanda que aparece en el diagrama. Es un hierro de estructura cúbica centrada en el cuerpo y en el microscopio se lo puede observar como en colores gris o blanco.

“Disuelve solo 0.008% de carbono a temperatura ambiente y un máximo de 0.025% C a 1330 °F (721°C) “(Neely, 2002, p. 147).

**Figura 1-21** Un acero al bajo carbono mostrando los límites de la mayoría de los granos de ferrita con granos aislados de perlita fina (color oscuro); el acero es un 1008 (1000 X).



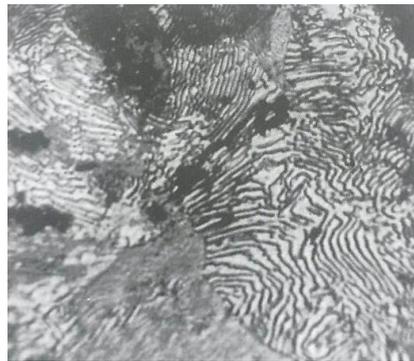
**Fuente:** Neely, 2002, p. 149

### 1.9.4.3 Perlita.

“La perlita se forma a 1330°F (721°C) cuando se enfría; el 0.8%C produce 100% de perlita, el eutectoide hierro carbono” (Neely, 2002, p. 148)

Tiene la forma de una huella digital pero realmente está formada por capas delgadas alternantes de ferrita y cementita.

**Figura 1-22** Acero SAE 1090 enfriado lentamente (100% de perlita muy gruesa) (500X)

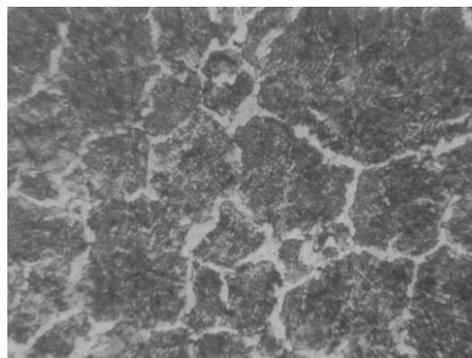


**Fuente:** Neely, 2002, p. 148

### 1.9.4.4 Cementita.

Conocida también como carburo de hierro en la que muestra su composición a lado derecho del diagrama hierro carbono, es la estructura más dura en el diagrama de fases, la cual contiene el 6.67%C en peso y se encuentra en los aceros que contienen más del 0.8% de carbono. (Neely, 2002, p. 149)

**Figura 1-23** Microestructura de un acero al 1%C en la cual se muestra la cementita en los límites de grano (las líneas blancas) (500X)



**Fuente:** Neely, 2002, p. 149

#### 1.9.4.5 Bainita.

Microestructura que representa una distribución de ferrita y cementita que aparecen en forma de agujas extremadamente finas y se la obtiene en la formación por debajo de los 400 °C, y aunque presenta una morfología distinta continúa con su tendencia general de obtención de una estructura más fina cuanto menor es la temperatura. (Shackelford, 2010, p. 330).

**Figura 1-24** Micro estructura de la bainita está asociada a agujas extremadamente finas de ferrita y cementita, en contraste con la estructura laminar de la perlita.



**Fuente:** Shackelford, 2010, p. 330

#### 1.9.4.6 Martensita.

Si una muestra de un acero al carbono simple en estado austenítico se enfría rápidamente hasta la temperatura ambiente mediante inmersión en agua, su estructura se modificara de austenita a martensita.

La martensita es una solución sólida intersticial de carbono sobresaturada en hierro cúbico centrado o hierro tetragonal centrado (BCC) y se presenta en forma de agujas. (Smith, 2006, p. 373).

**Figura 1-25** La microestructura acicular o en forma de agujas de la martensita 100X



**Fuente:** Shackelford, 2010, p. 332

## **CAPÍTULO II**

### **2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS**

Es necesario realizar un análisis de alternativas para determinar la factibilidad en el diseño y construcción de la máquina para ensayo Jominy, partiendo de la descripción de otros modelos que cumplan con los mismos requerimientos.

#### **2.1 Alternativas de diseño.**

##### **2.1.1 Alternativa 1. Máquina caracterizadora de templabilidad con horno y controladores automatizados.**

###### **2.1.1.1 Funcionamiento.**

El equipo consiste en un horno de copela el cual calienta la probeta cilíndrica de dimensiones establecidas en un tiempo y temperatura controlada por un PLC, luego será enfriada mediante su dispositivo de refrigeración en condiciones controladas, colocada en un porta probetas.

###### **2.1.1.2 Elementos principales. (Figura 2-1)**

1. PLC.
2. Electroválvula.
3. Sensor temperatura.
4. Temporizador.
5. Sensor de caudal.
6. Bomba centrífuga.
7. Reservorio acero inoxidable.
8. Porta probetas de acero inoxidable.
9. Estructura metálica (perfil L de 1 ½" x ¼" cubierta por lámina de acero recubierta por pintura electroestática).
10. Horno de copela.
11. Dispositivo de refrigeración de probeta.

**Figura 2-1** Alternativa 1



**Fuente:** TECMICRO, s.f.

#### **2.1.1.3 Ventajas.**

- Control automatizado del proceso.
- Rango de error mínimo.
- Disminución en el tiempo de traslado de probeta.
- Seguridad industrial óptima.

#### **2.1.1.4 Desventajas.**

- Mantenimiento costoso.
- Costo elevado de fabricación.
- Consumo elevado de energía eléctrica.

## **2.1.2 Alternativa 2. Máquina caracterizadora de templabilidad con dispositivo de refrigeración controlada.**

### **2.1.2.1 Funcionamiento.**

Una vez extraída la probeta de un horno es colocada manualmente en el dispositivo de refrigeración de la máquina, el cual se encargará de controlar las condiciones de enfriamiento (tiempo, caudal, temperatura) automáticamente.

### **2.1.2.2 Elementos principales. (Figura 2-2)**

1. PLC
2. Electroválvula.
3. Sensor de temperatura.
4. Sensor de caudal.
5. Sensor de presión.
6. Bomba centrífuga.
7. Tubería ISO de vapor.
8. Reservorio acero inoxidable.
9. Porta probetas de acero A36 tratado térmicamente.
10. Dispositivo de refrigeración automatizada.

**Figura 2-2** Alternativa 2



**Fuente:** INNOV@TE, s.f.

### **2.1.2.3 Ventajas.**

- Control automatizado del proceso.
- Rango de error mínimo.
- Menor costo de fabricación.
- Menor espacio de trabajo.

### **2.1.2.4 Desventajas.**

- Costo elevado de mantenimiento.
- Aumento en tiempo de traslado de probeta.
- Seguridad industrial media.

## **2.1.3 Alternativa 3. Máquina caracterizadora de templabilidad con control manual de instrumentos.**

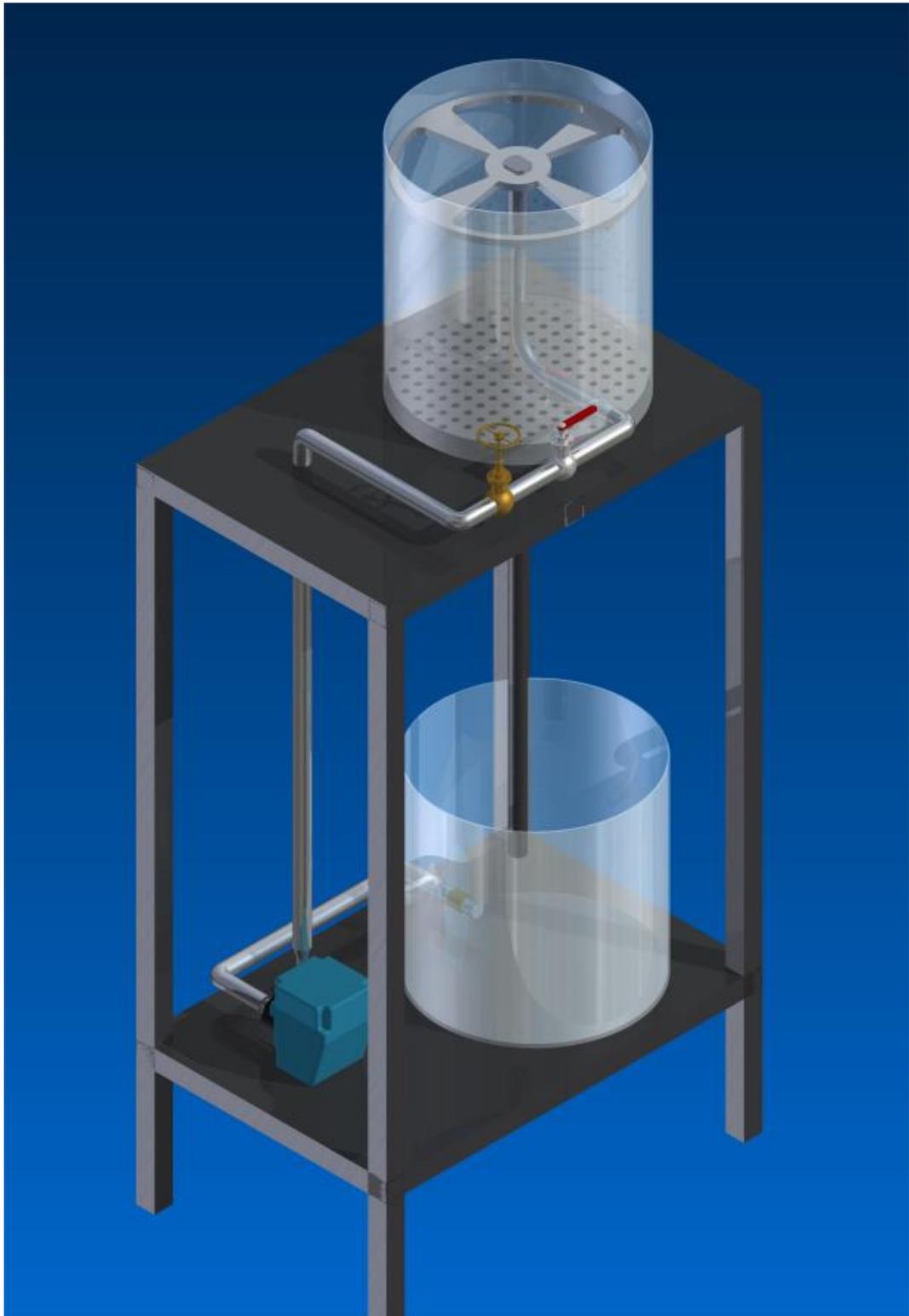
### **2.1.3.1 Funcionamiento.**

El equipo consiste en un sistema hidráulico cerrado impulsado por una bomba centrífuga y controlada mediante una válvula de acción rápida y un sistema de regulación del caudal del agua que libera el líquido a una tobera de proyección de agua sobre el extremo de la probeta a enfriar.

### **2.1.3.2 Elementos principales. (Figura 2-3)**

1. Bomba centrífuga
2. Tubería ISO galvanizada.
3. Válvula de bola.
4. Válvula de accionamiento rápido.
5. Tanque de almacenamiento de agua.
6. Tanque porta probetas.
7. Estructura metálica (cubierta por lámina de acero inoxidable).

**Figura 2-3** Alternativa 3



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### **2.1.3.3 Ventajas.**

- Menor costo de fabricación.
- Mejor diseño didáctico.
- Fácil mantenimiento.
- Menor área de trabajo.

### **2.1.3.4 Desventajas.**

- Seguridad industrial media.
- Aumento en tiempo de traslado de probeta.
- Control de caudal inestable.
- Operación no automatizada.

## **2.2 Análisis de necesidades.**

Las necesidades a satisfacer que se deben tomar en cuenta para seleccionar la alternativa más óptima son:

- Costos.
- Seguridad.
- Complejidad en su construcción.
- Mantenimiento.
- Tamaño y peso.
- Didáctica.
- Distancia entre maquina Jominy y horno.

### **2.2.1 Costos.**

Se realiza una valoración de los materiales, procesos de fabricación y elementos que conformarán la máquina para determinar la alternativa de diseño que cumpla con las necesidades requeridas con un costo asequible, se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 un valor elevado y 10 un valor económico.

### **2.2.2 Seguridad.**

Se realiza un análisis del proceso y la magnitud de riesgo al que está expuesto el operador en las diferentes alternativas de diseño, se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 seguridad baja y 10 seguridad alta.

### **2.2.3 Complejidad en su construcción.**

El análisis se basa en la facilidad de construcción de la máquina la cual dependerá de varias características de diseño y de los materiales e instrumentos a emplearse en cada una de las alternativas de diseño, se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 muy complejo en su construcción y 10 sencillo.

### **2.2.4 Mantenimiento.**

Se evaluará la complejidad al momento de hacer el mantenimiento o reparación de algún elemento de la máquina, siendo óptimo el ahorro de recursos y tiempo al momento de mantenimiento en las diferentes alternativas de diseño, se usará una puntuación del 1 al 10 siendo 1 difícil mantenimiento y 10 fácil.

### **2.2.5 Tamaño y peso.**

El análisis se hará en base a la adaptación de la máquina en el lugar de trabajo, de modo que sea fácil su transporte y muestre ergonomía en su operación en cada una de las alternativas de diseño, se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 tamaño y peso elevado y 10 óptimo.

### **2.2.6 Didáctica.**

Al ser una máquina destinada al aprendizaje por medio de procesos experimentales se evaluará cuan didácticas son las diferentes alternativas de diseño, se usará una puntuación del 1 al 10, siendo 1 poco didáctico y 10 lo contrario.

### **2.2.7 Distancia entre máquina Jominy y horno.**

En la norma UNE-EN-ISO642 se establece que la probeta no debe permanecer fuera del abrigo del horno ni frente a corrientes de aire por más de 5 seg, por lo que la máquina de ensayo Jominy debe tener la capacidad de moverse para colocarse lo

mas cerca posible, para evaluar esta necesidad se empleara la puntuacion del 1 al 10 siendo 1 dificil de mover y 10 facil de transportar.

### 2.3 Elección de la alternativa de diseño.

Para lograr la mejor elección de diseño de la máquina de ensayo Jominy se utilizará el método cuantitativo el cual su principal ventaja se basa en escalas numéricas para valorar alternativas establecidas en combinación de las diferentes necesidades establecidas anteriormente; empleando la misma escala pero asignando diferentes valores a las necesidades.

Se realizará una matriz para la selección y el análisis de las diferentes alternativas, la cual usará una puntuación numérica en una escala del 1 al 10 tomando en cuenta las ponderaciones establecidas en cada una de las necesidades.

Se sumará cada uno de los puntajes obtenidos por cada una de las alternativas y se elegirá la que obtenga mayor puntuación.

**Tabla 2-1** Matriz de selección de alternativas.

NECESIDADES	ALTERNATIVAS		
	1	2	3
Costos	4	6	9
Seguridad	9	8	8
Complejidad en la construcción	4	6	8
Mantenimiento	5	7	9
Tamaño y peso	6	7	7
Didáctica	5	6	7
Distancia entre maquina Jominy y Horno	7	7	7
Valoración global / 60	40	47	55

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

Dado los resultados obtenidos en la matriz de selección, se ha establecido que la mejor alternativa para el diseño y construcción de la máquina caracterizadora de templabilidad (Jominy) es la alternativa 3, la máquina caracterizadora de templabilidad con control manual de instrumentos.

## CAPÍTULO III

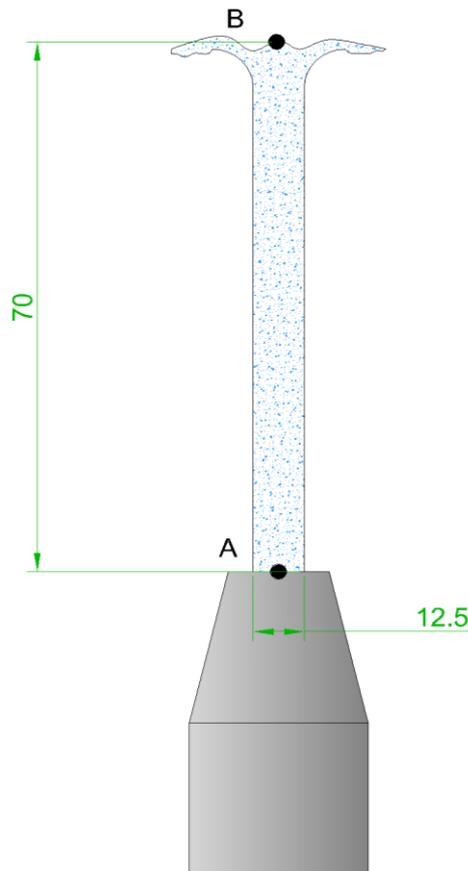
### 3. DISEÑO Y CÁLCULOS DE ELEMENTOS A CONSTRUIRSE Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS.

#### 3.1 Diseño del sistema hidráulico.

##### 3.1.1 Cálculo de velocidad de salida en el sistema.

En la norma UNE-EN-ISO 642 (2000) se establece que las condiciones de salida del chorro de agua son las siguientes (p. 11):

**Figura 3-1** Descripción de chorro libre



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

- **Altura del chorro libre :**  $65 \pm 10\text{mm}$
- **Diámetro de salida :**  $12.5 \pm 0.5$
- **Fluido :** Agua  $15^\circ\text{C}$

Para el cálculo inicial del chorro de agua es necesario determinar la velocidad de salida del fluido, por lo que se emplea el teorema de Torricelli según (Mott R. L., 2006, p. 179) para chorros verticales:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

$P_A$ : Presión en el punto A.

$\gamma$ : Peso específico del fluido agua.

$Z_A$ : Altura del punto A desde un punto referencial.

$g$ : Gravedad

$V_A$ : Velocidad del fluido en el punto A.

$P_B$ : Presión en el punto B.

$Z_B$ : Altura del punto B desde un punto referencial.

$V_B$ : Velocidad del fluido en el punto B.

Al analizar el sistema se determina que tanto el punto A y el punto B están expuestos al medio ambiente por lo que sus presiones se las considera nulas, también se determina que la velocidad del fluido en el punto B debe ser igual a cero debido a que este es el punto máximo donde debe llegar el fluido por lo que este comienza a descender nuevamente.

Entonces:

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

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

Al despejar  $V_A$  se obtiene:

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

$$V_A = \sqrt{(0.07 - 0m) (2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$V_A = 1.17 \text{ m/s}$$

### 3.1.2 Cálculo del caudal.

Luego de conocer la velocidad de salida del fluido se procede calcular el caudal que va a tener el sistema hidráulico, sabiendo que la velocidad de salida del fluido en el punto A no debe variar.

Para esto se debe conocer el área de salida del fluido este se describe en un círculo de 12.5 mm de diámetro y según (Mott R. L., 2006, p. 612) se la determina por el área de un cilindro.

Donde:

$d$ : Diámetro de salida del fluido.

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Entonces:

$$\text{Área} = \frac{\pi \cdot 0.0125^2}{4}$$

$$\text{Área} = 1.227 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Luego de obtener el área podemos calcular el caudal del fluido, según Mott (2006) el caudal es igual a (p. 628):

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

$Q$ : Caudal.

$V$ : Velocidad.

$A$ : Área.

Entonces:

$$Q = 1.17 \text{ m/s} \cdot 1.227 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 1.4358 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \approx 0.0382 \text{ Gal/s} \approx 2.292 \text{ Gal/min}$$

### **3.1.3 Selección de la tubería del sistema.**

#### **3.1.3.1 Sustentación 1.**

Según (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 11) el diámetro interior de salida del chorro de agua debe ser de 12.5 mm, puesto que en el mercado la tubería con un diámetro interior más cercano a esta es la de ½ NPT se selecciona esta en hierro galvanizado para evitar corrosión.

#### **3.1.3.2 Sustentación 2.**

Mott R. L. (2006) brinda una guía para seleccionar el tamaño de la tubería según el flujo volumétrico requerido por el sistema (p. 161).

Ya que el presente proyecto requiere un caudal de **2.292Gal/min** y siendo **10Gal/min** el valor mínimo (ver Anexo 1) se selecciona una tubería de ½ NPT.

#### **3.1.4 Tobera de reducción.**

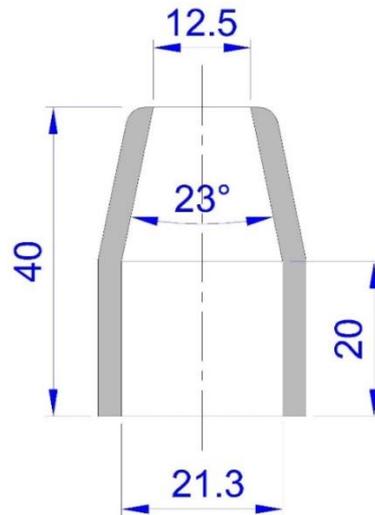
Dimensiones tubería ½ NPT:

Diámetro interior: 17.3 mm

Diámetro exterior: 21.30mm

Debido a que el diámetro interior de la tubería de ½ NPT es mayor al requerido según UNE-EN-ISO642 (2000) es necesario adecuar una reducción para alcanzar el diámetro ideal de salida del chorro (p. 11).

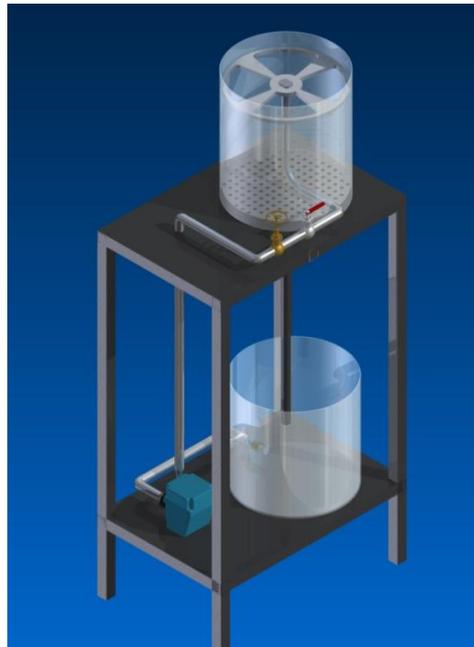
**Figura 3-2** Tobera de reducción



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.1.5 Elementos del sistema hidráulico.

**Figura 3-3** Sistema hidráulico



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Tabla 3-1** Elementos del sistema hidráulico.

<b>Elementos en succión</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>
Codo a 90° tipo estándar	2
Válvula de pie con colador	1
Bushing de entrada bomba	1
<b>Elementos en descarga</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>
Codo a 90° tipo estándar	4
Válvula de compuerta	1
Válvula de bola	1
Tobera	1
Bushing de salida bomba	1

Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.1.6 Cálculo de pérdidas de energía en el sistema hidráulico. (hl)

#### 3.1.6.1 Pérdidas menores.

Las pérdidas menores de energía en el sistema se las determina con el cálculo y análisis de varios componentes del sistema de flujo, principalmente válvulas de control y accesorios. Se la realiza con la aplicación de la ecuación de Darcy para la pérdida de energía (Shames, 1995, p. 329).

$$hl = \frac{KV^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Donde:

$K$ : Coeficiente de resistencia

$V^2$ : Velocidad del fluido (m/s)

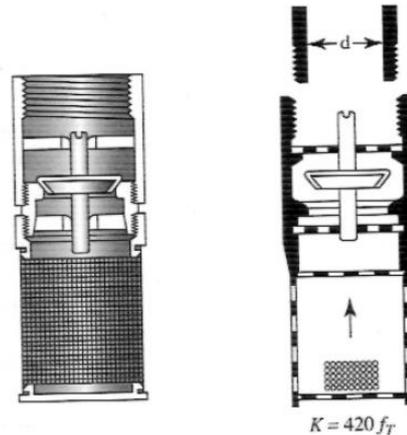
$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ )

Las Pérdidas van determinadas conforme el fluido pasa por dispositivos donde hay un coeficiente de resistencia ( $K$ ) dependiendo del mismo.

Para este caso los dispositivos de control existentes como válvulas y elementos de acoplamiento con pérdidas en la línea de succión y de descarga son:

**Válvula de pie con alcachofa (colador).**- Llevan a cabo la función de permitir el flujo en una dirección y se emplean en la entrada de líneas de succión que conducen el fluido de un tanque de abastecimiento a una bomba. Es común que estén equipadas con un filtro para evitar que objetos extraños en el tanque de abastecimiento ingresen en la bomba. (Mott R. L., 2006, p. 302)

**Figura 3-4** Válvula de pie con alcachofa (colador) tipo de disco de vástago.



**Fuente:** Mott R. L., 2006, p. 295

Según (Mott R. L., 2006, p. 295), esta válvula tiene un coeficiente de resistencia determinada por la siguiente ecuación:

$$K = ft \left( \frac{Le}{D} \right) = 420 ft \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

$ft$ : Factor de fricción

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

Entonces:

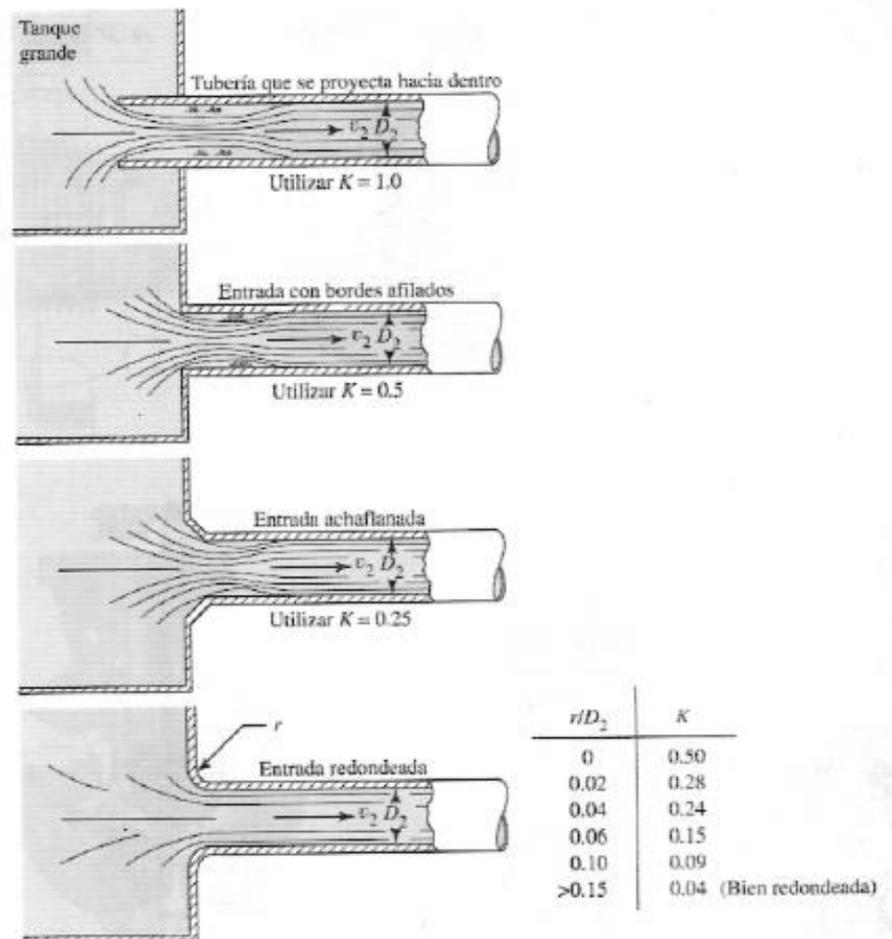
$$K_{valv.pie} = 420 \cdot 0.050$$

$$K_{valv.pie} = 21$$

**Entrada de la tubería.-** En la entrada de la tubería existe un coeficiente de resistencia debido a un caso especial de contracción cuando un fluido se mueve del depósito hacia la tubería. Según Mott R. L. (2006) este coeficiente, por el diseño empleado en este caso sugiere sea de (p. 293):

$$K_{ent} = 1$$

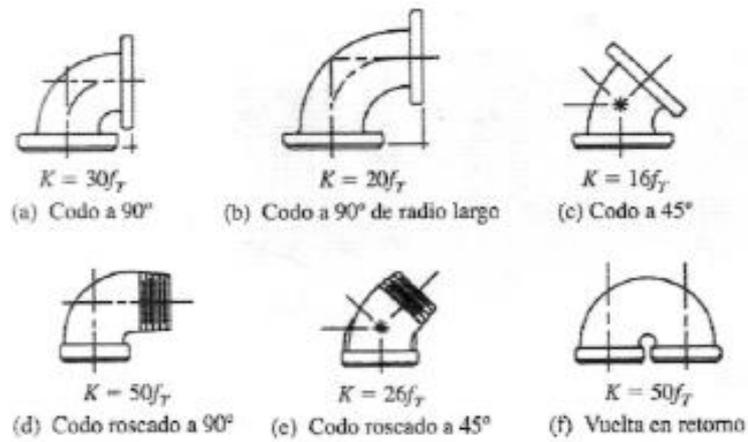
**Figura 3-5** Coeficientes de resistencia para válvulas y acoplamientos.



**Fuente:** Mott R. L., 2006, p. 293

**Codo estándar 90°.-** Estos acoplamientos dirigen la trayectoria del flujo o hacen que cambie su tamaño, la pérdida de energía se determina con la ecuación 3.1, tomando en cuenta que la longitud equivalente para este caso es de 30. ( $\frac{L_e}{D} = 30$ ). (Mott R. L., 2006, p. 296)

**Figura 3-6** Codos de tubería



**Fuente:** Mott R. L., 2006, p. 296

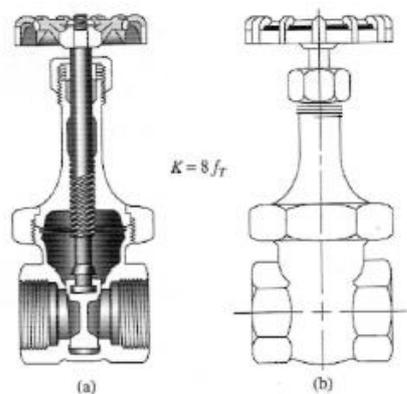
Entonces:

$$K_{codo} = 30 \cdot 0.050$$

$$K_{codo} = 1.5$$

**Válvula de compuerta.-** Esta válvula es uno de los mejores para la limitación de pérdida de energía.

**Figura 3-7** Válvula de compuerta



**Fuente:** Mott R. L., 2006, p. 294

Según (Mott R. L., 2006, p. 297) el factor de resistencia K es determinado por la ecuación 4.1 con un  $\frac{Le}{D}$  de 8 con apertura del 100%, para una apertura de 50% es de 160, cuando este 25% abierta tiene un valor de 900.

