



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

***Diseño y Construcción de un Banco de pruebas Jominy en el
Laboratorio de Metalurgia y Tratamientos Térmicos en la Universidad
del Azuay***

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniería en
Mecánica Automotriz**

Autores:
Martín Rivera Pesantez
Daniel Vega Salgado

Director:
Ing. Hernán Viteri

Cuenca, Ecuador

2009

DEDICATORIA

A mi familia y a su incondicional apoyo que supo darme durante el transcurso de mi carrera universitaria; a mi padre que a pesar de la distancia siempre veló por la culminación de mis metas y propósitos, a mi madre por su gran comprensión y dedicación y a mis hermanos que son grandes amigos así como consejeros.

Martin R.

Al Padre Universal, centro de todas las cosas y todos los seres. A mis padres, a mi esposa e hijo quienes forman parte de mí y de mis logros.

Daniel V.

AGRADECIMIENTO

Al personal que labora en el Taller de la escuela de Ing. Mecánica Automotriz Ing. Ángel Jácome; Tecnólogo. Luís Tapia; e Ing. Aníbal Jiménez; gracias a su desinteresada colaboración para realizar los ensayos y trabajos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Especiales agradecimientos al Ing. Mario Pastor; profesor y director del Laboratorio de Metalurgia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”, así como también al Ing. Hernán Viteri por su acertada conducción de este trabajo de graduación.

RESUMEN

Con el presente Trabajo de Graduación se ha conseguido implementar la máquina Jominy en el laboratorio de metalurgia y tratamientos térmicos de la Universidad del Azuay. Éste equipo se construyó de acuerdo a los lineamientos que exige la norma pertinente, por lo que, las pruebas realizadas en dicha máquina están respaldadas por la misma. Las curvas de templabilidad de los dos tipos de acero que se obtuvieron en esta investigación son el resultado de la aplicación del ensayo Jominy, estos datos muestran la diferencia entre la propiedad de dureza que posee los aceros de comercialización local y la dureza que especifican las normas internacionales.

ABSTRACT

The development of the present work implemented a Jominy machine at the Thermal Treatments and Metallurgy Laboratory, Universidad del Azuay. This equipment was built according with the guidelines of the official norm. The hardness curves achieved from two different types of steel are the result of the application of this assay. The data collected show the differences between the hardness properties of steel from local markets and the standards of international norms.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Figuras y Cuadros.....	ix
Índice de Anexos	xi
Introducción.....	1

Capítulo I: TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO

1.1 Introducción.....	2
1.2 Arreglos Atómicos.....	3
1.2.1 Redes.....	3
1.2.2 Celdas Unitarias.....	3
1.2.3 Estructuras cristalinas.....	4
1.3 Transformaciones Alotrópicas y Polimorfías.....	4
1.4 Crecimiento del Grano.....	5
1.5 Fases Eutécticas.....	5
1.6 Reacciones Eutectoides, Peritéticas y Peritectoides.....	7
1.7 Diagramas de Fases.....	7
1.7.1 Diagrama de Equilibrio Hierro-Carbono.....	8
1.7.2 Porción Eutectoide del Diagrama de fase Hierro – Carbono.....	9
1.7.3 Diagrama Tiempo – Temperatura – Transformación.....	11
1.8 Tratamientos Térmicos del Acero.....	12
1.8.1 Factores que regulan los Tratamientos Térmicos.....	13
1.8.2 Clasificación de los Tratamientos Térmicos.....	14
1.8.2.1 Temple.....	14

1.8.2.1.1 Penetración de temple o Templabilidad.....	15
1.8.2.1.2 Microestructura obtenida en el temple.....	16
1.8.2.1.3 Factores que intervienen en el temple del acero.....	17
1.9 Dureza del Material.....	20
1.9.1 Medidas de Dureza.....	20
1.9.2 Ventajas del ensayo Rockwell frente al Brinell.....	21
1.10 Aplicaciones de la Templabilidad.....	22
1.11 Conclusiones.....	23

Capítulo II: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA MAQUINA JOMINY.

2.1 Introducción al diseño de la Máquina Jominy.....	25
2.2 Funcionamiento de la Máquina Jominy.....	26
2.2.1 Parámetros a considerar.....	26
2.2.2 Circuito de Trabajo.....	26
2.2.3 Circuito de descarga.....	27
2.2.4 Circuito de Alimentación.....	28
2.2.5 Elección Previa de los tanques porta probetas y de alimentación.....	29
2.3 Calculo del volumen de los tanques de alimentación y porta probeta.....	31
2.4 Estructura para la Máquina Jominy.....	32
2.4.1 Depósito principal.....	32
2.4.2 Diseño de la boquilla.....	32
2.4.3 Selección de la tubería.....	34
2.5 Cálculos de Funcionamiento.....	35
2.5.1 Cálculo de velocidad de salida sin perdidas de presión originada por la circulación del fluido en el circuito de trabajo	35
2.5.1.1 Cálculo de la velocidad de salida considerando pérdidas de presión originada por la circulación del fluido en el circuito de trabajo	37
2.5.1.2 Calculo de la altura del fluido.....	39
2.5.2 Selección de la bomba de alimentación.....	39
2.6 Conclusiones.....	40

Capítulo III: PRUEBAS Y ENSAYOS

3.1 Introducción.....	41
3.2 Factores que intervienen en el ensayo Jominy.....	41
3.2.1 Selección del material.....	41
3.2.2 Temperatura de Austenización.....