Entonces:

$$K_{val.100\%} = 8 \cdot 0.050$$

$$K_{val.100\%} = 0.4$$

$$K_{val.50\%} = 160 \cdot 0.050$$

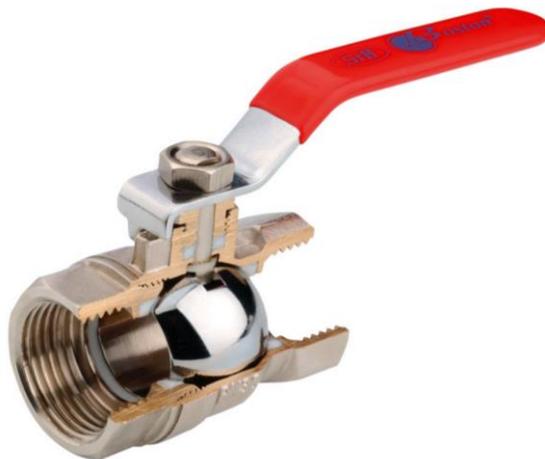
$$K_{val.50\%} = 8$$

$$K_{val.25\%} = 900 \cdot 0.050$$

$$K_{val.25\%} = 45$$

**Válvula de bola.-** Se utilizan con más frecuencia en operaciones para arrancar y parar, solo se requiere de un cuarto de vuelta para que cierren por completo o abran totalmente. (Mott R. L., 2006, p. 297)

**Figura 3-8** Válvula de bola



**Fuente:** CRANE, p. A-36

El factor de resistencia K es determinado por la ecuación 3.1 con un  $\frac{Le}{D} = 150$ .

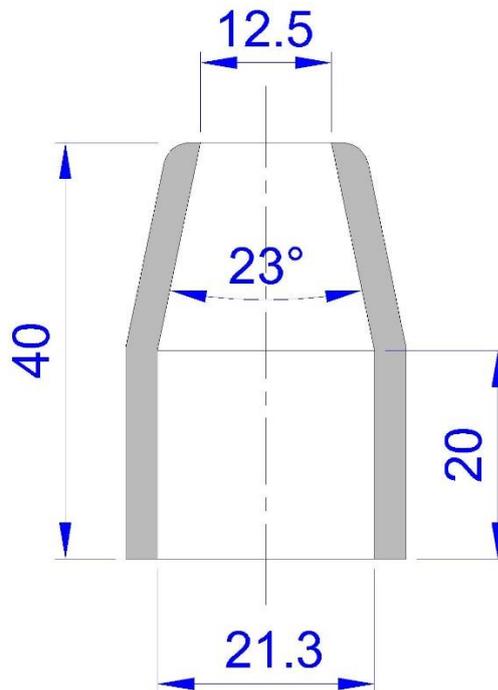
Entonces:

$$K_{val.bola} = 150 \cdot 0.050$$

$$K_{val.bola} = 7.5$$

**Tobera de reducción.-** Esta tobera con contracción gradual debido a parámetros establecidos anteriormente (diámetro de salida del fluido a la probeta) tiene una resistencia que se basa en la cabeza de velocidad en el conducto menor después de la contracción.

**Figura 3-9** Tobera



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

Y para este caso con un ángulo  $\theta = 45^\circ$ , según Shames (1995) el factor de resistencia K se calcula al aplicar la siguiente ecuación (p. 337):

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

**3-6**

**Ecuación**

Donde:

$\theta$ : Ángulo del cono de la contracción (°)

$D_1$ : Diámetro mayor de la tobera (mts)

$D_2$ : Diámetro menor de la tobera (mts)

Entonces:

$$K_{tobera} = \frac{0.8 \sin\left(\frac{23}{2}\right) \left[1 - \left(\frac{12.5}{21.3}\right)^2\right]}{\left(\frac{12.5}{21.3}\right)^4}$$

$$K_{tobera} = 0.88$$

**Velocidad del fluido en el sistema.-** Para determinar la velocidad del fluido (V) en el sistema se plantea el análisis con la ecuación 3.3, al despejar la velocidad.

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

Donde:

Q: Caudal ( $m^3/s$ )

A: Flujo del área en la tubería seleccionada ( $m^2$ )

El área de la tubería seleccionada, Iso II NPT de  $\emptyset$  ½ plg galvanizada es de  $2.35 \times 10^{-4} m^2$ .

Entonces:

$$V = \frac{1.4358 \times 10^{-4} m^3/s}{2.35 \times 10^{-4} m^2}$$

$$V = 0.6151 \text{ m/s}$$

Se aplica la ecuación 3.4 y se determina las pérdidas menores con los coeficientes K determinados anteriormente y con la velocidad:

**Pérdidas menores en la succión.-** Se aplica la ecuación 3.4, con los factores K de los elementos del sistema que se encuentran en la succión.

La sumatoria sería:

$$K_{total} = K_{valv.pie} + K_{ent} + K_{codo} + K_{codo}$$

$$K_{total} = 21 + 1 + 1.5 + 1.5$$

$$K_{total} = 25$$

Entonces de la ecuación 4.4:

$$hl_{succión} = \frac{21 \cdot (0.6151 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$hl_{succión} = 0.48 \text{ m}$$

**Pérdidas menores en la descarga.-** Se aplica la ecuación 4.4, con los factores K de los elementos del sistema que se encuentran en la descarga.

Se determina las pérdidas menores en la descarga con valores de válvulas al 100% abierta.

[La sumatoria sería:

$$K_{total} = K_{codo} + K_{codo} + K_{val.100\%} + K_{val.bola} + K_{codo} + K_{codo} + K_{tobera}$$

$$K_{total} = 1.5 + 1.5 + 0.4 + 7.5 + 1.5 + 1.5 + 0.88$$

$$K_{total} = 14.78$$

Entonces de la ecuación 3.4:

$$hl_{descarga} = \frac{14.78 \cdot (0.6151 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$hl_{descarga} = 0.29 \text{ m}$$

La sumatoria de las pérdidas menores sería:

$$hl_{descarga} + hl_{descarga}$$

$$hl = 0.77 \text{ m}$$

### 3.1.6.2 Pérdidas mayores.

Las pérdidas mayores (h<sub>m</sub>) en el sistema, van determinadas principalmente por la tubería seleccionada. Según Mott R. L.(2006) la ecuación para determinar las pérdidas de energía es (p. 233):

$$hl_m = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

Donde:

*f*: Factor de fricción

*L*: Longitud de la tubería (m)

*D*: Diámetro interior de la tubería (m)

*K*: Coeficiente de resistencia

*V*<sup>2</sup>: Velocidad del fluido (m/s)

*g*: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para determinar el comportamiento del fluido es decir si el fluido es laminar o turbulento es necesario calcular el número de Reynolds (*N<sub>R</sub>*) ya que esto intervendrá

en las pérdidas de energía del sistema, Mott R. L.(2006) describe la siguiente ecuación que muestra la definición básica del número de Osborne Reynolds (p. 231):

$$N_R = \frac{\vartheta \cdot D \cdot \rho}{\eta} = \frac{\vartheta \cdot D}{\nu} = \frac{v \cdot D}{\eta} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Donde:

$\vartheta$ : Velocidad promedio del flujo.

$D$ : Diámetro interior de tubería.

$\rho$ : Densidad del fluido.

$\eta$ : Viscosidad del fluido ( $1.15 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ).

$\nu$ : Velocidad del fluido.

Entonces:

$$N_R = \frac{(0.6151) \text{ m/s} \cdot 0.0173}{1.15 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2} = 9254.46$$

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

Por lo tanto el fluido de comporta de manera turbulenta ya que es mayor de 2000.

Conociendo el comportamiento del fluido se puede calcular el factor de fricción que ocasionara pérdidas en el sistema, mediante la siguiente ecuación.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción flujo turbulento

$D$ : Diámetro interno de tubería.

$\epsilon$ : Rugosidad relativa tubería hierro galvanizado

**Tabla 3-2** Valores de diseño de rugosidad de tubos.

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

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

Entonces:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \left( \frac{0.0125}{1.5 \times 10^{-4}} \right)} + \frac{5.74}{12717.49^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.043$$

**Pérdidas mayores en la succión.-** Estas pérdidas se las calculan con la longitud de la tubería en la zona de succión del sistema.

Datos:

$L_{succion}$ : 0.42 m

Al aplicar la ecuación 3.1 se obtiene:

$$hl_m = 0.043 \cdot \frac{0.42}{0.0173} \cdot \frac{0.6151^2}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$hl_m = 0.02017 \text{ m}$$

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

Datos:

$$L_{descarga}: 1.59 \text{ m}$$

Al aplicar la ecuación 3.1 se obtiene:

$$hl = 0.043 \cdot \frac{1.59}{0.0173} \cdot \frac{0.6151^2}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$hl = 0.0763 \text{ m}$$

La sumatoria de las pérdidas mayores sería:

$$hl_m \text{ descarga} + hl_m \text{ descarga}$$

$$hl_m = 0.0965 \text{ m}$$

### 3.1.6.3 Pérdidas totales de energía.

Las sumatoria de las pérdidas tanto en la succión como en las descarga, con la válvula de compuerta 100% abierta, se denominan pérdidas totales.

Entonces:

$$hl_{total} = 0.77 + 0.0965$$

$$hl_{total} = 0.9804 \text{ m}$$

### 3.1.7 Cálculo de la carga total sobre la bomba.

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

Se la determina mediante la ecuación de la energía:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} + h_A + hl = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

Donde:

$P_A$ : Presión en el punto A.

$\gamma$ : Peso específico del fluido agua.

$Z_A$ : Altura del punto A desde un punto referencial.

$g$ : Gravedad

$V_A$ : Velocidad del fluido en el punto A.

$P_B$ : Presión en el punto B.

$Z_B$ : Altura del punto B desde un punto referencial.

$V_B$ : Velocidad del fluido en el punto B.

$h_A$ : Carga total sobre la bomba.

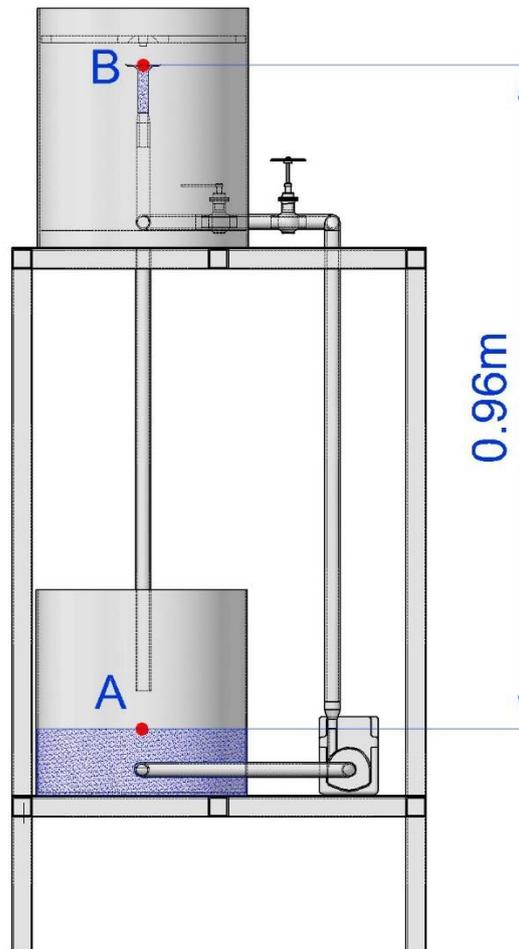
$hl$ : Pérdidas totales de energía.

Al analizar el sistema se determina que tanto el punto A y el punto B están expuestos al medio ambiente por lo que sus presiones se las considera nulas.

Además se determina que la velocidad del fluido en el punto B debe ser igual a cero debido a que este es el punto máximo donde debe llegar el fluido por lo que este comienza a descender nuevamente.

Se emplea la ecuación de la energía con el dato de las superficies de cada depósito como punto de referencia, como se explica en la siguiente figura.

**Figura 3-10** Puntos de referencia del líquido en el sistema Za-Zb.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

Al despejar la ecuación 3-10:

$$h_A = Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + hl$$

$$h_A = 0.96 + \frac{0.6151^2}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2} + 0.9804$$

$$h_A = 1.9598 \text{ m} .$$

### 3.1.8 Potencia suministrada a la bomba.

La energía que un fluido transmite a un dispositivo mecánico, como a un motor de fluido, esta potencia suministrada a la bomba es una medida de la energía transmitida por cada unidad de peso del flujo conforme pasa por el dispositivo y se la determina mediante la siguiente ecuación (Mott R. L., 2006, p. 211):

$$P = h_A \cdot \gamma \cdot Q \quad \text{Ecuación 3-11}$$

Donde:

$h_A$ : Carga del fluido a la bomba

$\gamma$ : Peso específico del fluido (Agua= 9800 N/  $m^3$ )

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

Entonces al aplicar la ecuación 3-11:

$$P = 1.9598 \cdot 9800 \frac{N}{m^3} \cdot 1.4358 \times 10^{-4} m^3/s$$

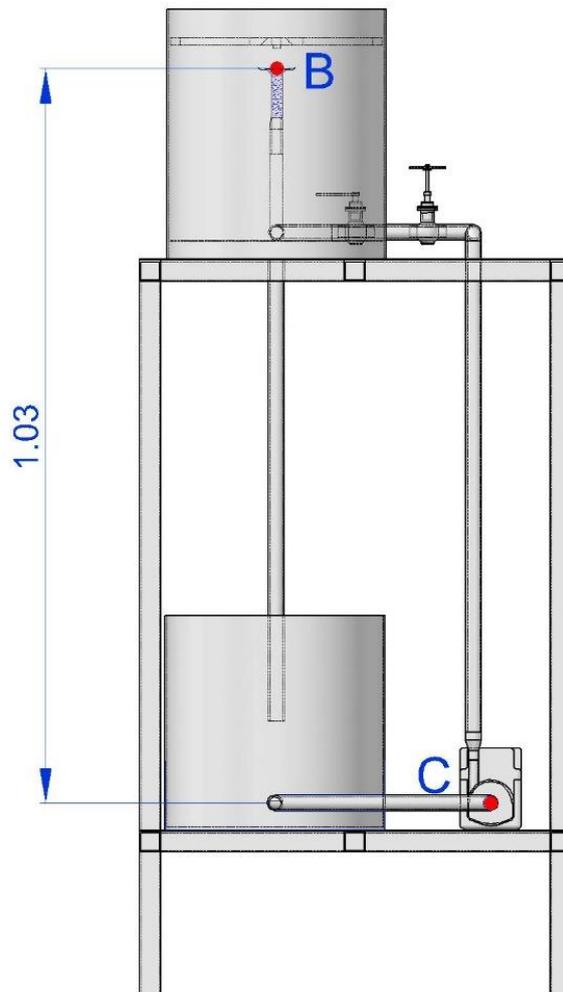
$$P = 2.77 W \approx 3.72 \times 10^{-3} HP$$

$$P = 3.72 \times 10^{-3} HP$$

### 3.1.9 Presión crítica en la salida de la bomba.

La presión más crítica en el sistema es en la salida de la bomba y se la determina por la ecuación de la energía con los puntos de referencia  $Z_c$  y  $Z_b$  que se muestran en la figura 3-11:

**Figura 3-11** Puntos de referencia del líquido en el sistema Zc-Zb.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

Entonces al despejar  $P_C$  :

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

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

$$P_C = \left( 0.96 - (-1.03 \text{ m}) + 0.9804 + \frac{0.6151^2 \text{ m/s}}{2 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2} \right) \cdot 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$P_C = 29299.09 \text{ Pa} \approx 4.24 \text{ PSI}$$

### 3.1.10 Cálculo del NPSH.

Para evitar la cavitación los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere, y reportan los resultados determinando la carga de succión neta requerida ( $NPSH_R$ ) de la bomba en cada condición de capacidad de operación y carga total sobre la bomba. Es responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo garantizar que la carga de succión neta disponible ( $NPSH_A$ ), este por arriba de la  $NPSH_R$ . (Mott R. L., 2006, p. 413)

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

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Para determinar el  $NPSH_A$  según Mott R. L.(2006) se lo hace mediante la siguiente ecuación (p. 414):

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Donde:

$h_{sp}$ : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento; se expresa en metros o en pies de líquido:

$$h_{sp} = \frac{p_{sp}}{\gamma} \quad \text{Ecuación 3-14}$$

$h_s$ : Diferencia de elevación de fluido desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros.

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

Para este caso el valor es positivo por ubicarse la bomba en nivel más bajo que el depósito o nivel del fluido.

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

$h_{vp}$ : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo expresada en metros:

$$h_{vp} = \frac{P_{vp}}{\gamma} \quad \text{Ecuación 3-15}$$

Entonces:

De la ecuación 3.14 se obtiene:

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

$$P_{sp} : 10.5 \text{ PSI} \approx 72394.97 \text{ Pa (EXA, 2015)}$$

$$\gamma: 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$h_{sp} = \frac{72394.97}{9810}$$

$$h_{sp} = 7.3797 \text{ m}$$

De la ecuación 3.15 se obtiene:

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

$$P_{vp} : \text{Presión de vapor agua a } 15^\circ\text{C} = 1.783 \times 10^3 \text{ Pa}$$

El valor de la presión de vapor de agua sale de la interpolación entre los valores de temperatura de 10 a 20 de la tabla 3-3.

**Tabla 3-3** Presión de vapor y carga de presión de vapor del agua.

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

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

$$h_{vp} = \frac{1.783 \times 10^3 \text{ Pa}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}}$$

$$h_{vp} = 0.1817 \text{ m}$$

El valor  $h_s$  es de 0.07m de la diferencia de alturas del nivel de referencia A y B de la figura 3-10 y 3-11.

Al aplicar la ecuación 3-13 se obtiene:

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

$$NPSH_A = 7.3797\text{m} + 0.07\text{m} - 0.50\text{m} + 0.1817\text{m}$$

$$NPSH_A = 6.768\text{m}$$

Con la ecuación 3-12 calculamos la  $NPSH_R$  máxima permisible para la bomba:

$$NPSH_A > 1.10 NPSH_R$$

$$NPSH_R < NPSH_A / 1.10$$

$$NPSH_R < 6.768\text{m} / 1.10 = 6.1527\text{m}$$

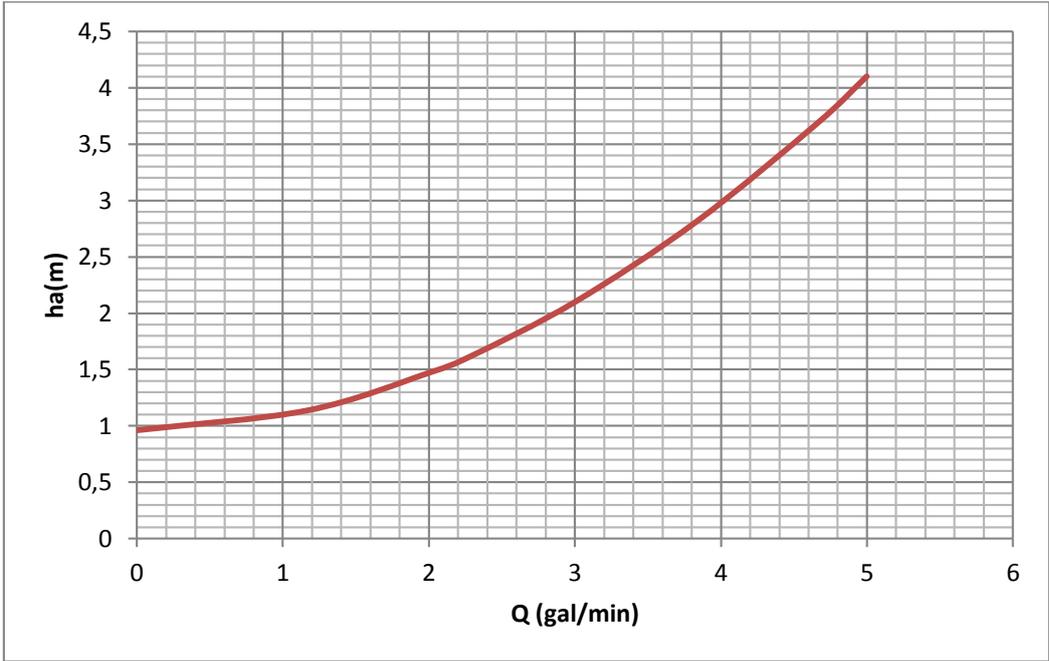
### **3.1.11 Curva del sistema.**

Determinadas las pérdidas en el sistema y para la posterior selección de la bomba que se necesita, es necesario determinar la curva del sistema con las diferentes posiciones de apertura de la válvula de compuerta para la regulación del fluido.

La curva es determinada por valores de caudal (Q) vs carga total (ha).

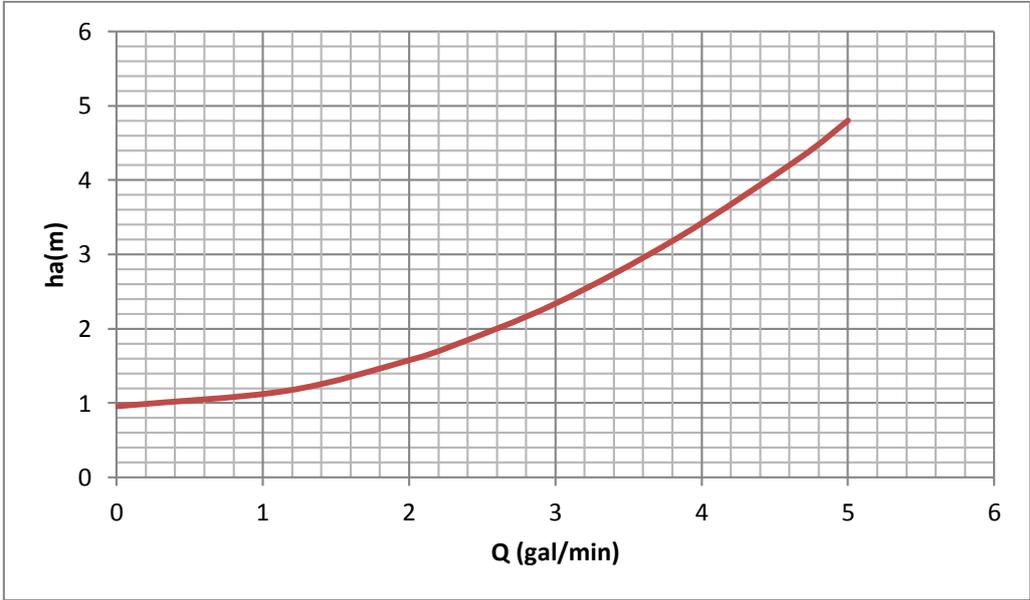
La cabeza estática, que es el valor inicial donde parte la bomba tiene un caudal de 0 y una carga total (ha) de 0.96m que es la altura de referencia de las superficies del fluido en el sistema.

**Figura 3-12** Curva del sistema con válvula de compuerta 100% abierta.



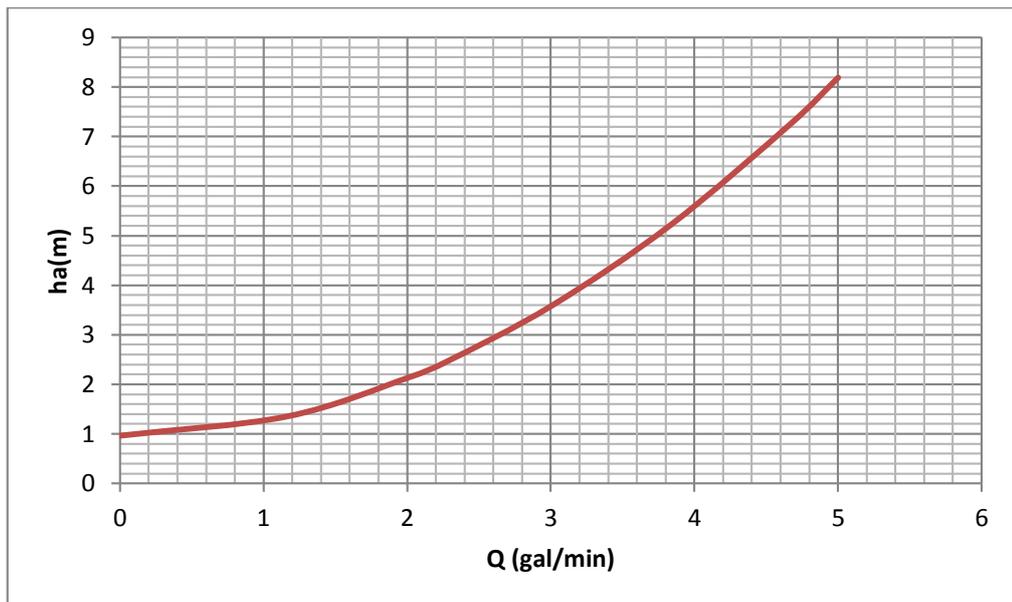
Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Figura 3-13** Curva del sistema con válvula de compuerta 50% abierta.



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Figura 3-14** Curva del sistema con válvula de compuerta 25% abierta.



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.1.12 Selección de bomba.

Según Mott R. L. (2006) para la selección de la bomba se deben considerar algunos parámetros, los cuales para este caso aplicarían los siguientes (p. 385):

- 1. Naturaleza del líquido a bombear:** El fluido a bombear es agua, a 15°C.
- 2. Capacidad requerida (flujo volumétrico):** El caudal requerido para la aplicación es  $2.292 \text{ Gal}/\text{min}$ .
- 3. Condiciones de lado de succión (entrada) de la bomba:** El diámetro de la tubería de succión es 1/2" NPT (diámetro interior 17.3mm).
- 4. Condiciones del lado de descarga (salida) de la bomba:** El diámetro de la tubería de descarga es 1/2" NPT (diámetro interior 17.3mm).
- 5. Carga total sobre la bomba (ha):** La carga total determinada sobre la bomba es 1.9595m con el sistema al 100 % de apertura de válvula de compuerta.
- 6. Tipo de sistema donde la bomba impulsa el fluido:** Sistema de impulso en línea con ninguna diferencia de elevación desde el nivel

del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba.

- 7. Tipo de fuente de potencia:** Motor eléctrico AC 110 V.
- 8. Limitaciones de espacio, peso y posición:** Puesto de operación limitado por área de trabajo reducida.
- 9. Condiciones ambientales:** En Quito las temperaturas oscilan entre los 7°C en la noche, y los 26 grados Celsius en el día, (Halberstadt, 1997-2015), humedad de 96% y 717.7 hPa de presión. (EXA, 2015).

Debido al bajo flujo volumétrico requerido por el sistema, se selecciona la bomba de 1/40HP, siendo esta la más pequeña que se encuentra en el mercado que cumpla los parámetros requeridos por el sistema y el tipo de trabajo. (LittleGiant, 2003) (Ver Anexo 2)

Se selecciona la siguiente bomba:

Fabricante: Little Giant

Serie: 2E-38N

Motor: 1/40 HP

Flujo volumétrico máximo: 300GPH

Cabeza máxima: 11.8 pies

Diámetro de entrada: 3/8 FNPT

Diámetro de salida: 1/4 NPT

Características:

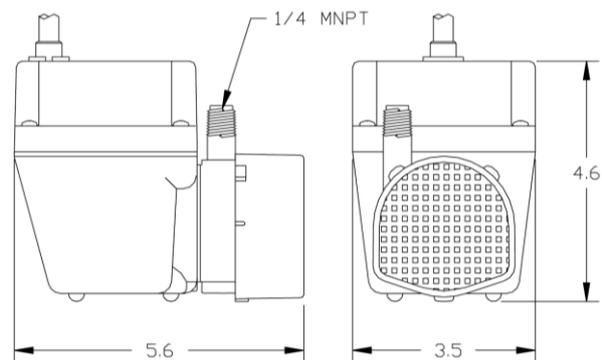
Multifunción (en línea o sumergible)

Protección térmica de sobrecarga.

Motor eléctrico auto refrigerado por aceite.

Dimensiones (plg):

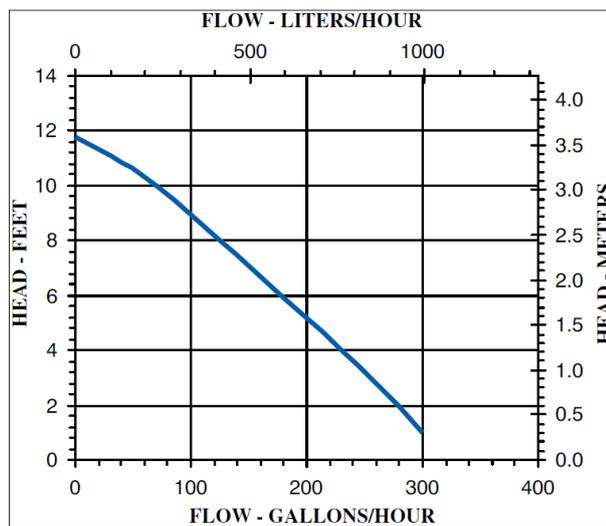
**Figura 3-15** Dimensiones bomba Little Giant 2E-38N Series.



Fuente: LittleGiant, 2003

### 3.1.12.1 Curva de la bomba.

**Figura 3-16** Curva catalogo bomba



Fuente: LittleGiant, 2003

### 3.1.12.2 Punto de operación.

El punto de operación de la bomba según Mott R. L.(2006) define como el flujo volumétrico que enviara cuando se instale en un sistema dado. La carga total que desarrolla la bomba de determina por medio de la resistencia del sistema que corresponde a la misma del flujo volumétrico (p. 410).

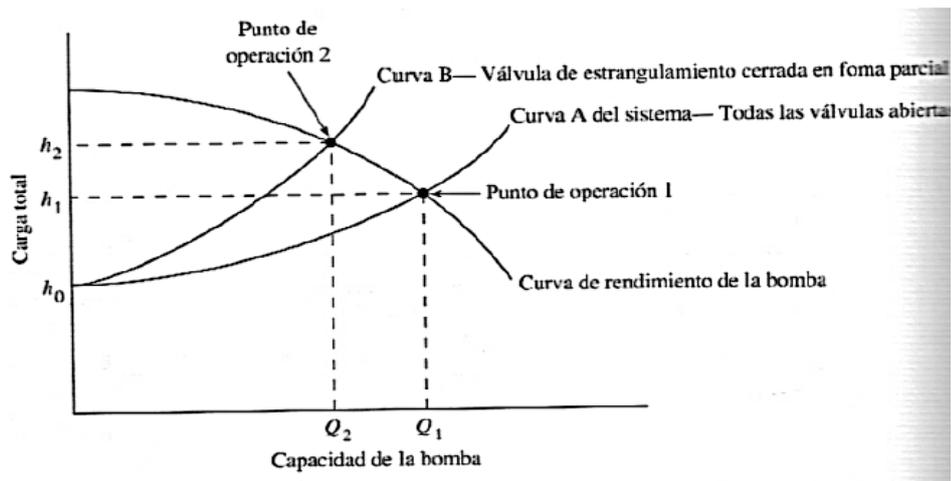
En el extremo izquierdo la curva comienza con una valor específico de carga total correspondiente a un flujo volumétrico igual a cero, este punto se denomina carga estática total y es determinada por la siguiente ecuación:

$$h_o = \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) \quad \text{Ecuación 3-16}$$

Debido a que las presiones en el punto A y B son atmosféricas estas se anulan, por lo que queda una diferencia de alturas dadas por los puntos CB - CA, (ver figura 4-10), determinando así un  $h_o = 0.96m$

En la figura 3-17 se muestra la ilustración de este concepto.

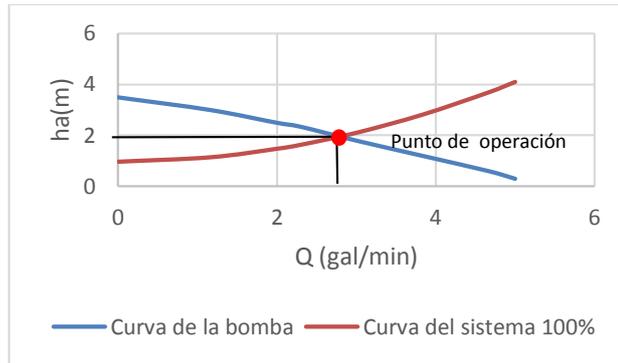
**Figura 3-17** Punto de operación de una bomba.



**Fuente:** (Mott R. L., 2006, p. 410)

El punto de operación del sistema con la válvula de compuerta al 100% sería:

**Figura 3-18** Punto de operación, sistema al 100%.

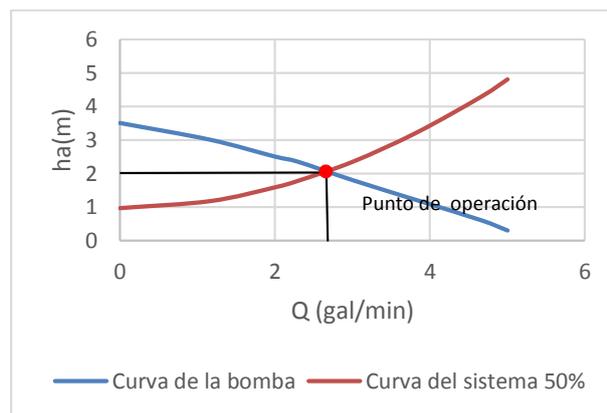


**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El valor del punto de operación es de  $2.8 \text{ Gal}/\text{min}$ , pero el sistema requiere una caudal de  $2.292 \text{ Gal}/\text{min}$ .

Para alcanzar este caudal se estrangula la válvula de compuerta en la línea de descarga, haciendo que la resistencia incremente cambiando así la curva del sistema y obteniendo nuevos puntos de operación. El punto de operación del sistema con la válvula de compuerta al 50% sería:

**Figura 3-19** Punto de operación, sistema al 50%.

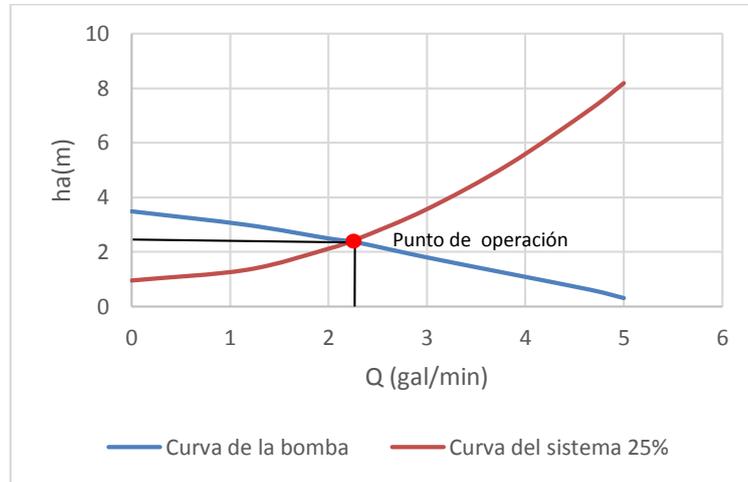


**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El valor del punto de operación con el sistema al 50% es de  $2.6 \text{ Gal}/\text{min}$ , por lo que es necesario aumentar el estrangulamiento en la válvula de compuerta.

Al estrangular la válvula de compuerta al 25% se obtendría las siguientes curvas:

**Figura 3-20** Punto de operación, sistema al 25%.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El valor del punto de operación con el sistema al 25% es de  $2.2 \text{ Gal}/\text{min}$ , y cumple con el caudal requerido en el sistema.

## 3.2 Diseño del porta probetas.

### 3.2.1 Tipos de aceros para probetas.

Para realizar el ensayo Jominy, por facilidad de obtención en el mercado Ecuatoriano y por su alta demanda se realizaron 3 tipos de ensayos en diferentes aceros, estos son:

#### 3.2.1.1 Acero AISI 4340

Acero bonificado aleado al Cr, Ni, Mo para aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la tracción y tenacidad, en particular en piezas de grandes secciones. La adición de molibdeno previene la fragilidad del revenido en el acero.

Para la fabricación de partes y piezas de maquinaria sometidos a altos esfuerzos mecánicos como repuestos de aviones, automotores, maquinaria pesada, ejes, engranajes, bielas, rotores etc. (BOHLER, 2009) (Ver Anexo 3)

**Tabla 3-4** Propiedades AISI 4340

PROPIEDADES AISI 4340	
Temperatura de temple	830-860°C
Densidad	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	45 W/m°C
Calor específico	473J/Kg/°C
Punto de fusión	1500°C

Fuente: Aceros, 2015

### 3.2.1.2 Acero AISI 4140

Acero bonificado al Cr, Mo para aplicaciones que requieren alta resistencia y tenacidad, en especial para piezas de mediana y gran sección la adición de molibdeno proviene la fragilidad de revenido en el acero.

Para la fabricación de partes y piezas de automotores y maquinaria en general. Ejes, engranajes, direcciones, conectores, bielas, etc. (BOHLER, 2009) (Ver Anexo 4)

**Tabla 3-5** Propiedades AISI 4140

PROPIEDADES AISI 4140	
Temperatura de temple	830-860°C
Densidad	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	42.7 W/m°C
Calor específico	473J/Kg/°C

Fuente: Aceros, 2015

### 3.2.1.3 Acero K460

Acero de herramienta para trabajo en frío con poca variabilidad dimensional. Para la fabricación de piezas de corte (matrices y cortes), herramientas para trabajar en madera cuchillas para corte de papel cartón y metal. Además empleado en herramientas de medición y moldes para la industria plástica. (BOHLER, 2009) (Ver Anexo 5).

**Tabla 3-6** Propiedades K460.

PROPIEDADES K460	
Temperatura de temple	780-820°C
Densidad	7850 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	30 W/m°C
Calor específico	460J/Kg/°C

Fuente: BOHLER, 2009

### 3.2.2 Análisis de porta probetas.

Según la norma UNE-EN-ISO 642 (2000) se utilizará un dispositivo de soporte y centrado de probeta, tal y como se muestra en la Figura 1-10 (p. 12).

Debido a que este dispositivo estará bajo constantes cambios de temperatura y a choques de vapor y agua provenientes del ensayo se ha determinado que debe estar fabricado de un material resistente a altas temperaturas y a la corrosión, por lo que se selecciona un acero AISI 304 el cual tiene las siguientes características:

#### Propiedades físicas

Densidad ( $g/cm^3$ ): 7,93  $g/cm^3$

Punto de fusión (°C) : 1400-1455(°C)

#### Propiedades mecánicas

Dureza Brinell: 160-190

Módulo de elasticidad (GPa) : 190-210 GPa

Resistencia a la tracción (MPa): 460-1100 (Goodfellow, 2015)

Este porta probetas soportará un peso de 0.3927 Kg que es el peso de la probeta en los diferentes tipos de aceros a realizar el ensayo.

El ensayo, de duración de 30 minutos y por el enfriamiento gradual de la probeta mediante el fluido, este porta probetas tendría cambios despreciables de deformación por temperatura y peso de la probeta.

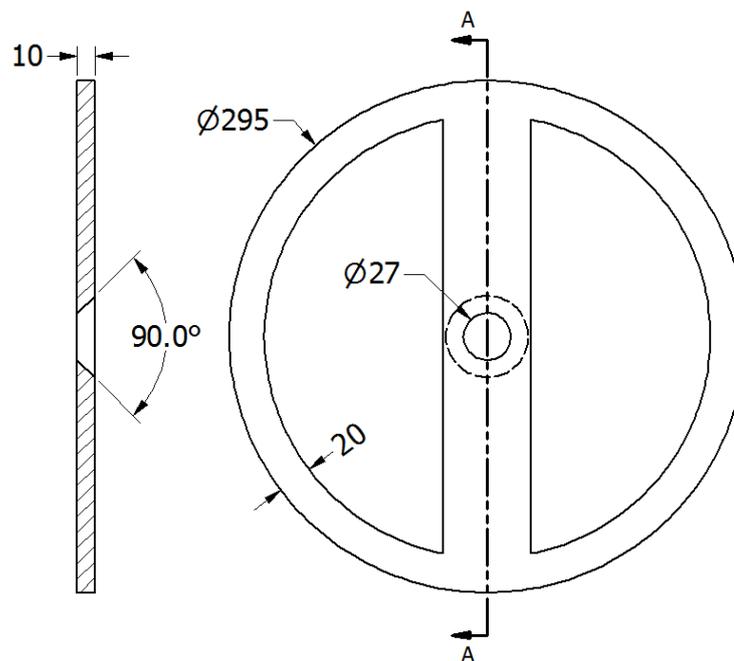
Debido a que la carga a soportar es muy pequeña esta se puede despreciar ya que no causara deformaciones en la porta probetas debido a su peso, entonces se analizara solo la transferencia de calor.

### 3.2.3 Dimensionamiento del porta probetas

Debido a que la campana formada por el choque entre el fluido y la probeta alcanza aproximadamente 250 mm medido de forma experimental, se determinó que el diámetro interior del tanque en el que el porta probetas descansa será de 300 mm, por lo que el porta probetas tendrá un diámetro exterior de 295 mm.

Según la norma UNE-EN-ISO 642 (2000) el espesor del porta probetas es de 10 mm (p. 10).

**Figura 3-21** Dimensionamiento de porta probetas



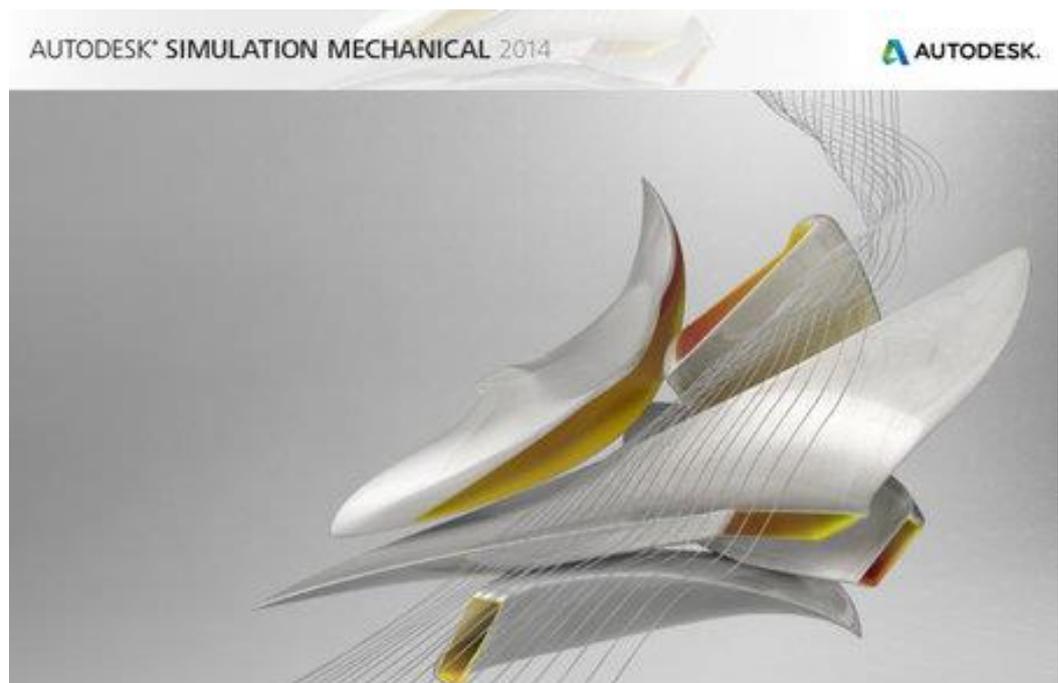
**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.2.4 Análisis de temperaturas y transferencia de calor del porta probetas en Autodesk Simulation Mechanical 2014.

Ya que el porta probetas descansara sobre un recipiente es necesario analizar el comportamiento de la temperatura durante el ensayo para conocer la temperatura máxima que alcanzará este porta probetas y con esto determinar las características del recipiente donde descansará el porta probetas, para esto se empleará un software de simulación de variables físicas.

El software de simulación mecánica proporciona herramientas de simulación mecánica rápidas, precisas y flexibles para ayudar a predecir el rendimiento, diseños optimizar y validar el comportamiento del producto antes de minimización de la fabricación de la dependencia de costosos prototipos físicos. (AUTODESK, 2015)

**Figura 3-22** Software Autodesk Simulation Mechanical 2014



**Fuente:** AUTODESK, 2015

Software de simulación mecánica, con software solucionador FEA integrada Autodesk Nastran, proporciona herramientas rápidas, precisas y flexibles para el análisis de elementos finitos y el modelado. (AUTODESK, 2015)

Para realizar la simulación se requiere de un modelamiento en Autodesk Inventor Profesional del ensamble de la porta probetas y la respectiva probeta.

**Figura 3-23** Ensamble porta probetas – probeta Autodesk Inventor 2014



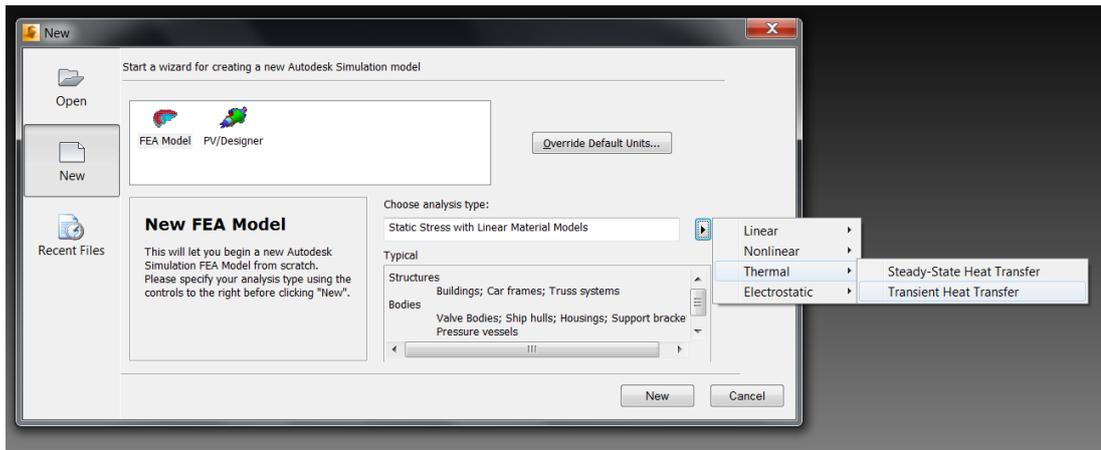
**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

#### **3.2.4.1 Simulación en Autodesk Simulation Mechanical 2014.**

Para realizar la simulación se debe mantener la siguiente secuencia de pasos:

**Paso 1.**-Se crea un nuevo entorno en FEA Model y seleccionamos el tipo de análisis a realizar, para este caso seleccionamos un análisis de transferencia de calor con variación en un tiempo.

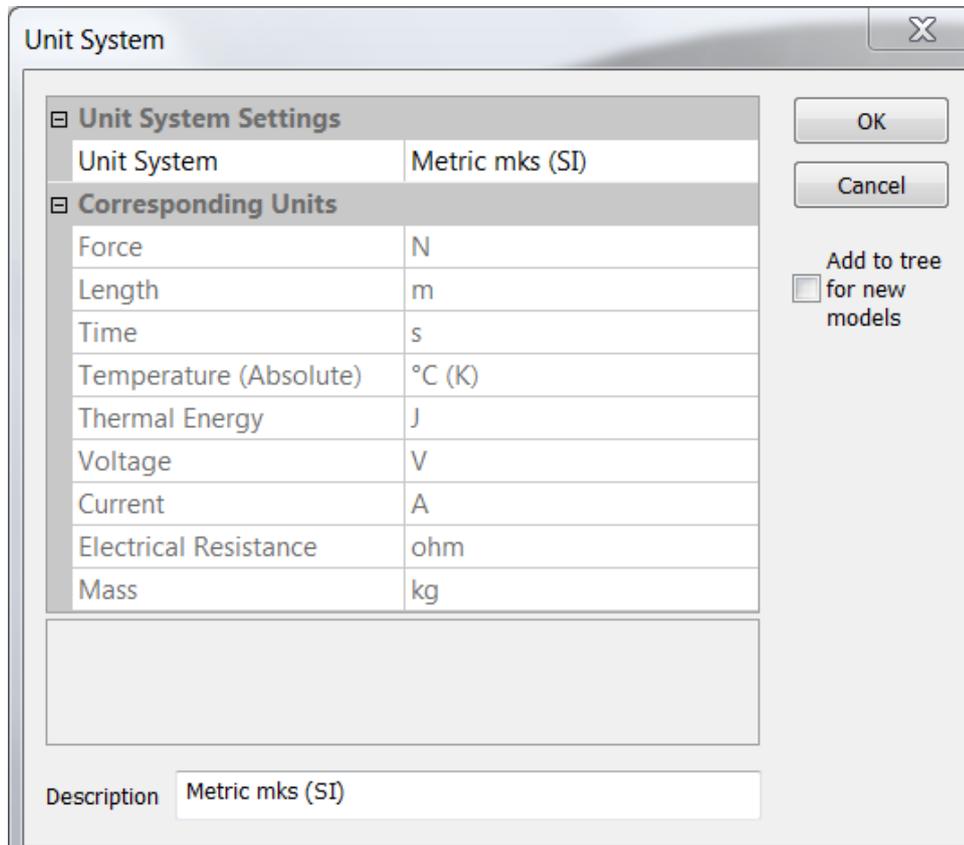
**Figura 3-24** Selección de tipo de análisis.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 2.-** Se selecciona las unidades en las que se va a trabajar en este caso el sistema internacional.

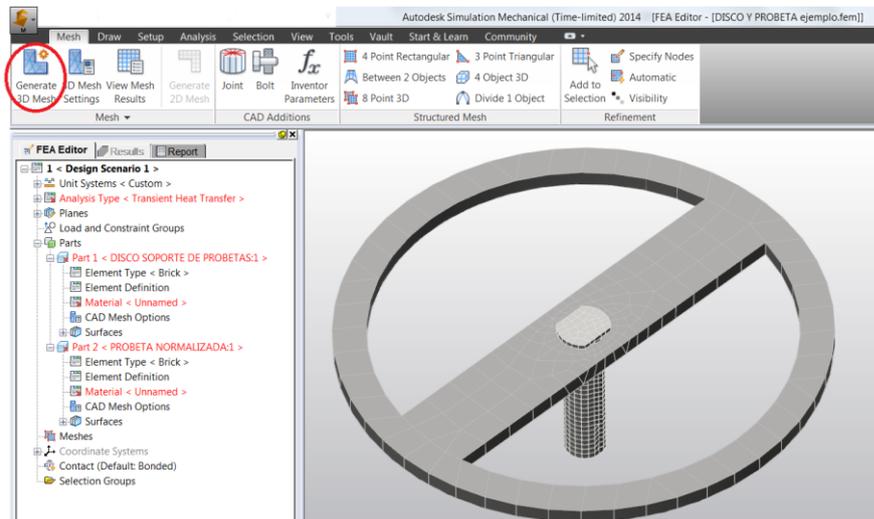
**Figura 3-25** Sistema de unidades



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 3.-** Se crea la malla en 3D la cual creará el número de nodos que serán analizados en los cuales se podrán conocer los resultados en este caso las temperaturas.

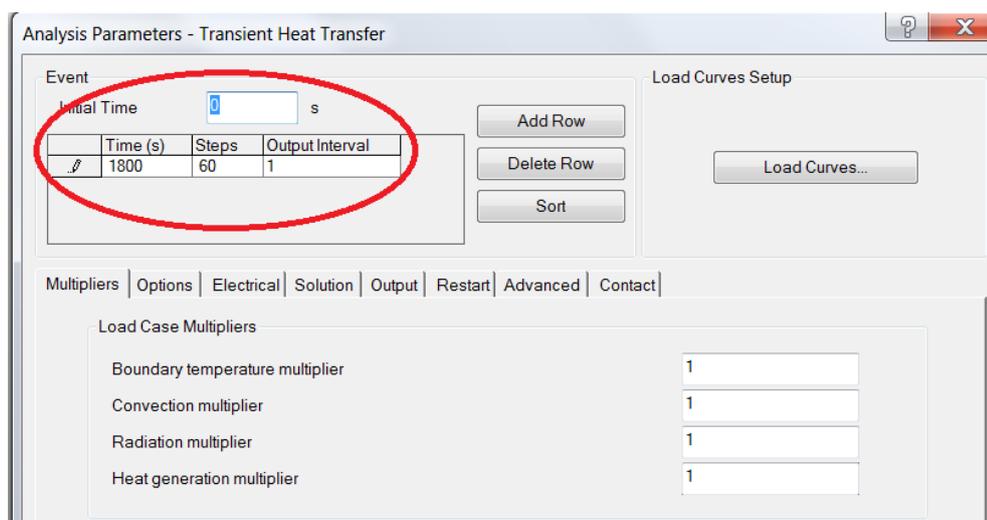
**Figura 3-26** Generación de malla.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 4.-** Se ingresa los rangos de tiempo para la simulación, que es de 30 min por lo que se ingresan 1800 segundos y un tiempo inicial de 0 segundos, divididos en intervalos de 60 pasos para la apreciación de resultados.

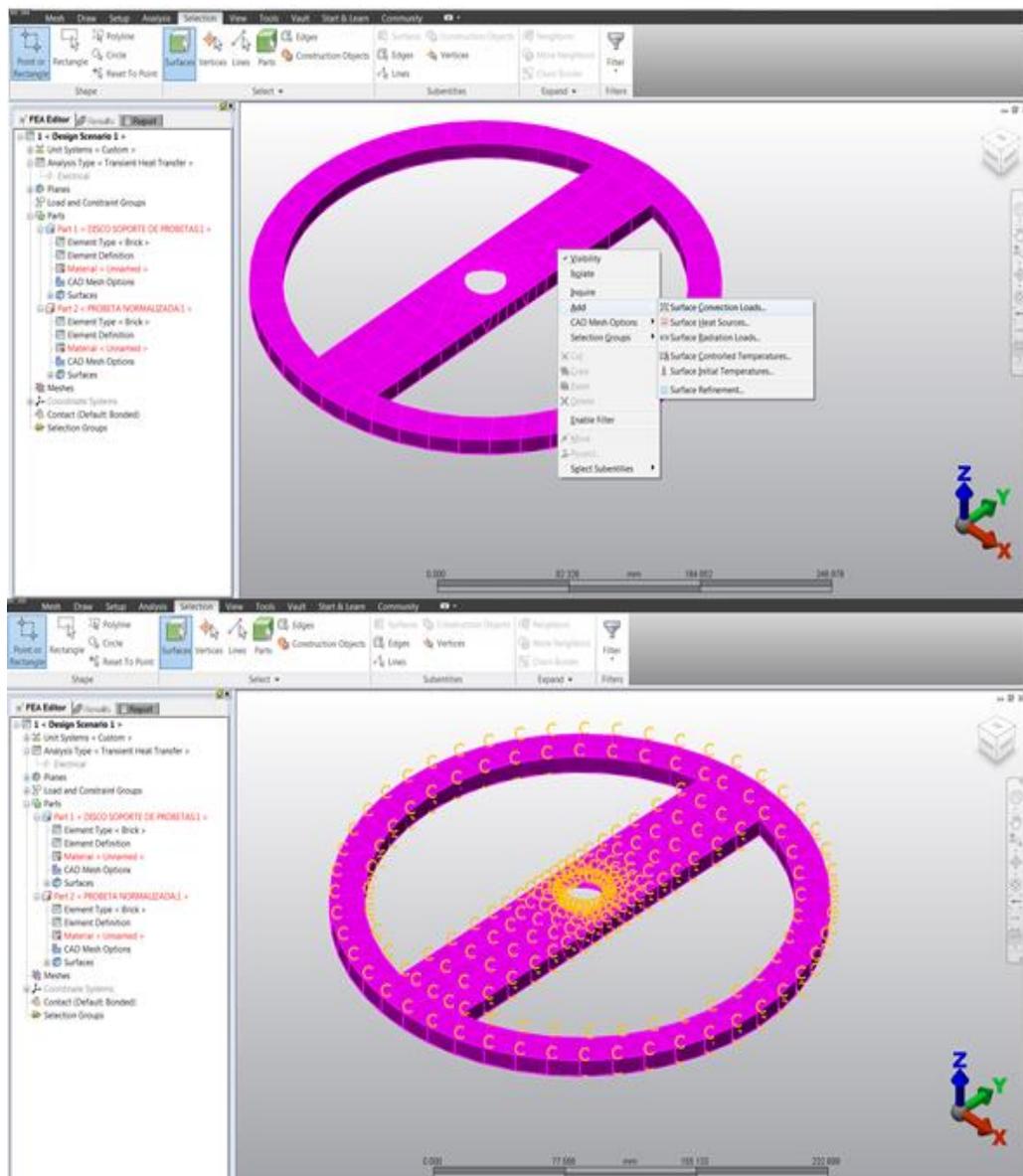
**Figura 3-27** Parámetros de tiempo.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 5.-** Se aplican las cargas a las que van a estar sometidas los elementos, en este caso se aplica una carga de convección de aire libre a temperatura ambiente sobre todas las caras del porta probeta, ya que esta está expuesta al aire libre.

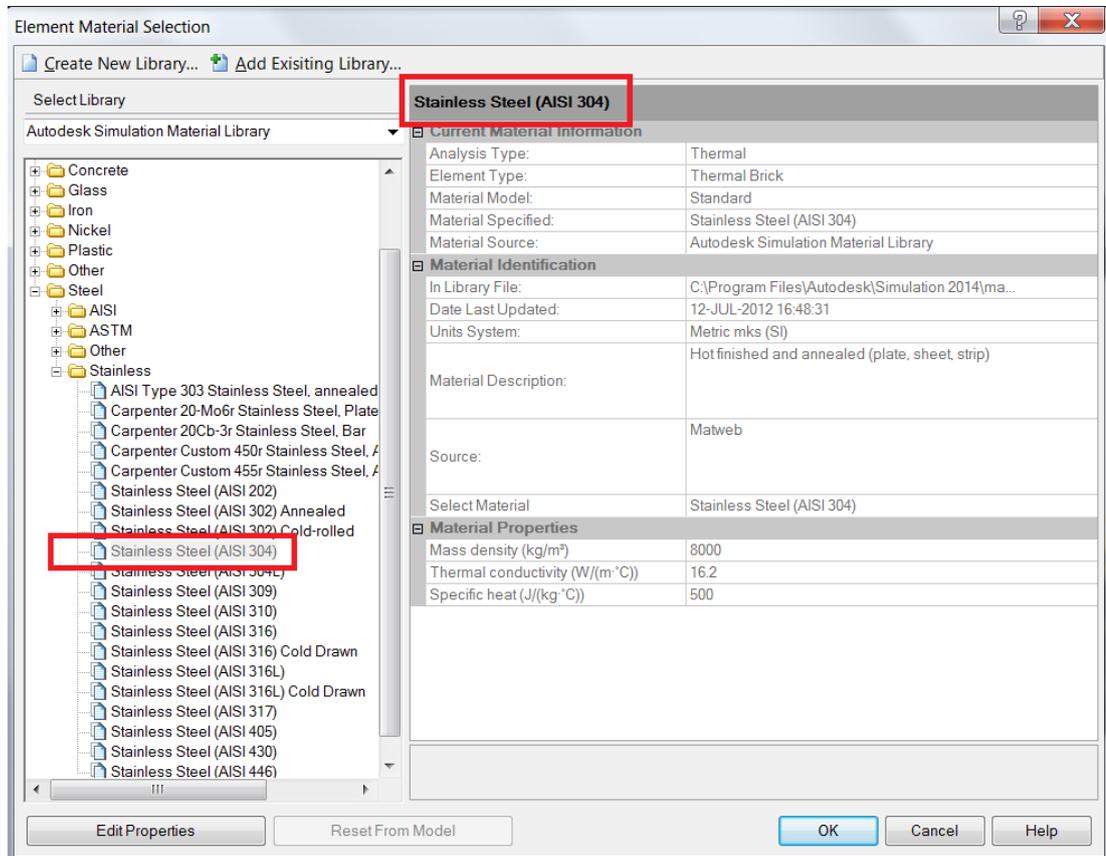
**Figura 3-28** Asignación de cargas porta probetas



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 6.-** Se selecciona de la biblioteca del software el material del porta probetas, en este caso será de acero inoxidable AISI 304.

**Figura 3-29** Selección de material porta probetas.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 7.-** Se aplica la carga de convección de agua en la cara inferior de la probeta que simulará la acción del chorro a 15° C en el tiempo establecido, con la velocidad del fluido y las propiedades del mismo, el programa automáticamente determinará el valor del coeficiente de convección.

**Figura 3-30** Condiciones del fluido.

The figure displays two screenshots of the 'Surface Properties - Film/Convection Coefficient Calculator' dialog box, showing the configuration for fluid conditions.

**Top Screenshot (General Tab):**

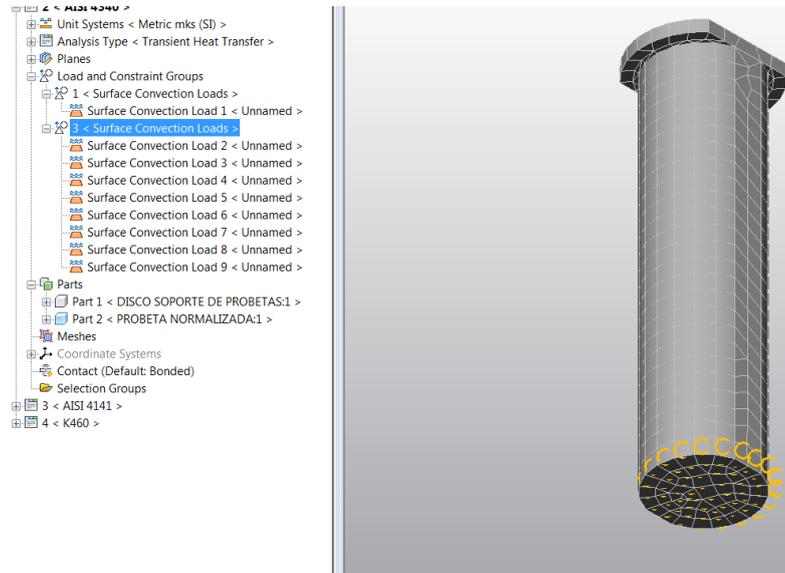
- Type of Convection:** Forced external
- External flow:** [T] Laminar along flat plate (0.6 < Pr < 50)
- Additional Parameters:**
  - Flow speed: 1.17 m/s
  - Ambient: 22 °C
  - Wall: 25 °C
  - Gravity value for buoyancy: 9.81456 m/s<sup>2</sup> (Set for standard gravity)
- Value calculated for film/convection:** (Empty field) W/(m<sup>2</sup>·°C)
- User-defined value for film/convection:** 7294.11 W/(m<sup>2</sup>·°C)
- Buttons:** Calculate Film/Convection Coefficient, Read from Library..., Save to Library..., OK, Cancel

**Bottom Screenshot (Fluid Properties Tab):**

- Mass density:** 997.6 kg/m<sup>3</sup>
- Dynamic viscosity:** 0.00101 Pa·s
- Thermal conductivity:** 0.602 W/(m·°C)
- Thermal expansion:** 0.000269 1/K
- Specific heat:** 0 J/(kg·°C) (Unselected)
- Use Prandtl number:** 7 (Selected)
- Value calculated for film/convection:** (Empty field) W/(m<sup>2</sup>·°C)
- User-defined value for film/convection:** 7294.11 W/(m<sup>2</sup>·°C)
- Buttons:** Calculate Film/Convection Coefficient, Read from Library..., Save to Library..., OK, Cancel

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

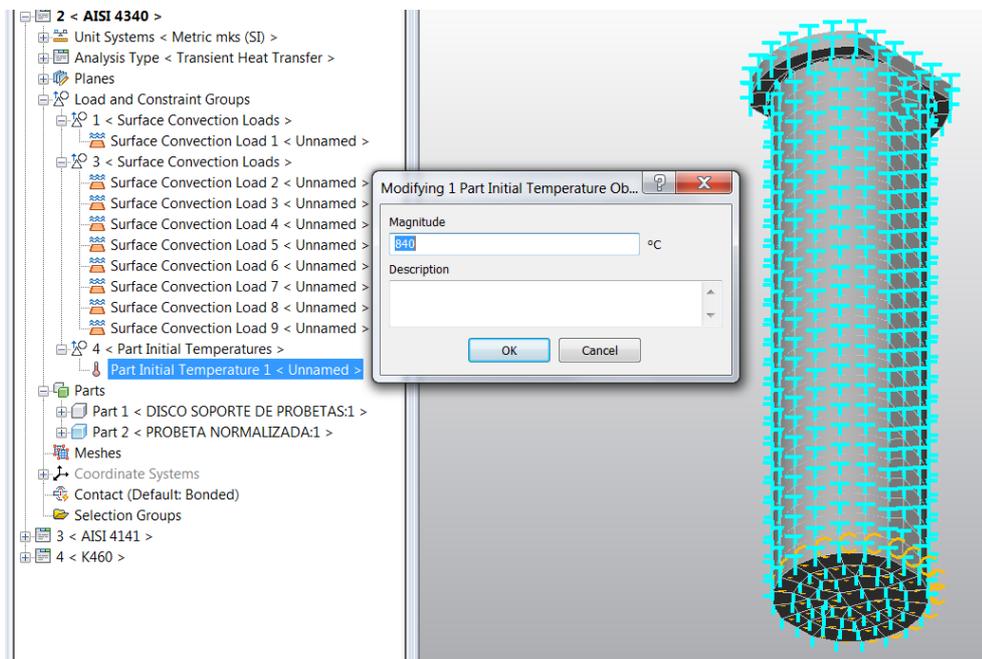
**Figura 3-31** Carga de convección de agua



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 8.-** En la probeta se aplica la temperatura a la que va a ser templado el material. (Tablas 4-4, 4-5, 4-6).

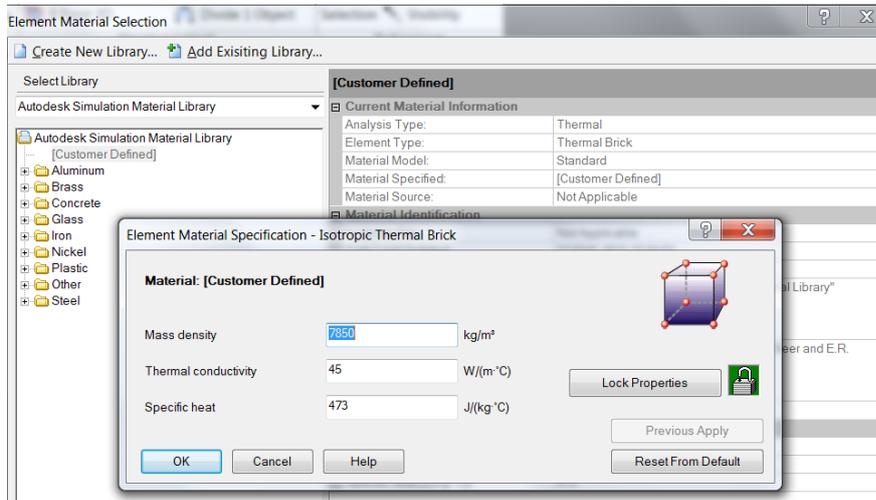
**Figura 3-32** Temperatura inicial de probeta.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 9.-** Se asigna las propiedades correspondientes al acero a realizar la simulación. (Tablas 4-4, 4-5, 4-6).

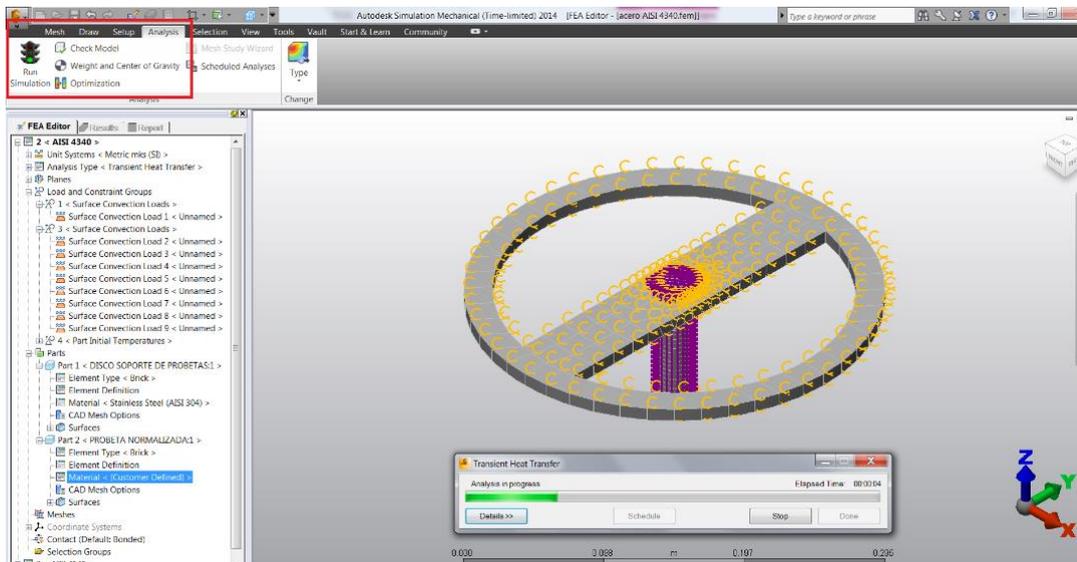
**Figura 3-33** Asignación de propiedades acero.



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Paso 10.-** Se selecciona la aplicación de análisis y se corre la simulación.

**Figura 3-34** Simulación.

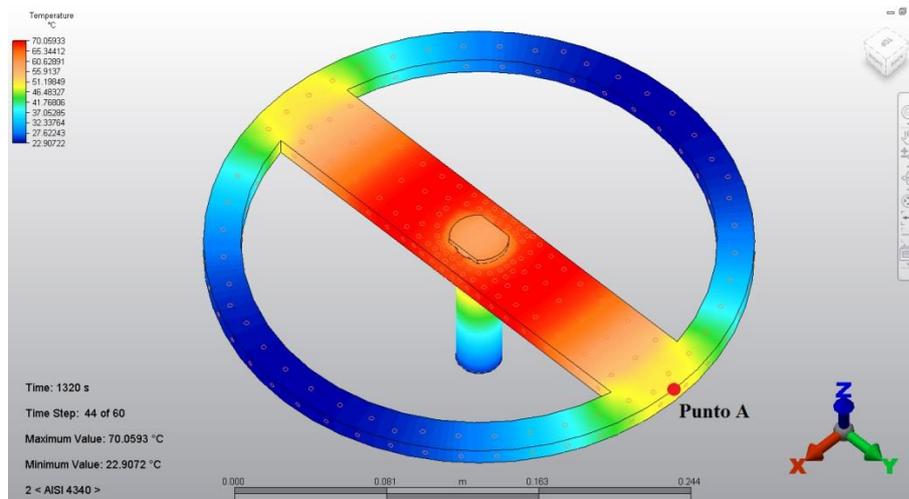


Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.2.4.2 Análisis de resultados de simulación con probeta de acero AISI 4340.

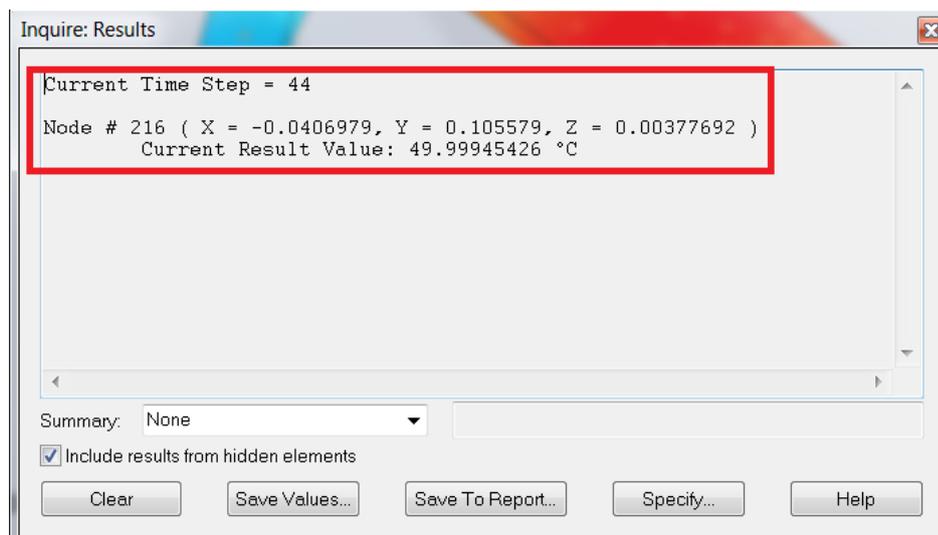
De acuerdo a la simulación con la probeta de acero AISI 4340, se determina que en el punto A (nodo # 216) del porta probetas, alcanza su temperatura crítica o máxima a la iteración número 44 a los 1320 segundos (22 minutos) con un valor de 49.99°C.

**Figura 3-35** Simulación probeta de acero AISI 4340



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Figura 3-36** Resultados punto crítico A acero AISI 4340.

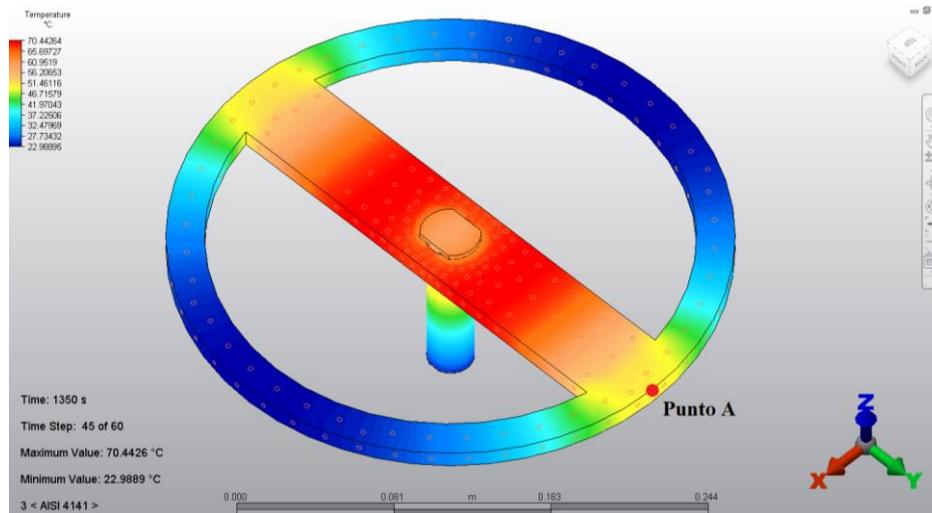


Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.2.4.3 Análisis de resultados de simulación con probeta de acero AISI 4140.

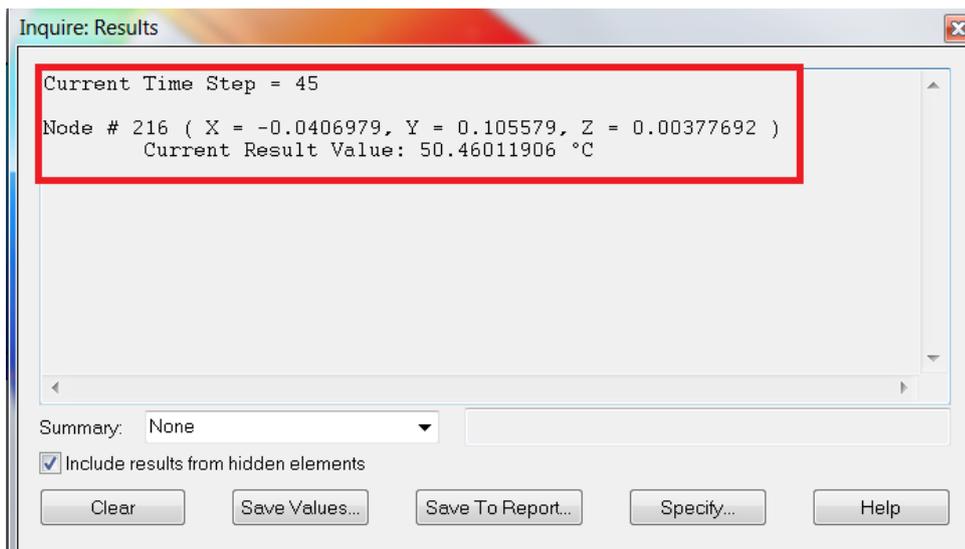
De acuerdo a la simulación con la probeta de acero AISI 4140, se determina que en el punto A (nodo # 216) del porta probetas, alcanza su temperatura crítica o máxima a la iteración numero 45 a los 1350 segundos (22.5 minutos) con un valor de 50.460 °C.

**Figura 3-37** Simulación probeta de acero AISI 4140



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Figura 3-38** Resultados punto crítico A acero AISI 4140.

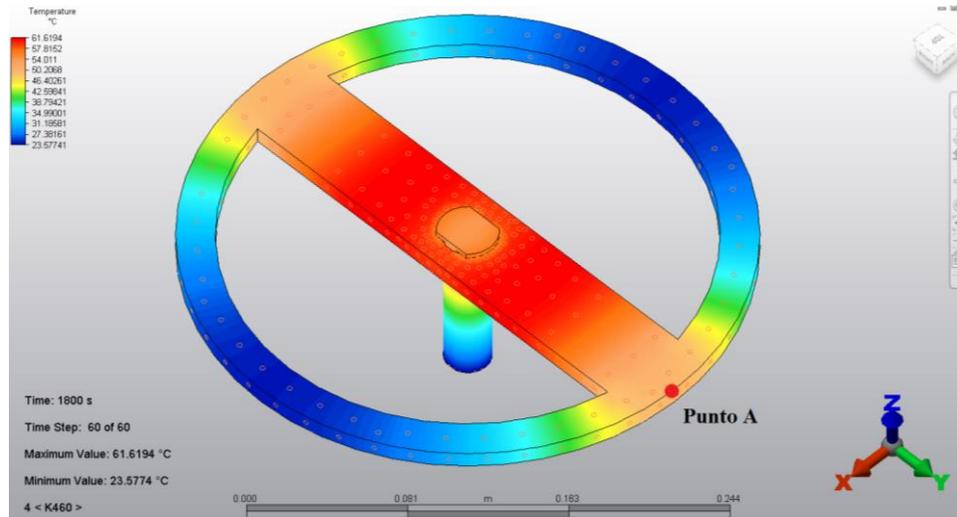


**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.2.4.4 Análisis de resultados de simulación con probeta de acero K460.

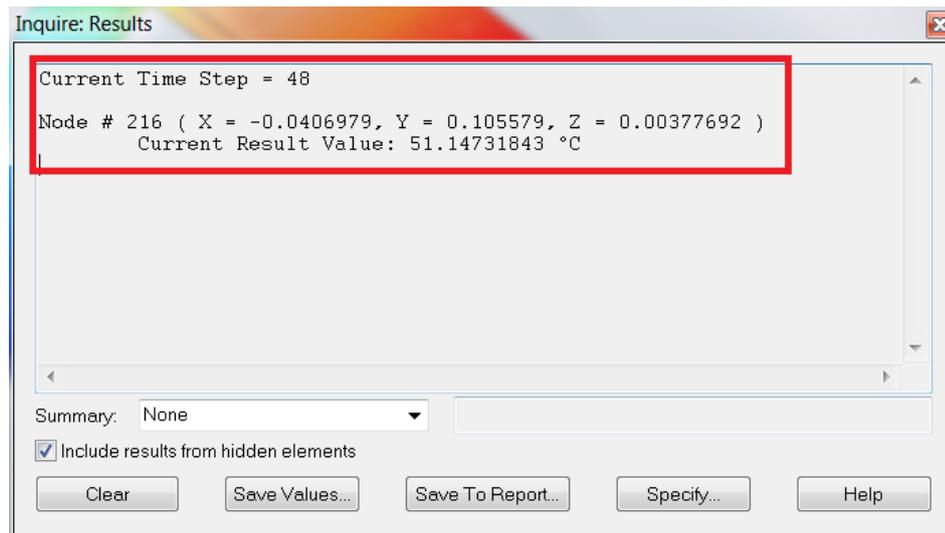
De acuerdo a la simulación con la probeta de acero K460, se determina que en el punto A (nodo # 216) del porta probetas, alcanza su temperatura crítica o máxima a la iteración numero 46 a los 1440 segundos (24 minutos) con un valor de 51.1473 °C.

**Figura 3-39** Simulación probeta de acero K460.



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Figura 3-40** Resultados punto crítico A acero K460.



Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.3 Diseño de reservorio y tanque de ensayo.

#### 3.3.1 Tanque de ensayo.

Experimentalmente se determinó que la campana producida por el choque entre el chorro y la probeta mide 250 mm de diámetro, por lo que se definió que el tanque para ensayo deberá tener un diámetro interior de 300 mm. Además debido a su constante contacto con agua, el tanque debe soportar la oxidación por lo tanto se selecciona un acero inoxidable, que en este caso será un acero AISI 304, el cual tiene las siguientes características y aplicaciones:

Según BOHLER (2009) es un acero inoxidable austenítico, aleado al Cr-Ni resistente a la corrosión intergranular a temperaturas superiores a los 300°C, de buena soldabilidad sin requerir un tratamiento térmico posterior, de buena resistencia a la corrosión producida por ácidos y soluciones alcalinas, para mejorar su resistencia las superficies deben ser pulidas. Para uso arquitectónico, para utensilios de uso doméstico, equipos médicos, industria.

La altura del tanque está definida por los elementos que ocupan su interior y el espacio que necesitan para funcionar correctamente, estos son:

**Tabla 3-7** Altura requerida tanque de ensayo.

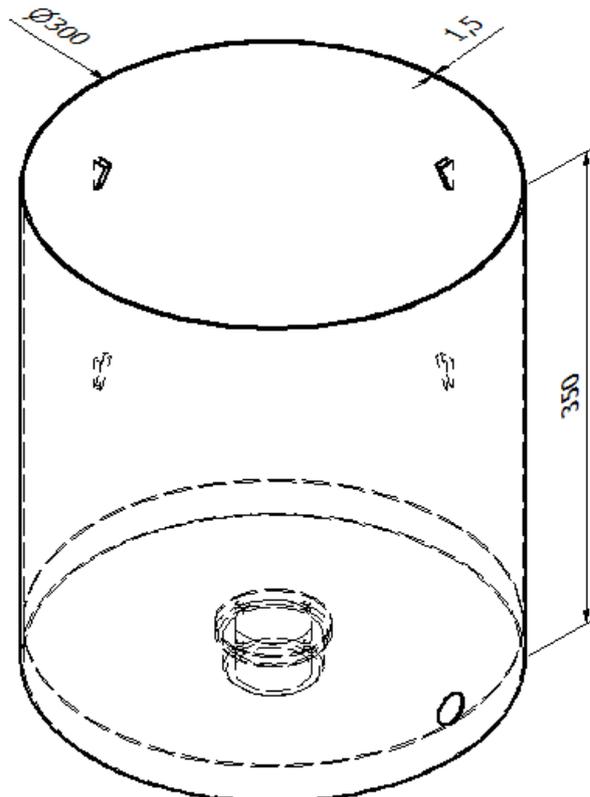
DESCRIPCIÓN	ALTURA REQUERIDA (m)
Base de cilindro	0.025
Tubería – codo	0.13
Tobera	0.04
Distancia entre tobera y probeta	0.0125
Probeta	0.1
Distancia libre	0.0425
<b>DISTANCIA TOTAL REQUERIDA</b>	<b>0.35</b>

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El espesor de la lámina de acero inoxidable que se empleará para la construcción del tanque de ensayo será de 1.5 mm.

El tanque tendrá en su interior 4 soportes soldados para el descanso de la porta probetas.

**Figura 3-41** Tanque de ensayo



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### 3.3.2 Tanque reservorio.

El tanque reservorio va a estar expuesto a presión atmosférica y soportará el peso del agua que conduzca el sistema hidráulico.

Para determinar el espesor de diseño de dicho tanque se calcula la presión que ejerce el líquido en fondo del tanque, según Megyesy (1992) este espesor se lo calcula con la siguiente ecuación (p. 22):

$$t = \frac{PR}{SE+0.4P} \quad \text{Ecuación 3-17}$$

Donde:

**t**: Espesor de pared (plg).

**P**: Presión de diseño o presión máxima permitida de trabajo ( $lb/plg^2$ ).

**R**: Radio exterior (plg).

**S**: Valor del esfuerzo del material ( $lb/plg^2$ ).

**E**: Eficiencia de la junta.

La presión de diseño está establecida por las condiciones a la que el fluido está en el recipiente, al estar a la atmósfera el valor es de 10.5 PSI.

El diámetro del recipiente es de 300mm para conservar la simetría con el tanque de ensayo analizado anteriormente, su radio en pulgadas sería de 5.9055plg.

El valor del esfuerzo del material o esfuerzo permisible a la tensión ( $\sigma$ ) según McCormac (2011) es el valor del esfuerzo de fluencia ( $S_y$ ) multiplicado por 0.6 (p. 125).

El límite de fluencia del acero inoxidable ASI 304 según BOHLER (2009) es de  $S_y=220 N/mm^2$

Entonces el valor del esfuerzo del material es de 19144.98 PSI .

Al aplicar la ecuación 3.17 se obtiene:

$$t = \frac{PR}{SE + 0.4P}$$

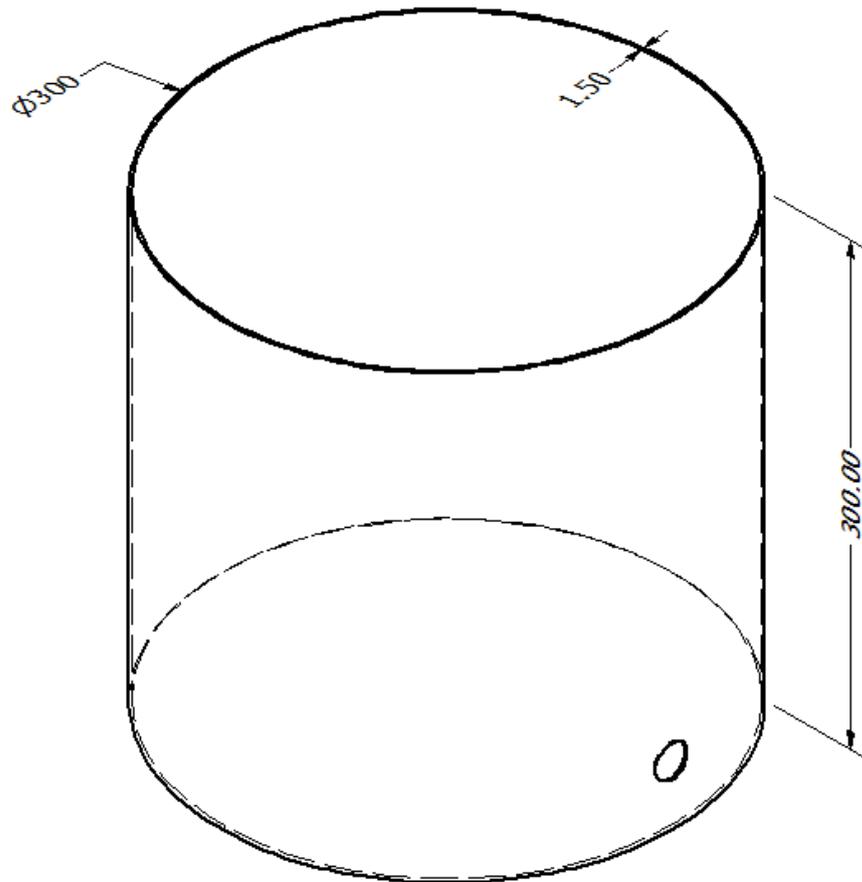
$$t = \frac{10.5 \text{ PSI} \cdot 5.9055 \text{ plg}}{(19144.98 \text{ PSI} \cdot 0.6) + (0.4 \cdot 10.5 \text{ PSI})}$$

$$t = 0.005 \text{ plg} \approx 0.13 \text{ mm}.$$

El espesor de pared determinado para el recipiente es muy bajo debido a la baja presión a la que está sometida el líquido, por lo que por facilidad de obtención en el mercado se selecciona el espesor de 1.5 mm.

La altura del reservorio por cantidad del nivel de agua tendrá una altura de 300 mm.

**Figura 3-42** Tanque reservorio.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### **3.4 Diseño de la mesa para ensayo Jominy**

#### **3.4.1 Descripción de cargas en la mesa.**

La mesa tendrá 2 niveles. El nivel inferior (nivel 1) soportará una carga en Newtons de:

**Tabla 3-8** Carga nivel 1 (N).

DESCRIPCIÓN	PESO
Bomba	21.53
Tanque Reservorio	31.64
Agua	76.20
Tubería en el nivel 1	12.03
Válvula de pie	1.02
2 Codos	1.32
Plancha inferior	37.05
<b>PESO TOTAL EN NIVEL 1</b>	<b>180.79</b>

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El nivel superior (nivel 2) soportará una carga en Newtons de los siguientes elementos:

**Tabla 3-9** Carga nivel 2 (N)

DESCRIPCIÓN	PESO
Tanque de ensayo	40.00
Porta probetas	23.05
Probeta	3.85
Tubería Nivel 2	14.06
Válvula de compuerta	2.28
Válvula de pie	1.46
4 Codos	2.64
Plancha superior	37.67
<b>PESO TOTAL EN NIVEL 1</b>	<b>125.01</b>

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

La sumatoria de las cargas es de 305.80 New  $\approx$  68.75 lbf.

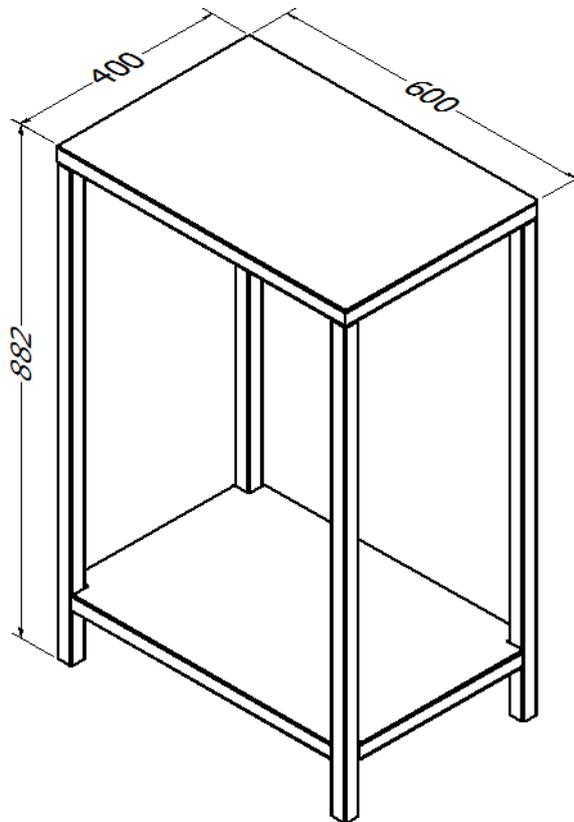
### 3.4.2 Selección de perfil para mesa.

Los elementos que constituyen el sistema hidráulico, el porta probetas, el tanque de ensayo y el reservorio van a estar montadas en una mesa de soporte en la que se pueda realizar las prácticas de laboratorio.

Para el diseño estructural de la mesa, debido a que la mesa va a soportar cargas demasiado bajas como se describe en las tablas 4-6 y 4-7, se desprecia el cálculo de deformaciones en vigas y columnas de la misma.

Las dimensiones de la mesa son: 882 x 600 x 400mm, se tomó en cuenta las limitaciones de espacio en el laboratorio.

**Figura 3-43** Mesa para ensayo Jominy.



**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El acero escogido para la estructura es acero al carbono laminado en caliente, de norma de fabricación NTE INEN 2415 (ver Anexo 6), se decide utilizar perfil cuadrado hueco de 30 mm x30 mm x 2 mm de espesor.

Los niveles de la mesa estarán cubiertos por lámina de acero A36 laminado en caliente de 2mm de espesor.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. COSTOS**

En este capítulo se detalla lo referente al cálculo de costos efectuados en el proceso de construcción de la máquina de ensayo Jominy.

El cálculo de costos es un factor importante en la planificación de productos y procesos de producción, control y dirección del proyecto y para la determinación de los precios.

Se toma en cuenta algunos parámetros para este cálculo y convencionalmente se han adoptado criterios para definir al costo total de la máquina como la agrupación de tres elementos fácilmente identificables y diferenciados entre sí como son:

1. Materia prima.
2. Mano de obra o maquinado.
3. Costos de fabricación.

#### **4.1 Costos directos.**

##### **4.1.1 Materia prima.**

La materia prima son los materiales relacionados directamente con los elementos de la máquina al ser transformados para el producto terminado.

Se detalla cada uno de los elementos y materiales en la máquina de ensayo Jominy y se costea los materiales.

Estos materiales de fácil identificación son los siguientes:

**Tabla 4-1** Materiales para mesa.

N°	ITEM	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TECNICAS	DIMENSIONES BRUTAS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Tubo estructural cuadrado 30x30x2mm	4	ASTM A36	mmm	2.29	9.16
2	Tubo estructural cuadrado 30x30x2mm	4	ASTM A36	600 mm	1.38	5.52
3	Tubo estructural cuadrado 30x30x2mm	4	ASTM A36	400 mm	0.91	3.64
4	Plancha 2mm	2	ASTM A36	600x400x2 mm	3.68	7.36
					TOTAL:	25.68

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Tabla 4-2** Materiales para tanque de ensayo y reservorio.

N°	ITEM	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TECNICAS	DIMENSIONES BRUTAS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Toll inoxidable 1.5 mm	1	AISI 304	1220x400mm	17.4	17.4
2	Toll inoxidable 1.5 mm	2	AISI 304	1220x400mm	17.4	34.8
3	Toll inoxidable 1.5 mm	1	AISI 304	350x350mm	5.11	5.11
4	Toll inoxidable 1.5 mm	1	AISI 304	350x350mm	5.11	5.11
5	Rejilla perforada 1.4mm	1	ASTM A36	350x350x1.1mm	6.68	6.68
6	Barra inoxidable	1	AISI 304	Ø70 x 40	20	20
					TOTAL:	89.1

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

**Tabla 4-3** Materiales para sistema hidráulico.

N°	ITEM	CANTIDAD	ESPECIFICACIONES TECNICAS	DIMENSIONES BRUTAS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Bomba centrífuga	1	Little Giant	1/40 hp	168	168
2	Válvula de compuerta	1	-	1/2"	29.31	29.31
3	Válvula de bola	1	-	1/2"	5.3536	5.3536
4	Válvula de pie	1	-	1/2"	4.368	4.368
5	Codo HG 1/2" 90°	6	Galvanizado	1/2" - 90°	0.3024	1.8144
6	Universal 1/2"	2	Galvanizado	1/2"	3.25	6.5
7	Neplo 1/2" x 2"	3	Galvanizado	1/2"	0.4	1.2
8	Unión 1/2"	1	Galvanizado	1/2"	0.25	0.25
9	Neplo 1/4" x 6"	1	Galvanizado	1/4"	0.35	0.35
10	Unión 1/4"	1	Galvanizado	1/4"	0.25	0.25
11	Tubo Iso II 1/2" Long: 2.10m	1	Galvanizado	1/2"	9.9	9.9
12	Tubo Iso II 1 1/2" Long: 2.10m	1	Galvanizado	1 1/2"	32.25	32.25
13	Barra inox 304	1	-	1 1/8" x 110mm	1.94	1.94
14	Barra inox 304	1	-	3" x 50mm	10.56	10.56
15	Plancha inox 304	1	-	310x10mm	63.84	63.84
					TOTAL:	335.88 6

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El total de materia prima es: **\$450.66.**

#### 4.1.2 Mano de obra.

La mano de obra o maquinado es un rubro que involucra la fabricación de las piezas requeridas y su montaje. Son las horas de taller empleadas en la fabricación.

Los procesos de producción empleados son:

**Tabla 4-4** Mano de obra.

N°	ITEM	PROCESO	COSTO HORA MÁQUINA			COSTO HORA HOMBRE			TOTAL
			NÚMERO DE HORAS	VALOR UNITARIO	TOTAL 1	NÚMERO DE HORAS	COSTO HORA HOMBRE	TOTAL 2	
1	TANQUE RECERVORIO	CORTE CZ	0.2	5	1	0.2	1.5	0.3	1.3
		BAROLADO	0.5	8	4	0.5	1.5	0.75	4.75
		SOLDADURA TIG	1	20	20	1	5	5	25
		PULIDO	1	3	3	1	1.5	1.5	4.5
2	TANQUE DE ENSAYO	CORTE CZ	0.2	5	1	0.2	1.5	0.3	1.3
		BAROLADO	0.5	8	4	0.5	1.5	0.75	4.75
		SOLDADURA TIG	3	20	60	3	5	15	75
		PULIDO	1	3	3	1	1.5	1.5	4.5
3	DISCO PORTA PROBETAS	CORTE PLASMA	1	15	15	1	5	5	20
		TORNEADO	1	10	10	1	3	3	13
		PULIDO	0.5	3	1.5	0.5	1.5	0.75	2.25
4	TOBERA	TORNEADO	1	10	10	1	3	3	13
5	FILTRO	TORNEADO	2	10	20	2	3	6	26
6	TUBERIA ISO II	CORTE	1	0.25	0.25	1	1	1	1.25
		ROSCADO TORNO	2	10	20	2	3	6	26
7	MESA	CORTE	1	0.25	0.25	1	1	1	1.25
		PULIDO	0.5	3	1.5	5	1.5	7.5	9
		SOLDADURA MIG	1	12	12	1	4	4	16
		PINTURA	1	10	10	2	3	6	16
8	PLACA SUPERIOR	CORTE CZ	0.2	5	1	0.2	1.5	0.3	1.3
9	PLACA INFERIOR	CORTE CZ	0.3	5	1.5	0.3	1.5	0.45	1.95
10	ENSAMBL E	-	0	0	0	3	8	24	24
								TOTAL:	292.1

Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

El total de la mano de obra es: **\$292.10**

## 4.2 Costos indirectos.

### 4.2.1 Costo de imprevistos

Son costos administrativos, transportación e imprevistos que se puedan dar en el transcurso del proyecto y equivale al 10% del valor del mismo.

### 4.2.2 Costo de diseño.

Es el valor presupuestado en la elaboración de planos, desarrollo de cálculos, actividades administrativas y aplicación de técnicas y teoría. Este valor representa las horas empleadas por las personas involucradas en el diseño que equivale al 20% del valor del mismo.

## 4.3 Costo total de máquina.

**Tabla 4-5** Costo total de máquina.

COSTOS DIRECTOS	
MATERIA PRIMA	450.66
MANO DE OBRA	292.1
TOTAL 1	742.86
COSTOS INDIRECTOS	
COSTO DE IMPREVISTOS	74.286
COSTO DE DISEÑO	148.57
TOTAL 2	222.858
<b>TOTAL MÁQUINA:</b>	<b>965.71</b>

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

## CONCLUSIONES.

- Al finalizar el proyecto se concluye que fueron esenciales conocimientos fundamentales para el correcto desarrollo del diseño de la máquina
- Se concluye que en base de los conocimientos aplicados se pudo obtener valores aceptables y reales de diseño, en el desarrollo del mismo fue necesaria una amplia revisión de fórmulas para comprender el comportamiento de varios fenómenos.
- Mediante cálculos se concluyó que cumpliendo con los requerimientos que exige la norma UNE-EN-ISO642 el valor de caudal necesario para la máquina de ensayo Jominy es de 2.292 Gal/min.
- Al finalizar el proyecto se concluyó que la altura del chorro necesaria concuerda con la establecida y requerida por la norma UNE-EN-ISO642 es decir  $65 \pm 10$ mm.
- Se concluye que la bomba necesaria para el modelo de máquina de ensayo Jominy es una tipo centrifuga de 1/40 hp con un flujo máximo de 300 GPH auto refrigerada por aceite.
- Los materiales utilizados en la construcción de la máquina fueron versátiles y de fácil obtención en la industria nacional.
- Al finalizar el presente proyecto de tesis se concluye que la máquina para ensayo Jominy cumplió con lo estipulado en la norma UNE-EN-ISO 642 para los ensayos de templabilidad que se emplearán en el laboratorio.

## **RECOMENDACIONES.**

- Antes de poner en marcha la máquina se debe verificar que el nivel de agua en el tanque reservorio esté en el punto máximo indicado en el tanque, para evitar complicaciones en la bomba.
- Es necesario que la persona que va a operar la máquina conozca del procedimiento a seguir antes, durante y después de la práctica.
- Se debe tener muy en cuenta que el tiempo de traslado de la probeta del horno hacia la máquina de ensayo Jominy no sea mayor a lo estipulado en la norma UNE-EN-ISO 642 es decir no mayor a 5 seg.
- El disco porta probetas deberá estar completamente seco antes de colocar la probeta a templar para evitar variaciones bruscas de temperatura y evitar el choque de las corrientes de aire del medio ambiente.
- Verificar que la altura del chorro libre (antes de colocar la probeta) tenga la medida especificada por la norma UNE-EN-ISO 642, para obtener un correcto enfriamiento de la probeta y asegurar un óptimo ensayo de templabilidad.
- Es importante realizar una correcta limpieza de la máquina luego de haber realizado la práctica en el laboratorio para evitar impurezas en el sistema hidráulico.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Aceros, C. G. (2015). *www.cga.com.co*. Recuperado el 26 de enero de 2015, de [http://www.cga.com.co/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=36](http://www.cga.com.co/index.php?option=com_frontpage&Itemid=36)
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. (2009). *Materiales para ingeniería 2*. España: Editorial Reverté S.A.
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2012). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Sexta ed.). Mexico DF.: CENGAGE Learning.
- AUTODESK. (2015). *www.autodesk.com*. Recuperado el 08 de enero de 2015, de <http://www.autodesk.com/education/free-software/simulation-mechanical>
- BOHLER. (2009). *www.bohlerandina.com*. Recuperado el 27 de enero de 2015, de [http://www.bohlercolombia.com/spanish/b\\_2741.php](http://www.bohlercolombia.com/spanish/b_2741.php)
- CRANE. (s.f.). *Buscador de Arquitectura*. Recuperado el 18 de diciembre de 2014, de [www.arq.com.mx: http://www.arq.com.mx/images/documentos/fototeca/1953787516-accesorios-en-valvulas-y-tuberias-crane1.pdf](http://www.arq.com.mx/images/documentos/fototeca/1953787516-accesorios-en-valvulas-y-tuberias-crane1.pdf)
- EXA. (2015). *Agencia Espacial Civil Ecuatoriana*. Recuperado el 23 de enero de 2015, de <http://quito.exa.ec/>
- Goodfellow. (2015). *www.goodfellow.com*. Recuperado el 27 de enero de 2015, de <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>
- Halberstadt, J. (1997-2015). <http://www.ecuadorexplorer.com/>. Recuperado el 23 de enero de 2015, de <http://www.ecuadorexplorer.com/es/html/ubicacion-geografia-y-clima.html>
- INNOV@TE. (s.f.). *emrtk.uni-miskolc.hu*. Recuperado el 05 de noviembre de 2014, de [http://emrtk.uni-miskolc.hu/innovate/public/malta/innovate3/jominy\\_home.htm](http://emrtk.uni-miskolc.hu/innovate/public/malta/innovate3/jominy_home.htm)

- LittleGiant. (marzo de 2003). *LittleGiantPump*. Recuperado el 23 de Enero de 2015, de <http://little-giantpump.com/>
- McCormac, J. (2011). *Diseño de Estructuras Metálicas* (Cuarta ed.). Mexico: Alfaomega.
- Megyesy, E. F. (1992). *Manual de Recipientes a Presión*. (Primera ed.). México: LIMUSA. Recuperado el 30 de enero de 2015
- Moreno, L. M. (2008). *Materiales Industriales* (1a. ed.). Medellin, Colombia: Editorial Fondo ITM.
- Mott L, R. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*. Mexico: Pearson.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos* (Sexta ed.). Mexico: Pearson.
- Neely, J. E. (2002). *Metalurgia y materiales industriales*. Mexico D.F.: Editorial Limusa S.A.
- Shackelford, J. F. (2010). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros* (Septima ed.). Madrid: Pearson Education S.A.
- Shames, I. H. (1995). *Mecánica de Fluidos* (Tercera ed.). (M. Suarez, Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Santa Fe, Colombia: Mc Graw-Hill.
- Smith, W. F. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. MEXICO D.F.: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- TECMICRO. (s.f.). *serviciospro.wanadoo.es*. Recuperado el 05 de noviembre de 2014, de <http://serviciospro.wanadoo.es/tecmicro/productos/maquinajominy.html>
- UNE-EN-ISO642. (mayo de 2000). Acero. *Ensayo de templabilidad por templado final (Ensayo Jominy)*, 26. Madrid: AENOR.

# **ANEXOS**

# ANEXO 1.

## Ayuda para selección de tamaño de tubería

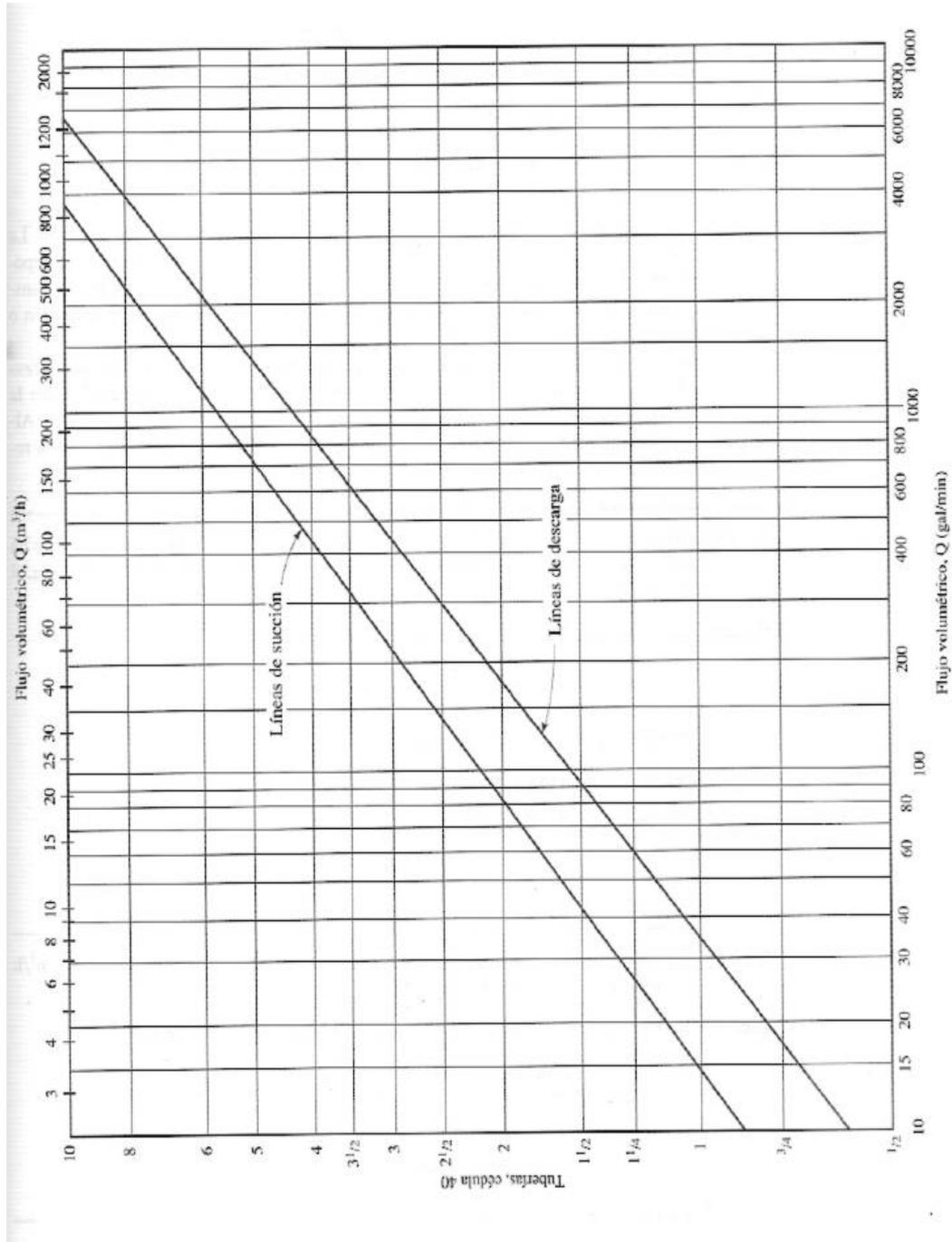


FIGURA 6.2 Ayuda para seleccionar el tamaño de tuberías.

## ANEXO 2.

### Catálogo bomba Little Giant

# LittleGIANT®

## 2E-38N SERIES



### Features

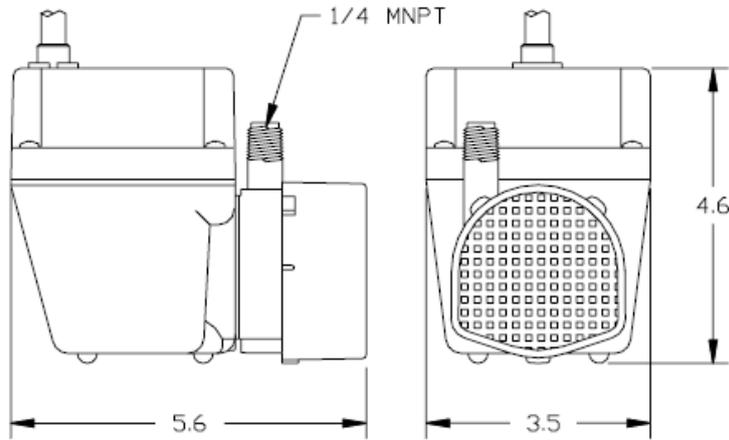
- For submersed or in-line use
- Epoxy coated die-cast aluminum housing
- Oil-filled motor
- 11.8' maximum lift
- 100 watts
- 1/4" MNPT discharge (accepts 1/2" I.D. tubing)
- Thermal overload protection

### Construction

- Motor — 1/40 HP oil filled
- Maximum Flow Rate — 300 GPH @ 1'
- Maximum Head — 11.8'
- Intermittent Liquid Temp. up to — 120°F
- Intake — 3/8" FNPT
- Discharge — 1/4" MNPT
- Housing — Epoxy coated cast aluminum
- Cover — Epoxy coated cast aluminum
- Volute — Nylon
- Impeller — Nylon
- Shaft Seal — Triple-lip Nitrile
- Screen — Polypropylene

Dual purpose oil-filled pump that may be used totally submersed or in-line (fed with pipe or hose). For commercial, industrial and home applications including statuary fountains, water displays, air conditioners, machine tool coolants, and many other applications where liquid must be transferred or recirculated. This compact 300 GPH pump features a 1/4" MNPT discharge and 11.8' shut-off head capability.

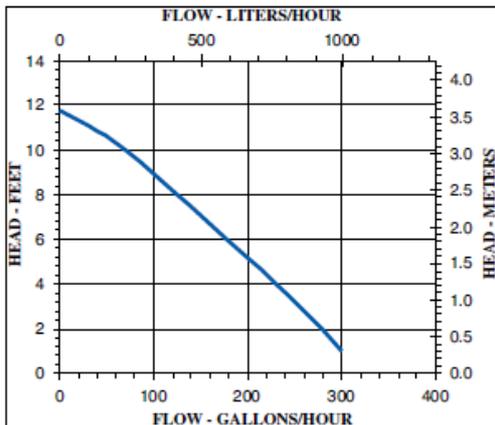
# 2E-38N SERIES



## Specifications

Model No.	Item No.	Discharge Size	Intake Size	Listing(s)	HP	Volts	Hertz	Amps	Watts	Performance (GPH@Head)				Shutoff		Cord Length (ft.)	Weight (lbs.)
										1'	3'	5'	10'	Fl.	P.S.I.		
2E-38N	502203	1/4" MNPT	3/8" FNPT	UL	1/40	115	60	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	6	4.83
*2E-38N	502403	1/4" MNPT	3/8" FNPT	UL	1/40	115	60	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	6	4.83
2E-38NT	502286	1/4" MNPT	3/8" FNPT	UL/CSA	1/40	115	60	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	10	5.00
2E-38N	502500	1/4" MNPT	3/8" FNPT		1/40	127	60	1.7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	6	4.83
2E-38NY	502216	1/4" MNPT	3/8" FNPT	UR/C-CSA	1/40	230	50/60	9/7	100	300	255	205	70	11.8	5.1	12	5.17

\*Black



## Replacement Parts

Volute	102334 (102375, black)
Impeller	102470
Screen	102909 (102376, black)
Gasket	102601

[www.LittleGiantPump.com](http://www.LittleGiantPump.com)

**LittleGIANT**

PO Box 12010 • Oklahoma City, OK 73157  
 Phone: 800.701.7894 • Fax: 800.701.8046  
 E-mail: [customerservice@littlegiant.com](mailto:customerservice@littlegiant.com)

Form 995132 — 03/2003

## ANEXO 3.

### Catálogo acero AISI 4340.

#### ACERO SAE 4340

DIN	40Cr Ni Mo 7
AFNOR	38NC D6
CENIM	F 1272
SAE	4340

#### CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al cromo-níquel-molibdeno que se caracteriza por su gran combinación de ductilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga en piezas de gran sección sometidas a altos esfuerzos dinámicos. No presenta fragilidad de revenido razón por la cual mantiene una adecuada resistencia mecánica hasta 400°C. Se puede aumentar la resistencia mecánica por medio de tratamiento térmico. Su buena penetración de dureza se ve reflejada en excelentes propiedades de torque. Se suministra en estado bonificado y libre de tensiones internas, lo que significa que las barras no se flectan o deforman durante el maquinado. Se recomienda para trabajo pesado o de alta resistencia.

#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx.%	S máx.%	Si máx.%	Cr %	Mo %	Ni %
Análisis típico en %	0.38	0.6	0.035	0.04	0.15	0.7	0.2	1.65
	0.48	0.8						

Estado de suministro: Bonificado  
Dureza de suministro: 270 - 330 Brinell

#### PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión → 1500°C.
- Coeficiente de expansión térmica / °C → 20 a 100°C =  $12.3 \times 10^{-6}$   
20 a 600°C =  $14.5 \times 10^{-6}$
- Conductividad térmica → W/(m·°C).  
20 a 100°C = 45
- Calor específico J/kg·°C:  
20 a 200°C = 473
- Módulo de elasticidad →  $2 \times 10^{11}$  Pa  
( $29 \times 10^6$  PSI)
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):  
a 50°C = 30  
a 300°C = 48



PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE

Estado de Suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	620 - 750	441	20	50	210 - 240
Calibrado	750 - 850	635	10	30	240 - 260
Bonificado	860 - 1080	785	19	45	260 - 320

Nota: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25 mm. Para mayores o menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.

ENSAYO CHARPY A BAJA TEMPERATURA, JOULES (ENTALLA EN "V")

Dureza del material	Temperatura del ensayo			
	20°C	- 10°C	- 40°C	- 70°C
40 HRC	16.8	10	8.7	6.5
35 HRC	110.9	111.6	118.1	104.8
28 HRC	126.9	105.8	101.4	48.8

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850-1100	Geniza O arena
Temple	820-860	Aceite
Normalizado	850-870	Aire
Recocido	690-720	Horno
Revenido	540-660	Aire

DIAGRAMA TTT (TIEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMACIÓN)

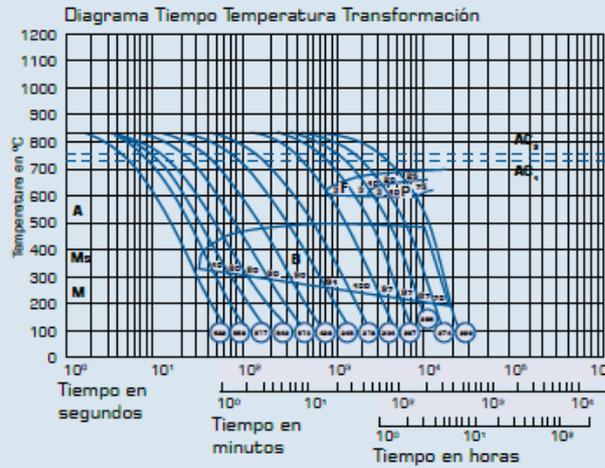
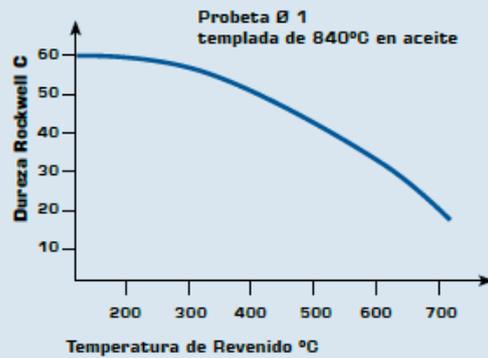


Diagrama de Revenido



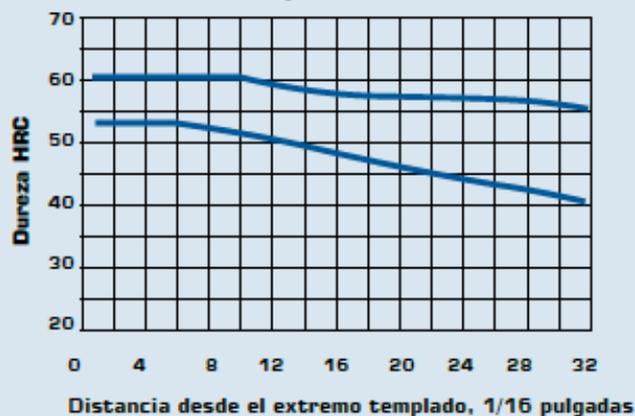
TEMPLABILIDAD DEL ACERO 4340

**Diámetro crítico:** Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza (50% de martensita):  
 180 mm de diámetro con enfriamiento en aceite  
 35 mm de diámetro con enfriamiento en aire

4340							
Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC		Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC	
1/16 in	mm	Máx.	Mín.	1/16 in	mm	Máx.	Mín.
1	1.58	60	58	18	20.54	58	50
2	8.16	60	58	14	22.12	58	49
3	4.74	60	58	15	28.70	58	49
4	6.82	60	58	16	25.28	58	48
5	7.90	60	58	18	28.44	58	47
6	9.48	60	58	20	31.60	57	46
7	11.06	60	58	22	34.76	57	45
8	12.64	60	52	24	37.92	57	44
9	14.22	60	52	26	41.08	57	43
10	15.80	60	52	28	44.24	56	42
11	17.38	59	51	30	47.40	56	41
12	18.96	59	51	32	50.56	56	40



### Banda de Templabilidad



### PROPIEDADES MECÁNICAS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE REVENIDO (Templado en aceite)

Temperatura de revenido (°C)	200	315	480	540	650	700
Resistencia a la tracción (Mpa)	1980	1757	1495	1240	1020	861
Límite de fluencia (Mpa)	1860	1620	1364	1158	861	744
% de Elongación (en 50 mm)	11	12	14	17	20	23
% de Reducción de área	39	44	48	53	60	63
Dureza Brinell	520	490	440	360	290	250
Torsión, esfuerzo último (MPa)	-----	1550	1275	1068	910	875
Torsión, límite elástico (MPa)	-----	1000	896	717	606	551
Impacto Izod, Joules	20	18.5	16.2	47.4	100	101.6

## ANEXO 4.

### Catálogo acero AISI 4140.

#### ACERO SAE 4140

DIN	42 Cr Mo 4
UNI	40CD4
SAE	4140
AFNOR	42 CD 4

#### CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Es un acero de temple en aceite de medio carbono aleado al cromo-molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión en secciones pequeñas y medianas. Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción), obteniendo durezas de 57-62 Rockwell C. Generalmente se entrega en estado bonificado (con dureza entre 28 a 32 HRC).

#### PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm<sup>3</sup>.
- Módulo de elasticidad → 2.1 x 10<sup>11</sup> Pa
- Coeficiente de Dilatación / °C →
  - 20 a 100°C = 12.3 x 10<sup>-6</sup>
  - 20 a 200°C = 12.7 x 10<sup>-6</sup>
  - 20 a 400°C = 13.7 x 10<sup>-6</sup>
  - 20 a 600°C = 14.5 x 10<sup>-6</sup>
- Conductividad térmica → W/m · °C.
  - 20 a 100°C = 42.7
  - 20 a 200°C = 42.3
  - 20 a 400°C = 37.7
  - 20 a 600°C = 33.1
- Calor específico (J/kg°C):
  - 20 a 200°C = 473
  - 20 a 400°C = 519
  - 20 a 600°C = 561
- Coeficiente de Poisson → 0.3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
  - 20°C = 0.22
  - 20 a 100°C = 0.26
  - 20 a 200°C = 0.33
  - 20 a 400°C = 0.48
  - 20 a 600°C = 0.65



COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si %	Cr %	Mo %
Análisis típico en %	0.88	0.75	0.085	0.04	0.2	0.80	0.15
	0.48	1.0					

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de Suministro	Resistencia a la Tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de Área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en Caliente	588 - 690	392	22	50	210 - 240
Calibrado	690 - 785	589	14	40	240 - 260
Bonificado	850 - 981	785	14	47	260 - 320

Note: Estas propiedades mecánicas son tomadas sobre redondos de 25mm. Para mayores o menores dimensiones hay que considerar el efecto de masa.

## BANDA DE TEMPLABILIDAD

BANDA DE TEMPLABILIDAD PARA EL ACERO 4140							
Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC		Distancia desde el extremo templado		Dureza, HRC	
1/16 in	mm	Máx.	Min.	1/16 in	mm	Máx.	Min.
1	1.58	60	59	13	20.54	55	39
2	3.16	60	59	14	22.12	54	37
3	4.74	60	52	15	23.70	54	36
4	6.32	59	51	16	25.28	53	35
5	7.90	59	51	18	26.44	52	34
6	9.48	59	50	20	31.60	51	33
7	11.06	59	48	22	34.76	49	33
8	12.64	57	47	24	37.92	48	32
9	14.22	57	44	26	41.08	47	32
10	15.80	56	42	28	44.24	46	31
11	17.38	56	40	30	47.40	45	31
12	18.96	55	39	32	50.56	44	30

Curva de Templabilidad



## TRATAMIENTOS TÉRMICOS

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Ceniza - arena seca
Normalizado	850 - 870	Aire
Recocido globular	750	Horno
Recocido subcrítico	680 - 720	Horno
Temple	830 - 850	Aceite
Revenido	500 - 650	Aire

**Diámetro crítico:** Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza:

70mm de diámetro con enfriamiento en agua

45mm de diámetro con enfriamiento en aceite

## ANEXO 5.

### Catálogo acero K460.

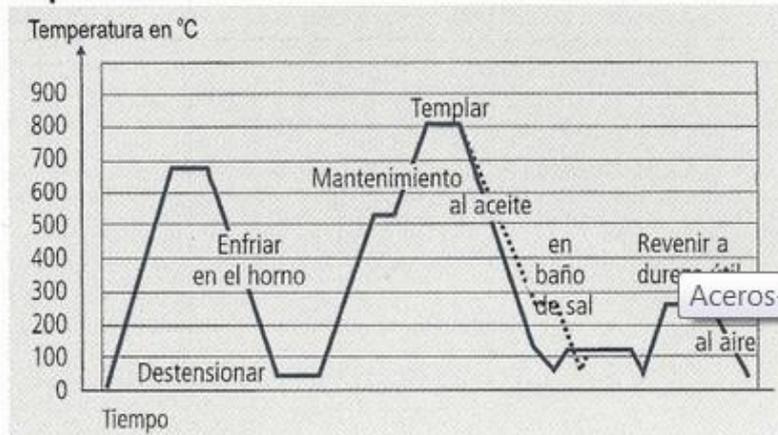
## ACERO PARA TRABAJO EN FRÍO BÖHLER K460

pieza, pero como mínimo 2 horas.  
Enfriamiento al aire.

Véanse en el diagrama de revenido los valores tipo para la dureza obtenible después de revenido.

En ciertos casos puede resultar conveniente reducir un poco la temperatura y prolongar el tiempo de permanencia a temperatura de revenido.

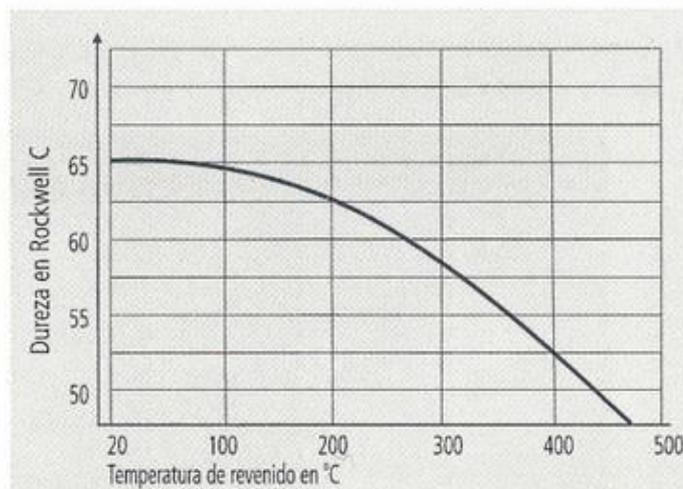
### Esquema de tratamiento térmico



### Diagrama de revenido

Temperatura de temple: 800°C

Sección de la probeta: cuadrado 20 mm.



# BÖHLER K460

Tipo de aleación (valores promedio en%)					
C	Si	Mn	Cr	V	W
0.95	0.25	1.10	0.55	0.10	0.55

**Normas** No. Mat. 1.2510 DIN 100MnCrW4 AISI 01

## Propiedades

Acero de herramientas para trabajo en frío para temple al aceite. Se caracteriza por su escasa variabilidad dimensional.

## Aplicaciones

Herramientas de corte y en general elementos de matricería, útiles para roscar, herramientas para el trabajo de la madera; cuchillas industriales, principalmente para uso de la industria de la madera, del papel y metales, calibradores, moldes en la industria de los plásticos.

## Parámetros de tratamiento térmico

**Forjar:** 1050 - 850°C. Enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

**Recocido:** 710 - 750°C. Enfriamiento lento en el horno. Dureza después del recocido : máx. 225 HB.

**Relevo de tensiones:** Aprox. 650°C. Enfriamiento lento en el horno para disminuir las tensiones después de un mecanizado prolongado o en herramientas de formas complicadas. Calentar uniformemente y mantener a temperatura durante 1 a 2 horas en atmósfera neutra.

**Temple:** 780 - 820°C. Enfriamiento en aceite o en baño isotérmico (200-250°C). Mantener a temperatura durante 15 minutos como mínimo. Para espesores superiores a 20 mm exigen tiempo adicional por cada milímetro de espesor.

Dureza obtenible: 63 - 65 HRC.

Margen de temperatura inferior cuando se requiera estabilidad dimensional.

**Revenido:** Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple.

Tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm. de espesor de la

# BÖHLER K460

## Propriétés physiques

Densité à /  
Densidad a .....20°C .....7,85 .....kg/dm<sup>3</sup>

Conductivité thermique à /  
Conductibilidad térmica a .....20°C .....30,0 .....W/(m.K)

Chaleur spécifique à /  
Calor específico a .....20°C .....460 .....J/(kg.K)

Résistivité à /  
Resistencia eléctrica específica a .....20°C .....0,35 .....Ohm.mm<sup>2</sup>/m

Module d'élasticité à /  
Módulo de elasticidad a .....20°C .....210 x 10<sup>3</sup> .....N/mm<sup>2</sup>

## Propiedades físicas

Dilatation thermique, entre 20°C et ...°C, 10<sup>-6</sup> m/(mK)  
Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10<sup>-6</sup> m/(mK)

100°C	200°C	300°C	400°C	500°C
11,5	12,0	12,2	12,5	12,8

## ANEXO 6.

### Catálogo DIPAC tubo estructural cuadrado.



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

**CUADRADO**

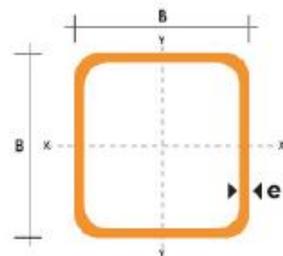
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6,00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20,00mm a 100,00mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,00mm a 3,00mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,08	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,86	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	178,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84















## PROTOCOLO DE PRUEBAS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA CARACTERIZAR LA TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS ALEADOS EN PROBETAS, DESTINADA PARA LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

<b>Fabricantes:</b>	Santiago Casco, Andrés Sigcha
<b>Fecha:</b>	Abril 2015

Para determinar si la máquina funciona correctamente se evalúa su funcionamiento bajo algunos parámetros y pruebas a considerar:

1. Pruebas dimensionales y de apariencia.
2. Pruebas de funcionamiento.
3. Pruebas del ensayo.

### Pruebas dimensionales y de apariencia.

Estas pruebas se realizan cuando la máquina está instalada en su totalidad, las mediciones a realizarse son:

MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	VALOR DE DISEÑO (mm)	VALOR COMPROBADO (mm)	TOLERANCIA (mm)	APROBADO
Ancho	Flexómetro	600		+/-2	
Largo	Flexómetro	400		+/-2	
Altura	Flexómetro	1275		+/-2	

**Elaborado por:** Santiago Casco, Andrés Sigcha.

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN	APARIENCIA	APROBADO
1	Soldadura	Visual	
2	Empernado	Visual	
3	Color	Visual	

Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

### Pruebas de funcionamiento.

En estas pruebas se comprueba el correcto funcionamiento de los sistemas que conforman la máquina. Los elementos a evaluar son: sistema hidráulico, sistema eléctrico y diseño de la máquina.

ITEM	ELEMENTOS	INSTRUMENTO DE VERIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR DE DISEÑO (mm)	TOLERANCIA (mm)	APROBADO
1	Sistema Hidráulico	Visual/Norma	Encendido y funcionamiento	Funcionamiento válvulas	-	-	
				Perdidas por fuga	-	-	
2	Sistema Eléctrico	Visual	Encendido y funcionamiento	Funcionamiento botonera	-	-	
3	Diseño de la Máquina	calibrador, flexómetro	Confirmación de Requerimientos según norma.	Altura de chorro	70 mm	+/-5	
				Distancia entre tobera y probeta	12mm	+/-5	
				Dimensiones porta probetas	Ø298x10	+/-2	
				Dimensiones de probeta	Según norma	+/-0.5	
				Diámetro de salida del chorro	Ø12.5	+/-0.5	

Elaborado por: Santiago Casco, Andrés Sigcha.

## **Pruebas de ensayo.**

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Prender máquina.
2. Comprobar la altura del chorro. ( $95\pm 10\text{mm}$ )
3. Cerrar el paso del fluido.
4. Colocar la probeta en el tanque de ensayo.
5. Abrir el paso del fluido.
6. Dejar transcurrir el tiempo que dura el ensayo (10 min).
7. Sumergir inmediatamente la probeta en un recipiente lleno de agua.
8. Cerrar válvula de acceso rápido concluido el tiempo de ensayo.
9. Apagar máquina.
10. Medir resultados.

## **Observaciones:**

- Al colocar la probeta en el tanque de ensayo dependiendo del acero a realizar la práctica deberá estar calentado a temperaturas de temple correspondientes a cada material.

Para la medición de resultados se realizarán identificaciones en segmentos según norma.



## GUIA DE PRÁCTICA

**TEMA: Ensayo de templabilidad Jominy.**

### 1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una práctica del ensayo de templabilidad Jominy con el fin de conocer y visualizar el comportamiento del acero en el temple.

#### 1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y comprender el ensayo Jominy.
- Realizar el temple del acero (AISI 4140/ AISI 4340/ K460) bajo los estándares del ensayo Jominy.

### 2. MARCO TEÓRICO.

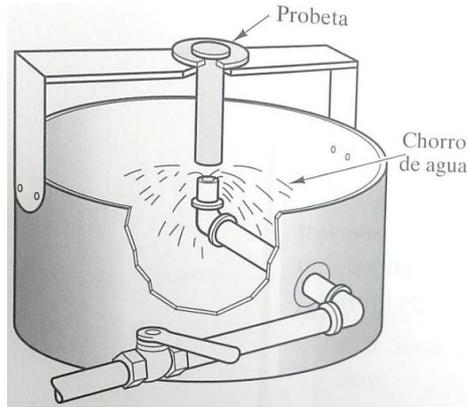
#### 2.1. Ensayo Jominy

El ensayo Jominy adoptado por la norma UNE-EN ISO 642 permite determinar características de importancia como la templabilidad de un acero, este consiste primeramente en la elección de la forma o lugar de donde se debe extraer una muestra o probeta cuyas dimensiones son normalizadas.

Posteriormente y una vez mecanizada la probeta se calienta en un horno a la temperatura de austenización del acero a analizar.

Luego ésta es transportada y colocada en el soporte del dispositivo de sujeción mostrado en la figura 1 en la cual, se da inmediatamente paso a un chorro de agua (operación que debe usar como máximo un tiempo de cinco segundos); posteriormente se la enfría por 10 minutos. Transcurrido este tiempo se completara el enfriamiento de la probeta introduciéndola en agua fría. Este enfriamiento es

solamente de la cara inferior de la probeta, requisito que se consigue si previamente se ha regulado la presión del agua en la tubería de manera que alcance (sin la probeta) una altura de 63,5mm (2,5plg.) desde el orificio de salida. La temperatura del agua será de 20°C a 30°C.

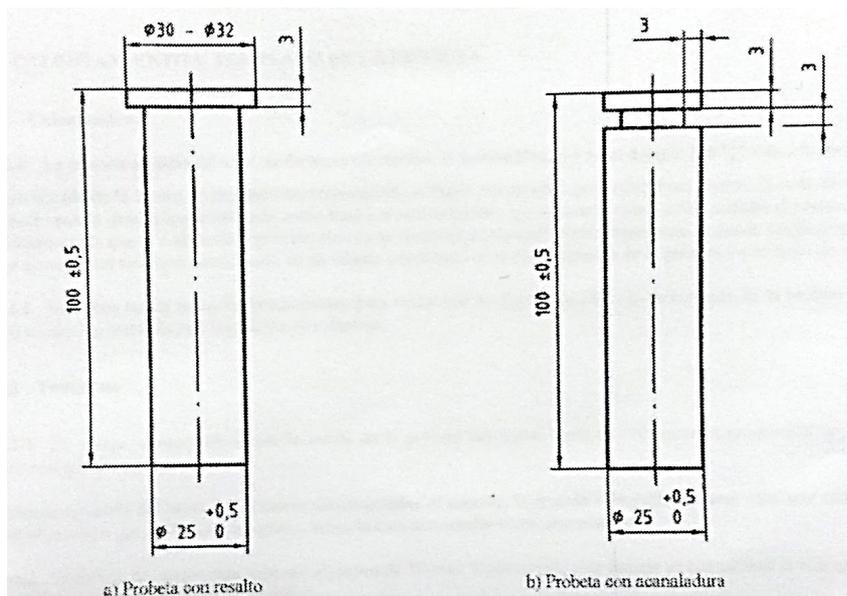


**Figura 1**

Luego se miden las durezas en el durómetro y se expresan los resultados.

## 2.2. Dimensiones de la Probeta.

La probeta debe consistir en una barra cilíndrica mecanizada, de 25mm de diámetro y 100mm de longitud.



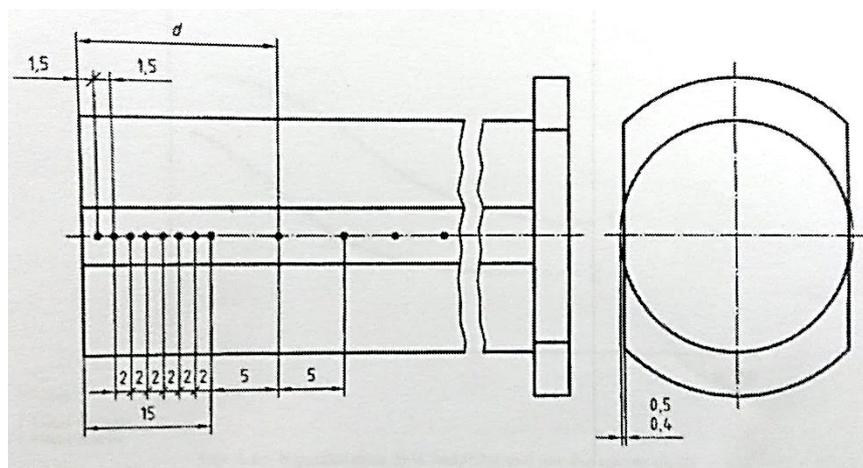
**Figura 2.**

El extremo de la probeta que no va a ser templado debe tener un diámetro comprendido entre 30mm y 32mm o igual a 25mm, según su forma. Dos ejemplos de probetas, una con resalto y otra con acanaladura (para permitir un centrado y posicionamiento rápido de la probeta en la operación de templado, por medio de un soporte apropiado) Figura 2.

### 2.3. Preparación y medición de la dureza después del templado.

Se preparan, mediante rectificado de la superficie, dos rebajos para la medición de la dureza situados a 180° el uno del otro y paralelo al eje de la probeta. En el caso de probetas obtenidas por mecanizado, los dos rebajos deben estar a la misma distancia de la superficie del producto (Figura 3).

La profundidad del rebajo debe ser de 0.4mm a 0.5mm. Los rebajos se deben mecanizar con aporte abundante de refrigerante y con muela de grano fino, con objeto de evitar todo calentamiento que pueda modificar la micro estructura de la probeta.



**Figura 3**

Se deben tomar todas las precauciones precisas para asegurar que la probeta está bien apoyada y rígidamente sujeta durante la medición de la dureza.

El dispositivo para el desplazamiento de la probeta sobre la máquina de ensayo de dureza debe permitir un centrado preciso del rebajo y un espaciamiento de las indentaciones de  $\pm 0.1$ mm. Las

identaciones de dureza HRC deben efectuarse según las normas internacionales ISO 6508-1, ISO 6508-2 e ISO 6508-3, a lo largo del eje de los rebajos.

“En el caso general, las distancias, expresadas en milímetros, de los ocho primeros puntos tomados a partir del extremo templado, son las siguientes”, (Figura 3):

1.5-3-5-7-9-11-13-15

## **2.4. Expresión de los resultados.**

### **2.4.1. Dureza de un punto cualquiera.**

“Se tomará como dureza, para cada distancia  $d$ , la media de los valores obtenidos a esta misma distancia  $d$  en cada una de los dos rebajos especificados anteriormente, y el valor se redondea en principio a 0.5 HRC ó 10 HV”. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **2.4.2. Trazado de las curvas de dureza.**

En ejes cartesianos, se tomarán las distancias en abscisas y las durezas correspondientes en ordenadas, utilizando las escalas siguientes:

- En abscisas: cada 10 mm corresponden a una distancia de 5 mm; o 10 mm corresponden a una distancia de 1 mm para aceros de baja templabilidad.
- En ordenadas: 10 mm corresponden a 5 HRC o 50 HV.

Cuando las curvas Jominy se construyen con dispositivos asistidos por ordenador, el programa del ordenador establece automáticamente las escalas de los ejes. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **2.4.3. Descripción de las características de templabilidad de un acero dado.**

Utilizar uno de los métodos siguientes:

- f) Trazado de la curva de dureza;
- g) Determinación de la dureza en tres puntos, el primero de los cuales estará situado a 1.5 mm del extremo templado, (1 mm para los aceros de baja templabilidad); fijándose los otros dos por acuerdo particular;
- h) Determinación de la dureza de dos puntos situados a distancias prefijadas por acuerdo particular;
- i) Determinación de la dureza a una distancia determinada del extremo templado;
- j) Tablas de doble entrada dureza – distancia. (UNE-EN-ISO642, 2000, p. 13)

### **3. MATERIALES Y EQUIPOS.**

- Guantes para altas temperaturas.
- Pinza de trabajo para altas temperaturas.
- Cronometro.
- Mascara de protección facial.
- Mandil.
- Calibrador.

### **4. INFORME.**

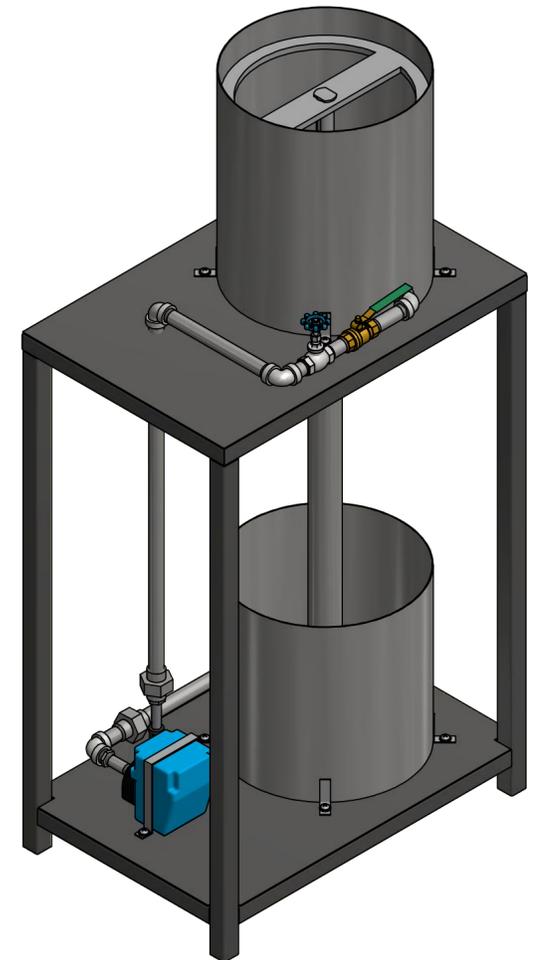
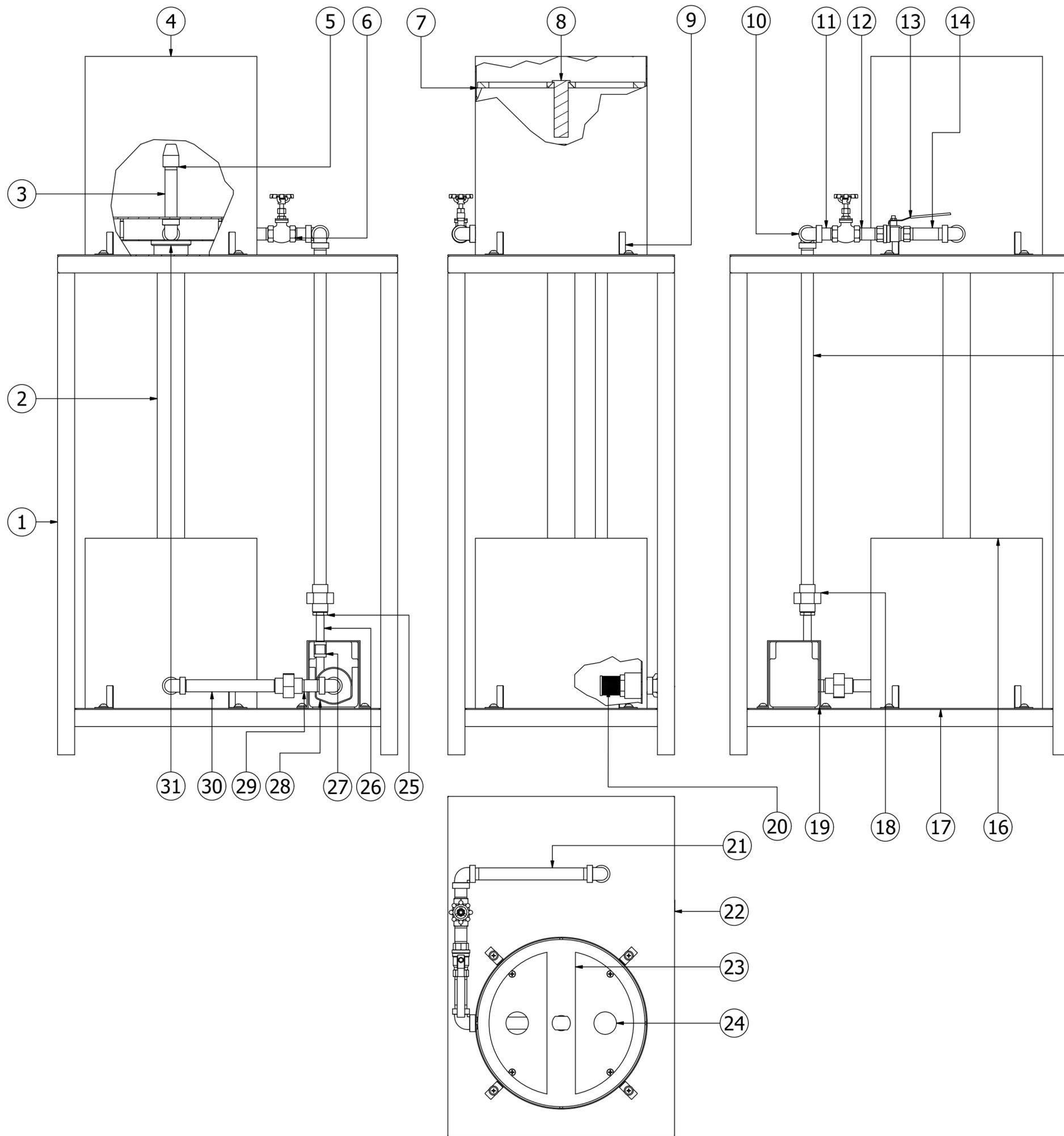
- Realice la práctica y tome fotografías del proceso.
- Realizar cuadro de mediciones tomadas en el durómetro.
- Realizar las curvas Dureza (HRC) vs Distancia del extremo templado.

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **6. ANEXOS. (PLANOS, FOTOS, ETC).**

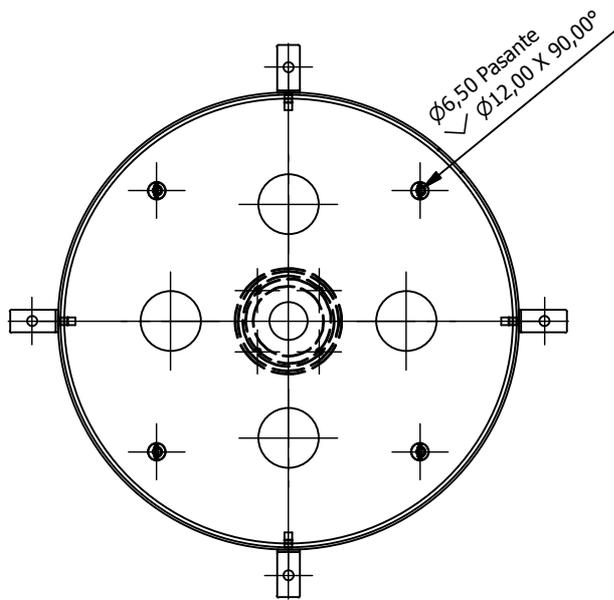
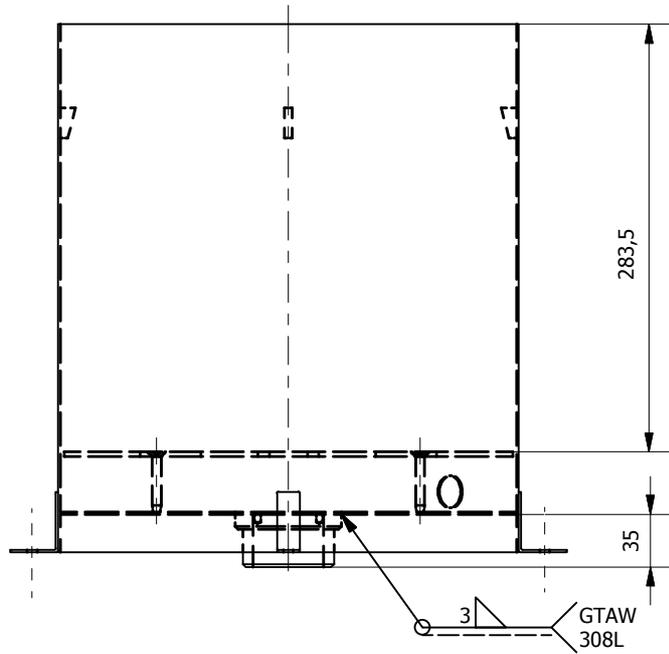
### **7. BIBLIOGRAFIA.**

# **PLANOS**

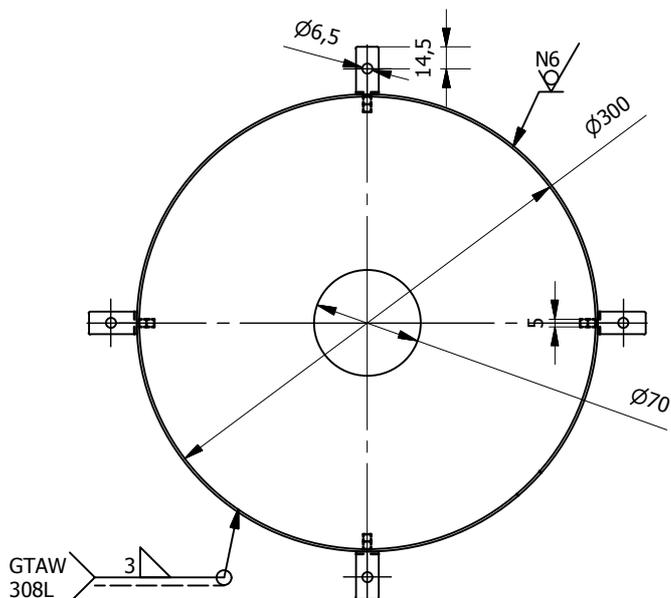


31	Filtro	1	10.1316/3483.01.01.02	AISI 304	Ø80 x 50mm	---
30	Neplo	1	INEN 2470	---	Ø1/2 NPT x 175 mm	Galvanizado
29	Neplo	1	INEN 2470	---	Ø1/2 NPT x 50 mm	Galvanizado
28	Bomba centrífuga	1	---	---	1/40 HP	---
27	Union	1	INEN 2470	A 36	Ø1/4 NPT	Galvanizado
26	Neplo	1	INEN 2470	A 36	Ø1/4 NPT x 60mm	Galvanizado
25	Bushing	1	---	A 36	1/4-1/2NPT	Galvanizado
24	Placa de centrado	1	10.1316/3483.01.01.03	AISI 304	Ø295x3mm	---
23	Porta probetas	1	10.1316/3483.01.04.00	AISI 304	Ø295x10mm	---
22	Placa superior	1	10.1316/3483.01.03.02	A 36	600x400x2mm	Recubrimiento
21	Neplo	1	INEN 2470	A 36	Ø1/2 NPTx205mm	Galvanizado
20	Valvula de pie	1	---	Bronce/ AISI 304	1/2 NPT	---
19	Abrazadera bomba	1	10.1316/3483.01.06.00	A 36	130x15x2	Recubrimiento
18	Union universal	2	---	A 36	1/2 NPT	Galvanizado
17	Placa Inferior	1	10.1316/3483.01.03.03	A 36	600x400x2mm	Recubrimiento
16	Tanque reservorio	1	10.1316/3483.01.02.00	AISI 304	Ø303x300mm	---
15	Tubo descarga	1	INEN 2470	A 36	Ø1/2 NPT x 610	Galvanizado
14	Neplo	1	INEN 2470	A 36	Ø1/2 NPT x 65mm	Galvanizado
13	Valvula de bola	1	---	A 36	1/2 NPT	Galvanizado
12	Neplo	1	INEN 2470	A 36	Ø1/2NPT x 50 mm	Galvanizado
11	Neplo	1	INEN 2470	A 36	Ø1/2NPT x 35mm	Galvanizado
10	Codo	6	---	A 36	90° 1/2NPT	Galvanizado
9	Aletas	8	---	AISI 304	70x15x1.5mm	---
8	Probeta	3	10.1316/3483.01.07.00	AISI 4140/4340/K460	Ø32x100mm	---
7	SopORTE porta probetas	4	---	AISI 304	20x20x3mm	---
6	Valvula de compuerta	1	---	Bronce	1/2 NPT	---
5	Tobera	1	10.1316/3483.01.05.00	AISI 304	Ø28x40mm	---
4	Tanque ensayo	1	10.1316/3483.01.01.00	AISI 304	Ø303 x 350mm	---
3	Neplo tobera	1	INEN 2470	A 36	ISO IIØ1/2NPTx105mm	Galvanizado
2	Tubo retorno	1	INEN 2470	A 36	ISO II Ø1 1/2"x700 mm	Galvanizado
1	Mesa	1	10.1316/3483.01.03.00	AISI 1018	1232x600x400mm	Recubrimiento
Pos.	Denominación	Cant.	Norma	Material	Dim. Brutas	Observaciones

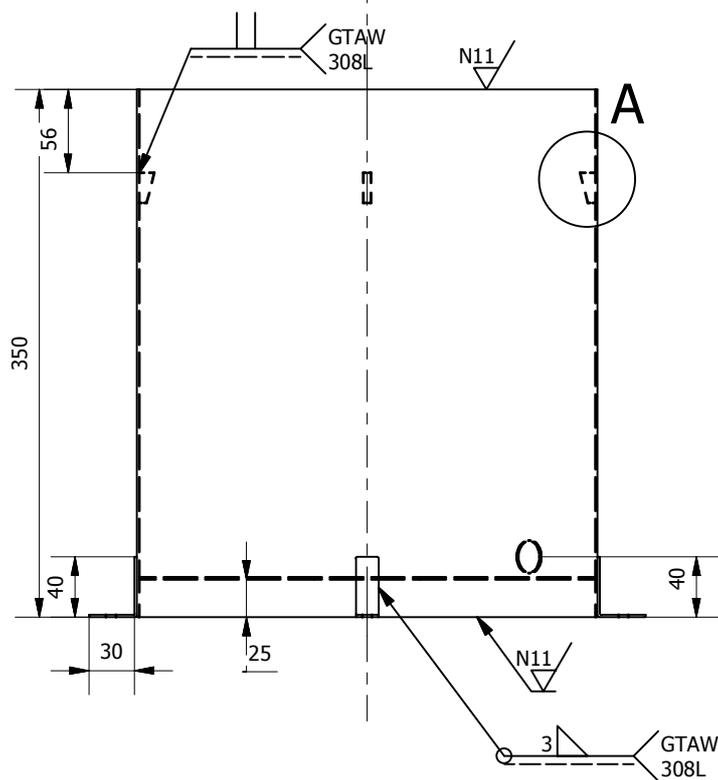
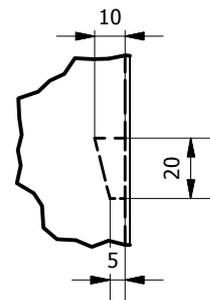
TRATAMIENTO TÉRMICO:		N/A		<b>MATERIAL:</b>		<b>DIM. BRUTAS:</b>	
RECUBRIMIENTO:		N/A		N.A.		1300x600x400mm	
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			<b>UPS</b>		<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
					<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
					<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami	
<b>MAQUINA DE ENSAYO JOMINY</b>			<b>ESC: 1:5</b>		<b>CÓDIGO:</b>	<b>10.1316/3483.01.00.00</b>	<b>TOL. GNRL:</b>
							± 2.0



TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø300x350mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>TANQUE DE ENSAYO</b>	<b>ESC: 1:5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.01.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



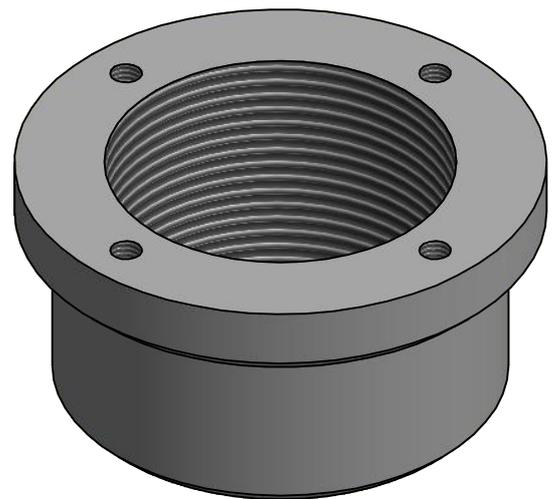
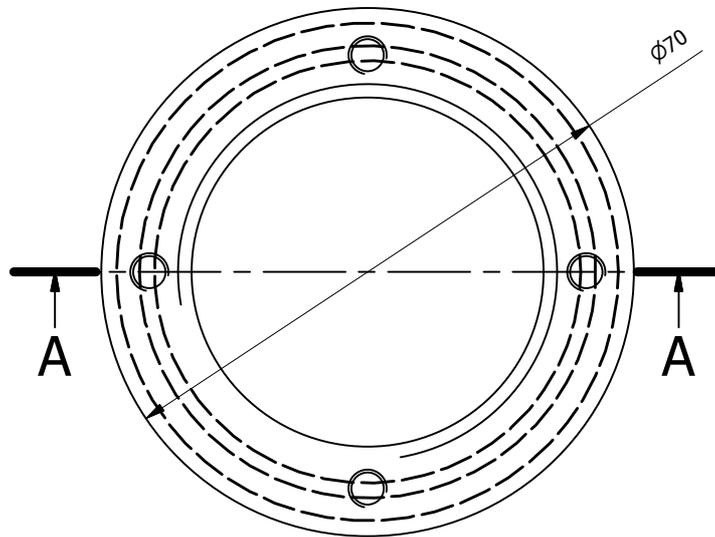
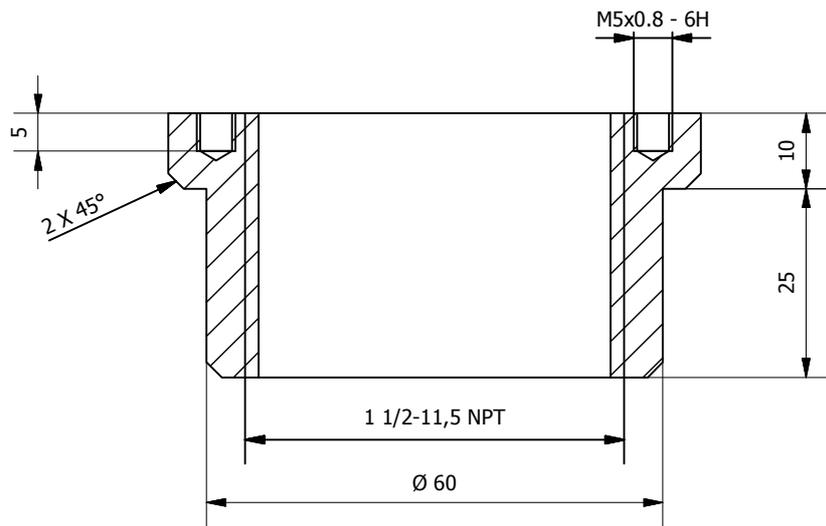
A ( 1 : 2.5 )



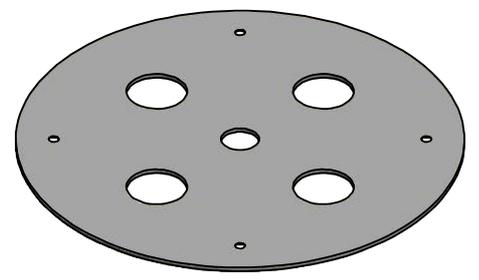
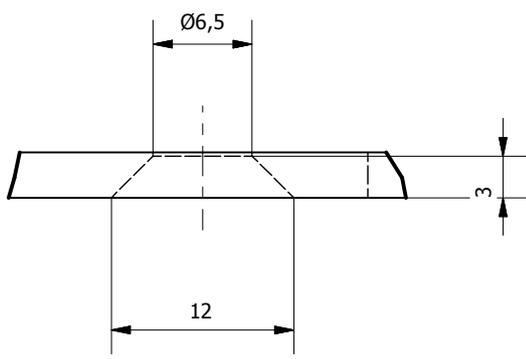
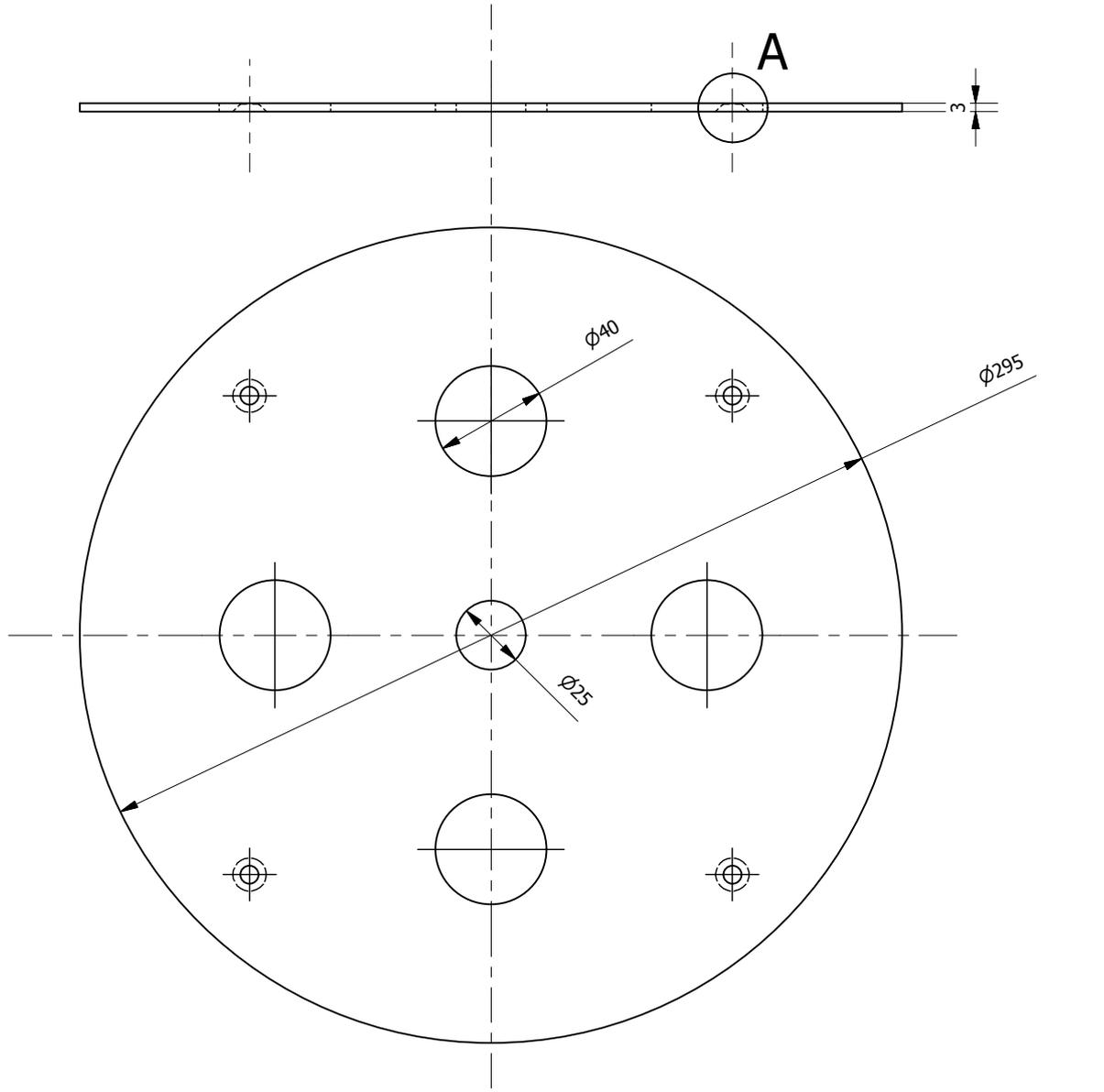
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø300x350mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>TANQUE DE ENSAYO</b>	<b>ESC: 1:5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.01.01	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0

A-A ( 1 : 1 )

N8



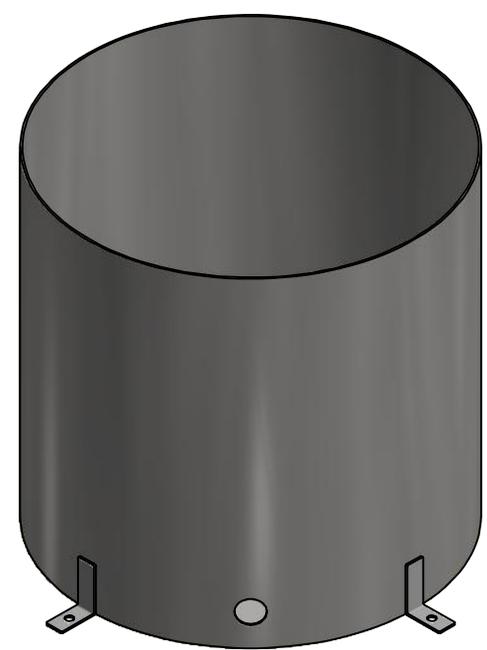
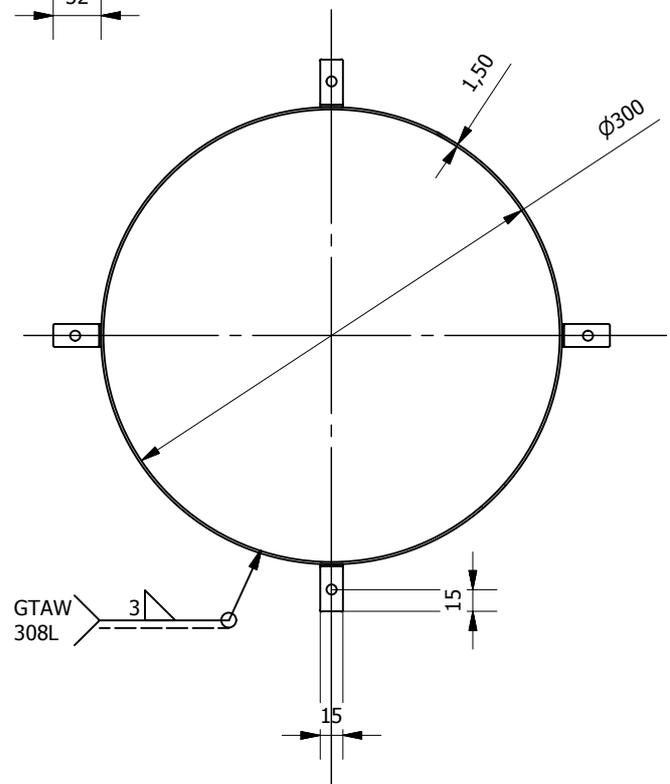
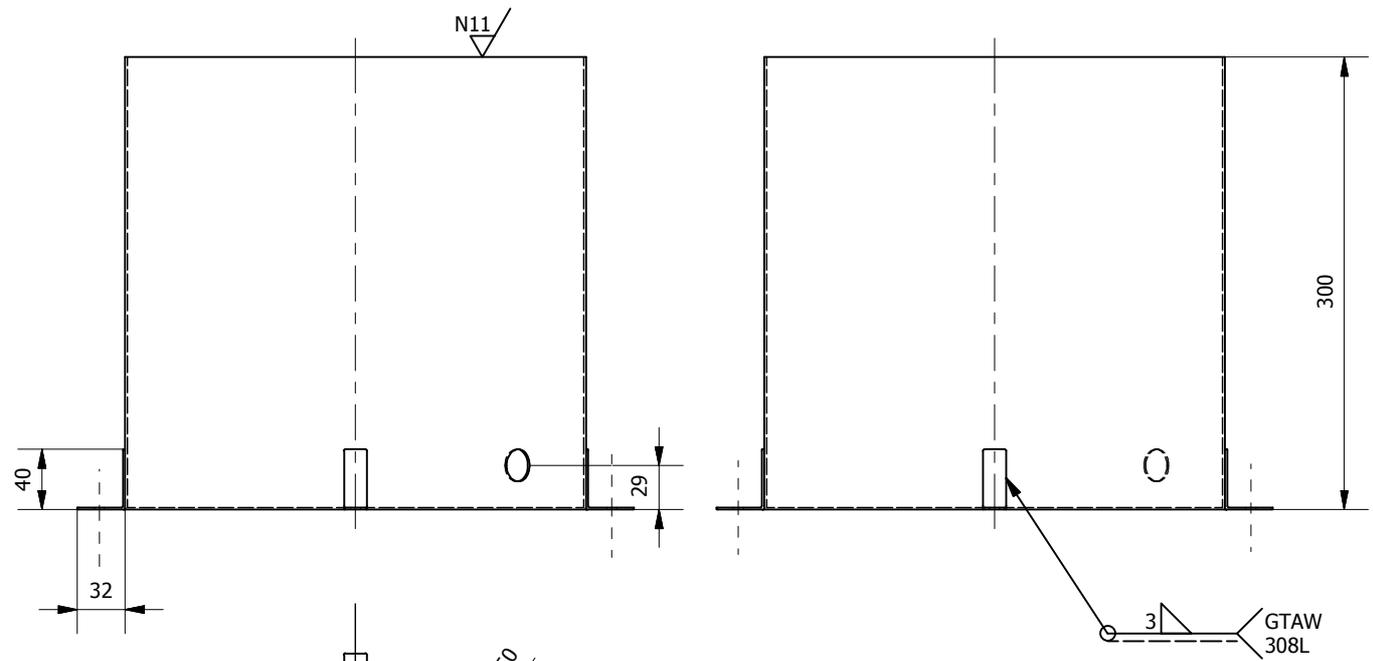
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø80x50
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b> Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>DISEÑADO:</b> Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>REVISADO:</b> Ing. Milton Jami	
<b>FILTRO</b>	<b>ESC: 1:1</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.01.02	<b>TOL. GNRL:</b> ±0.5



A ( 2 : 1 )

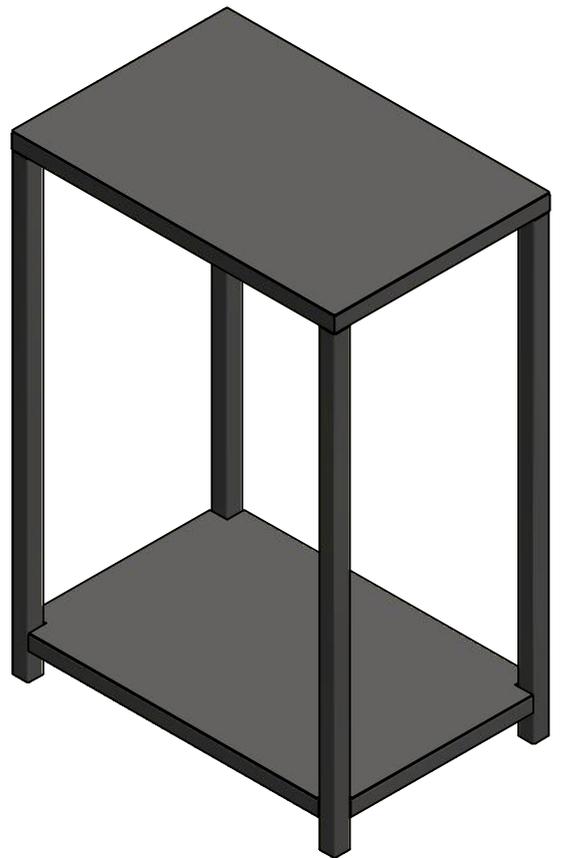
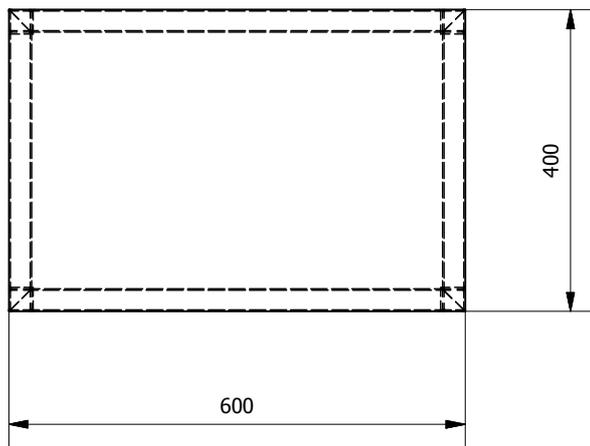
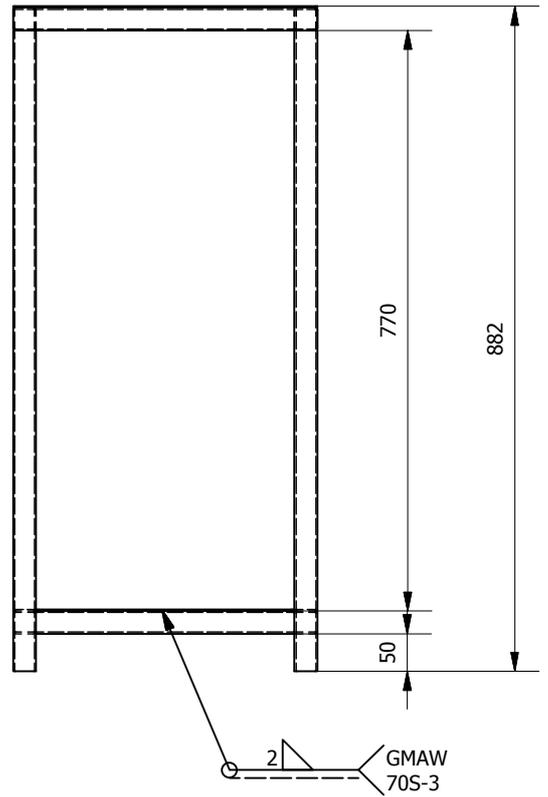
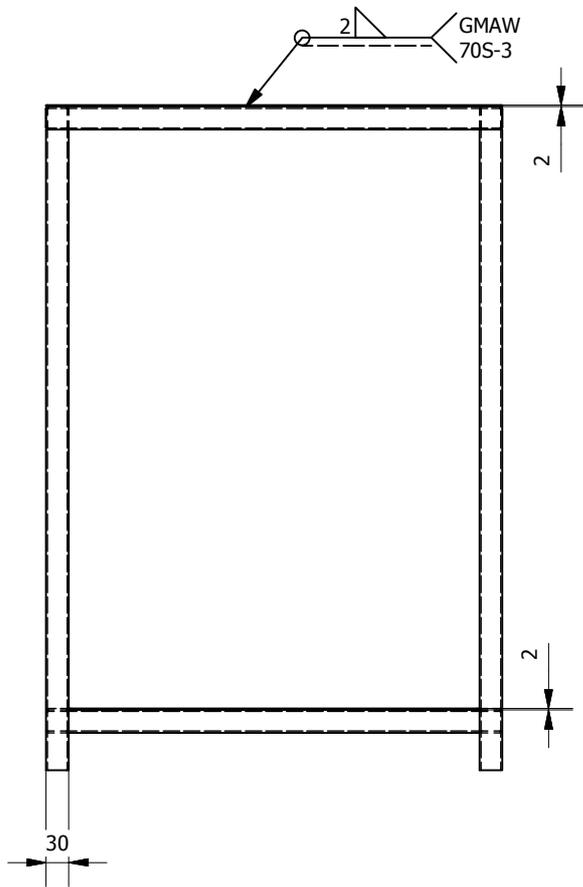
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> IASI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø295x3mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>PLACA DE CENTRADO</b>	<b>ESC: 1:2.5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.01.03	<b>TOL. GNRL:</b> ± 1.0

N11

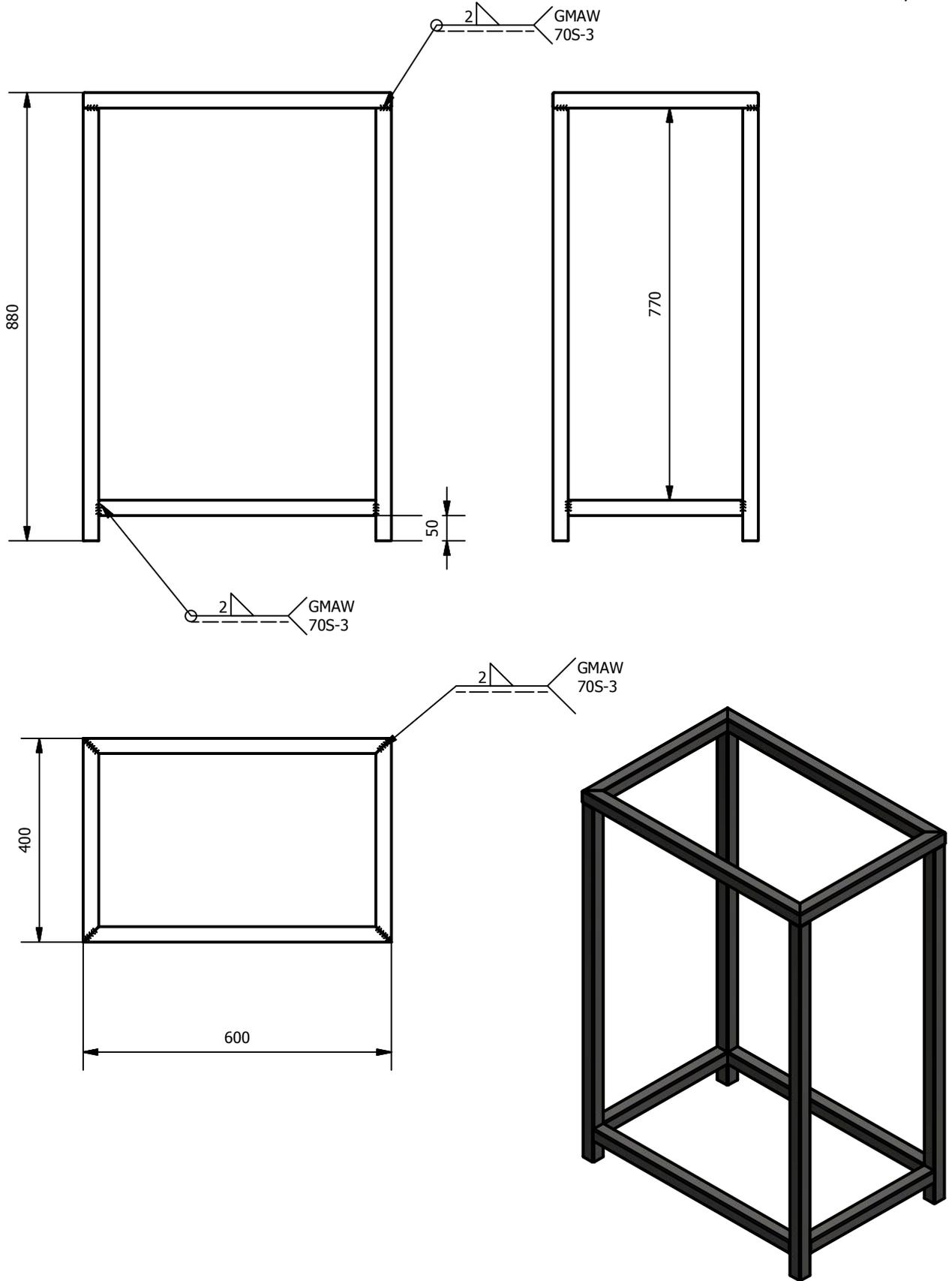


ESC: 1:6

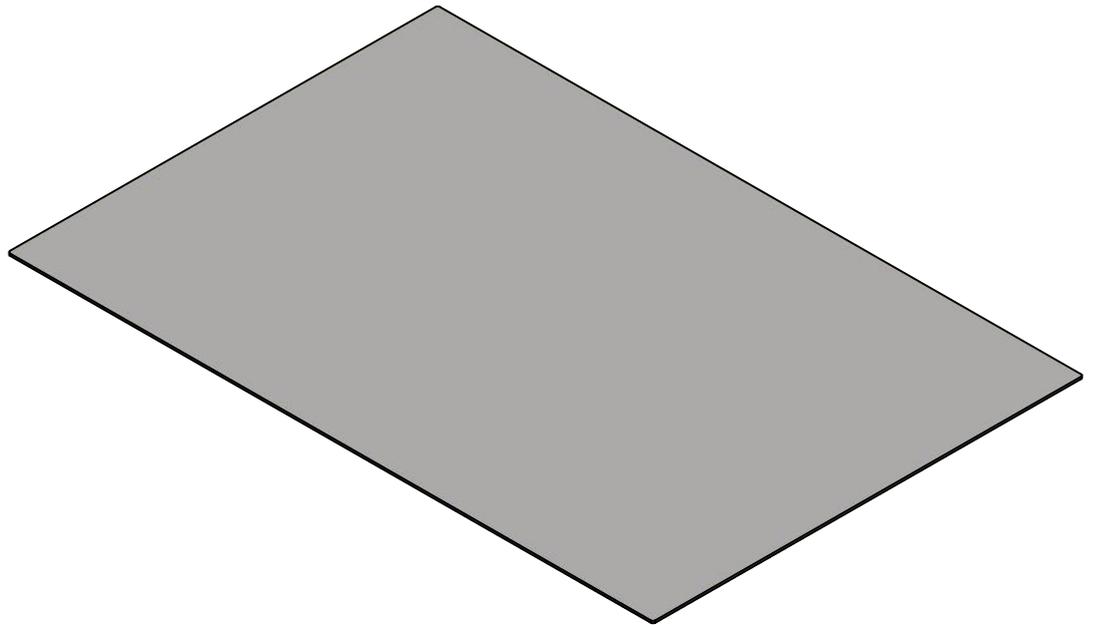
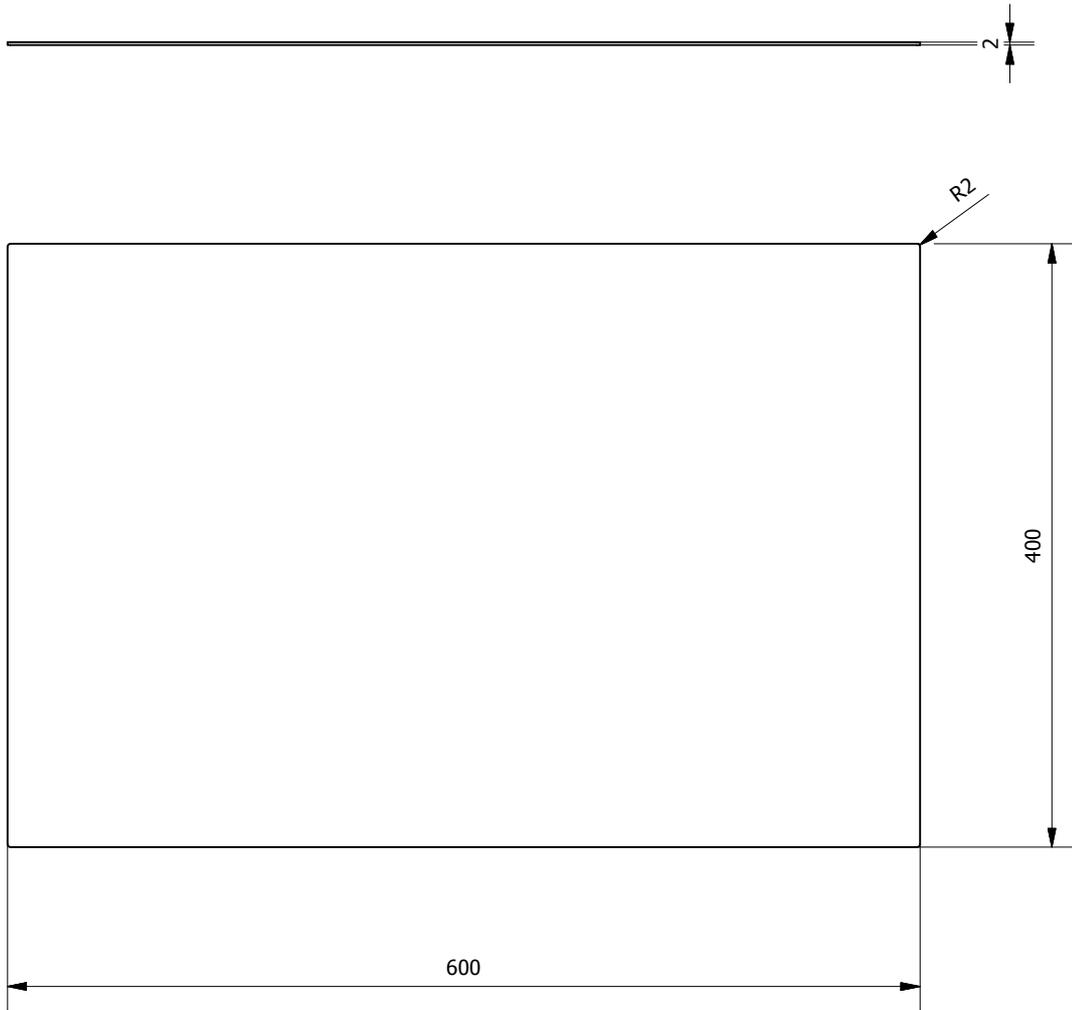
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø300X300
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>TANQUE RECERVORIO</b>	<b>ESC: 1:5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.02.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



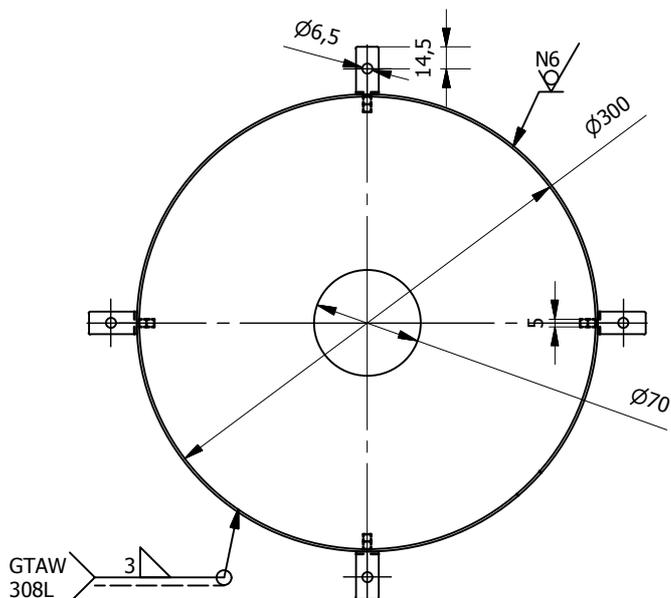
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 1018	<b>DIM. BRUTAS:</b> 932x600x400
RECUBRIMIENTO:	PINTURA ANTICORROSIVA		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha 18/02/2015
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha 18/02/2015
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>MESA</b>	<b>ESC: 1:10</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.03.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



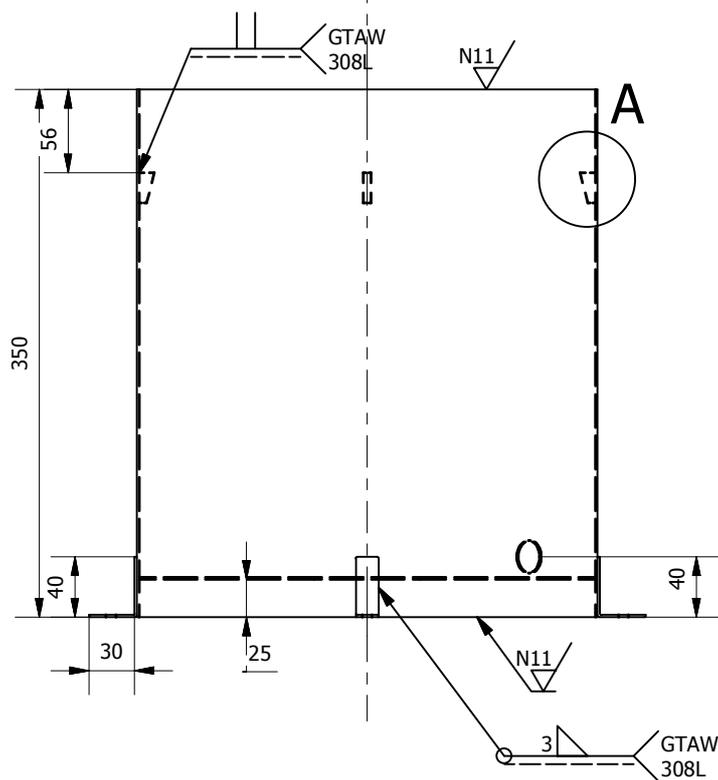
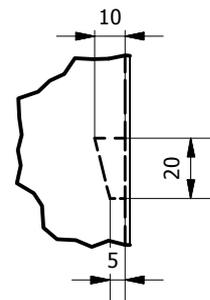
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 1018	<b>DIM. BRUTAS:</b> 932x600x400
RECUBRIMIENTO:	PINTURA ANTICORROSIVA		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha 18/02/2015
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha 18/02/2015
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>ESTRUCTURA MESA</b>	<b>ESC: 1:10</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.03.01	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



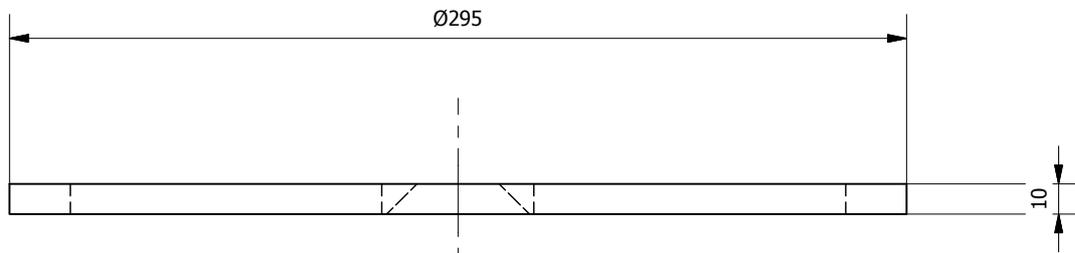
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b>		<b>DIM. BRUTAS:</b>
RECUBRIMIENTO:	PINTURA ANTICORROSIVA	A-36		400 x 600 mm
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami	
<b>PLACA SUPERIOR MESA</b>	<b>ESC: 1:5</b>	<b>CÓDIGO:</b>	<b>01.1316/3483.01.03.02</b>	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



A ( 1 : 2.5 )



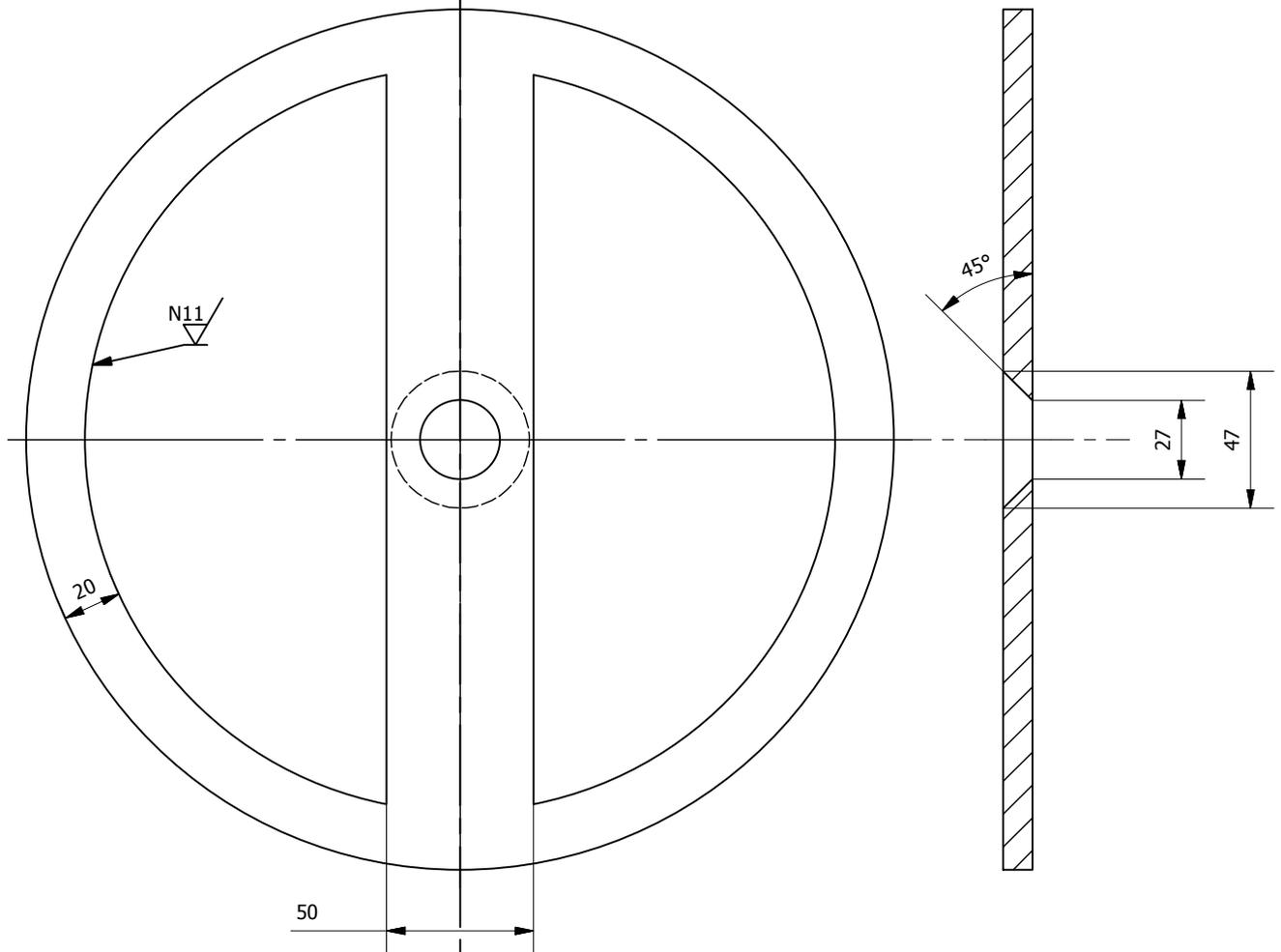
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø300x350mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>TANQUE DE ENSAYO</b>	<b>ESC: 1:5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.01.01	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0



N8

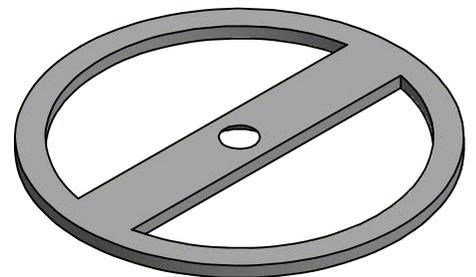
A →

A-A ( 1 : 2.5 )



50

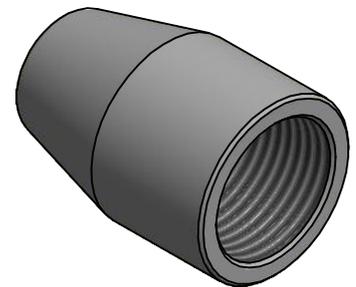
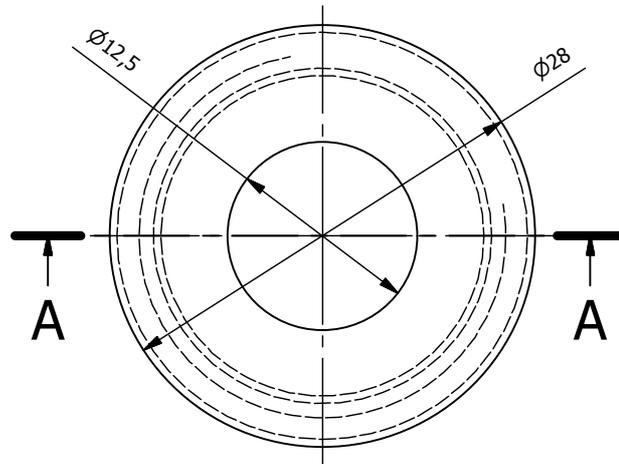
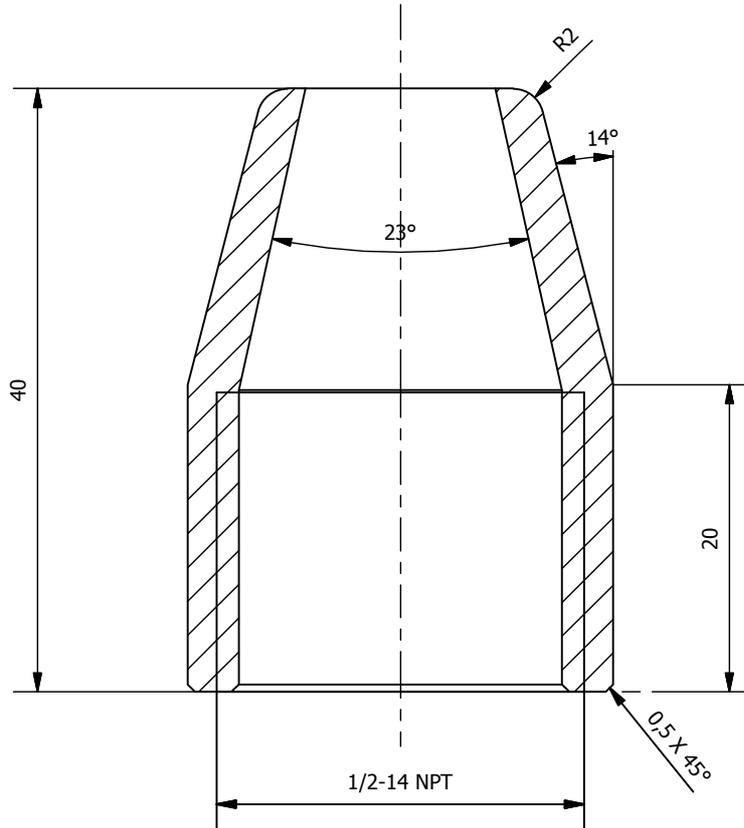
A →



ESC: 1:5

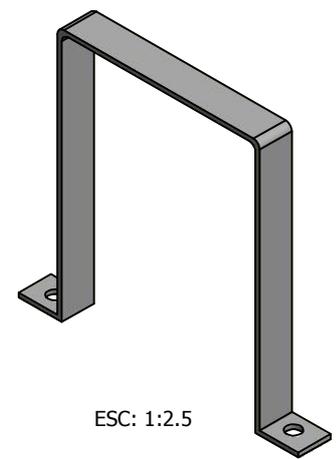
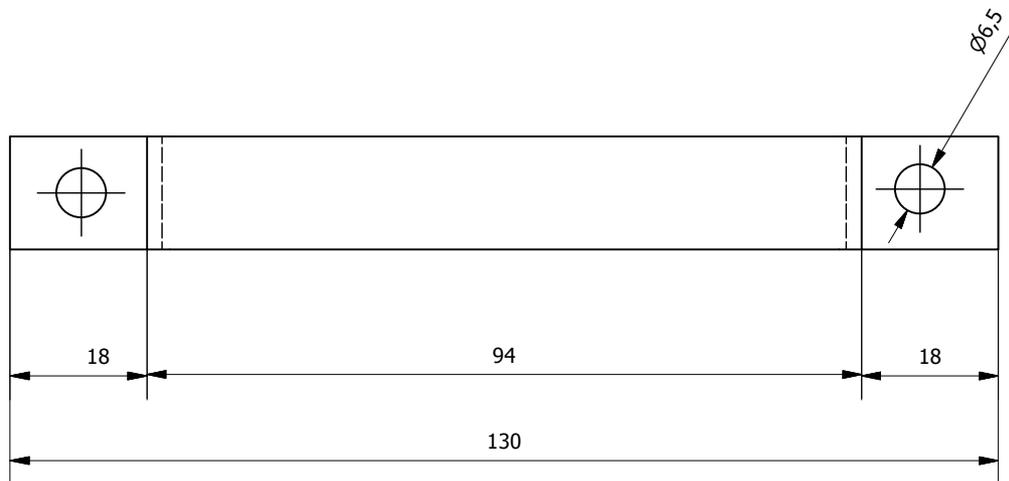
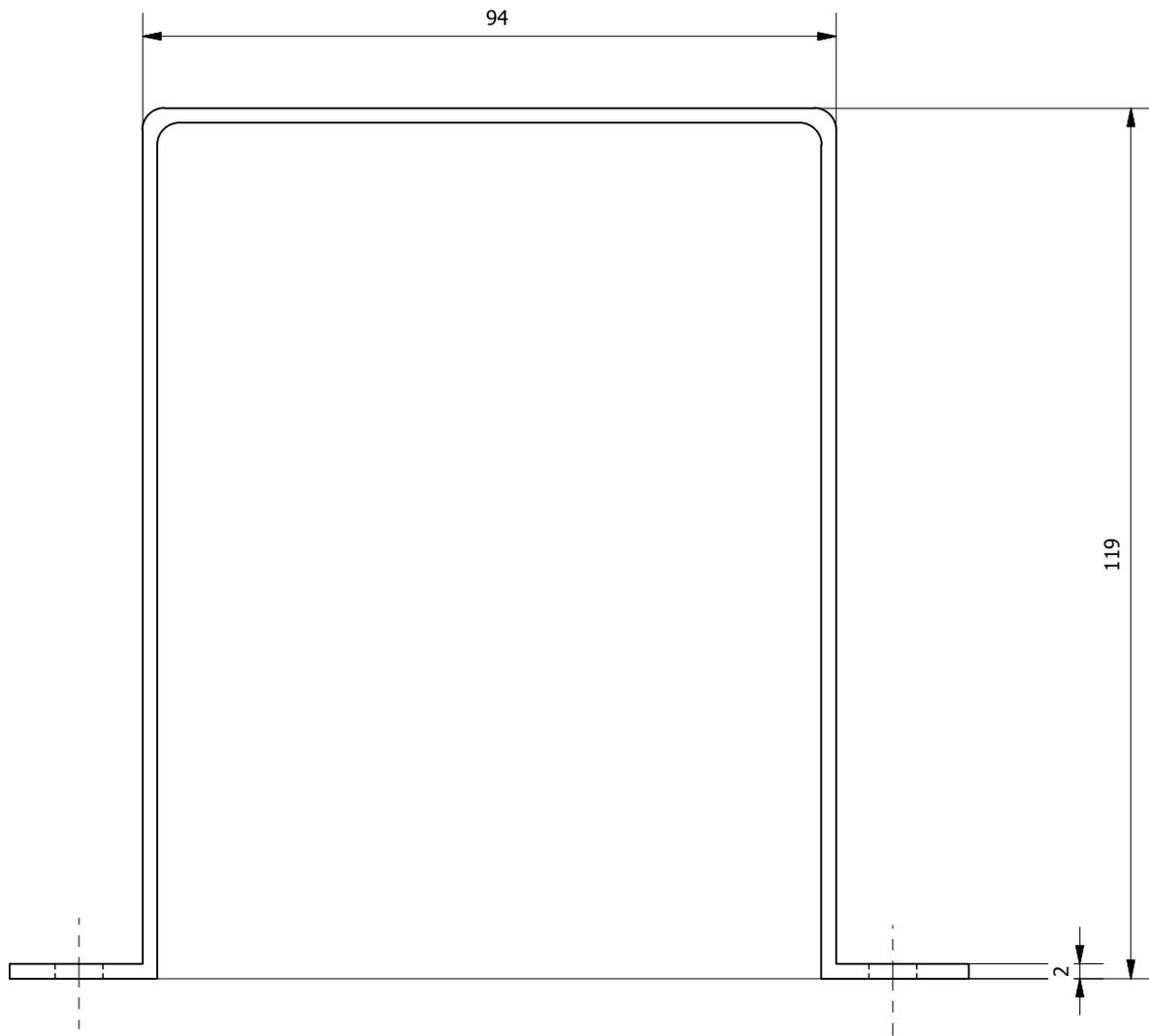
TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø295x10mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>PORTA PROBETAS</b>	<b>ESC: 1:2.5</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.04.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0

A-A ( 2 : 1 )



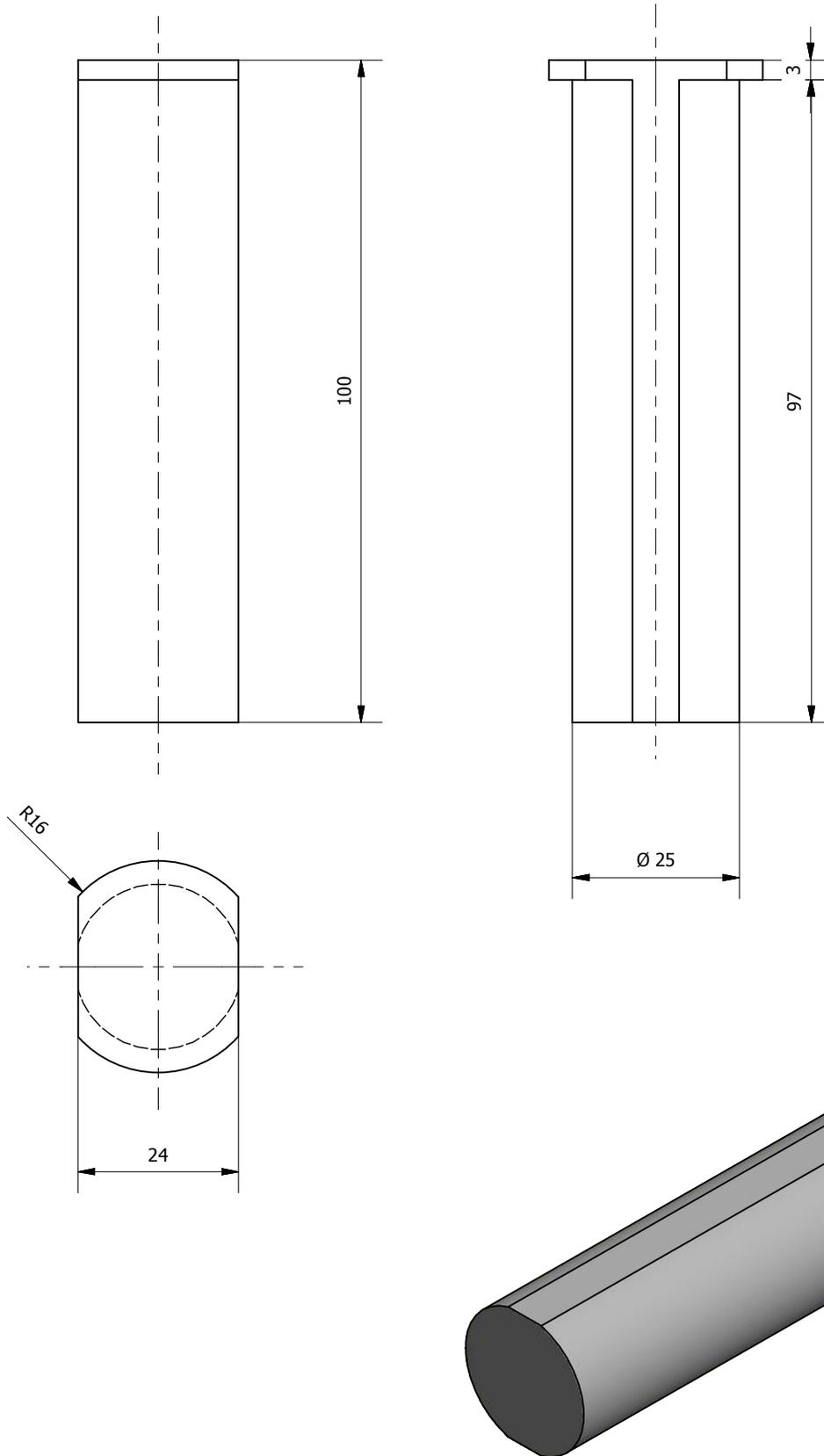
ESC: 1:1

TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 304	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø28X40
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b> Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>DISEÑADO:</b> Santiago Casco ; Andrés Sigcha	18/02/2015
		<b>REVISADO:</b> Ing. Milton Jami	
<b>TOBERA</b>	<b>ESC: 2:1</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.05.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±0.5



ESC: 1:2.5

TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> A-36	<b>DIM. BRUTAS:</b> 130X15X2
RECUBRIMIENTO:	PINTURA ANTICORROSIVA		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>ABRAZADERA BOMBA</b>	<b>ESC: 1:1</b>	<b>CÓDIGO:</b> 10.1316/3483.01.06.00	<b>TOL. GNRL:</b> ±1.0

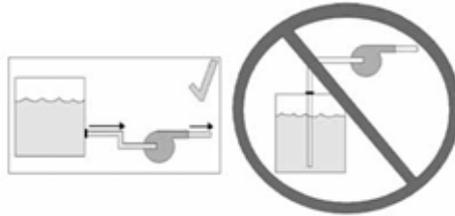


TRATAMIENTO TÉRMICO:	N/A	<b>MATERIAL:</b> AISI 4140, AISI4340, K460	<b>DIM. BRUTAS:</b> Ø250 x 100mm
RECUBRIMIENTO:	N/A		
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>UPS</b>	<b>DIBUJADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>DISEÑADO:</b>	Santiago Casco ; Andrés Sigcha
		<b>REVISADO:</b>	Ing. Milton Jami
<b>PROBETA</b>	<b>ESC: 1:1</b>	<b>CÓDIGO:</b> <b>10.1316/3483.01.06.00</b>	<b>TOL. GNRL:</b> ±0.5

**MANUAL DE OPERACIÓN,  
MANTENIMIENTO Y PRECAUCIONES  
DE SEGURIDAD**

## FUNCIONAMIENTO

La bomba está diseñada para funcionar en línea o sumergida como se muestra en la (Figura 1). Se pueden colocar en cualquier posición, pero preferiblemente la voluta debe estar ubicada al lado.



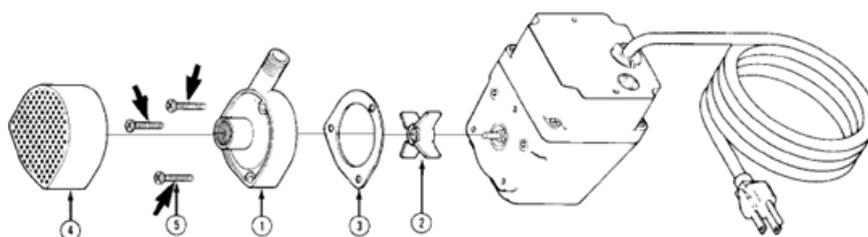
No permita que la unidad funcione en seco. Está diseñada para que la enfríen los líquidos bombeados. Si se permite que la bomba funcione en seco puede estropearse el obturador.

Si la unidad se mantiene sin funcionar por un periodo de tiempo largo se deberá seguir las instrucciones de funcionamiento y operación descritas a continuación.

## INSTRUCCIONES DE SERVICIO Y OPERACIÓN

La bomba se encuentra lubricada permanentemente. No se requiere de lubricación en ningún caso abra la parte de la unidad que está sellada o retire los tornillos de la caja.

La limpieza periódica de las piezas de la bomba prolongará la vida y eficiencia de la bomba, el desmontaje se deberá realizar en el orden que indica la figura 2.



Limpie ligeramente cualquier corrosión o residuo que pueda obstruir la rueda móvil.

De vuelta manualmente a la rueda móvil para verificar que gire libremente.

Cerciórese de que el cable eléctrico se encuentre en buen estado y no tenga muescas ni cortes.

Es necesario llenar las tuberías con el fluido a bombear para evitar que exista un golpe de ariete que pueda ir deteriorando la funcionalidad de la bomba en un futuro.

Para el correcto ensayo de templabilidad (ensayo Jominy) asegurarse que la medida del chorro libre sea de  $65 \pm 10$  mm según (UNE EN ISO), esto se puede conseguir mediante la regulación del caudal con la válvula de compuerta.

Comprobar que el nivel del fluido de reserva sea el adecuado, es decir que este cubriendo en la totalidad la línea de succión de la bomba para que esta no opere en seco.

No apoyar ningún objeto sobre la tubería, bomba, o accesorios, esto puede aflojar las uniones y producir Pérdidas en la línea de succión o descarga respectivamente.

Antes y después de realizar el ensayo Jominy asegurarse que no existan residuos o impurezas que puedan obstruir el correcto flujo del líquido del tanque ensayo al tanque reservorio.

Para mantener un correcto tiempo de vida útil de la bomba no mantener encendida la bomba mientras está cerrada la válvula de paso ( o bola ) durante mucho tiempo, de ser posible apagarla al mismo momento que transcurrieron los 10 min del ensayo.

Antes de realizar el ensayo se debe asegurar que el porta probetas este completamente seco antes de colocar la probeta a templar.

## **PRECAUCIONES DE SEGURIDAD**

Cerciorarse de que la unidad se encuentra desconectada de la fuente de electricidad antes de tratar de reparar o quitar cualquier pieza.

No utilizar la bomba para bombear líquidos combustibles o explosivos, tales como gasolina, petróleo combustible, kerosene, etc.

Consultar el rótulo de la bomba para conocer el voltaje adecuado que requiere. No conectar a un voltaje distinto de indicado.

Utilizar el EPP necesario para la transportación de la probeta del horno a la máquina de ensayo.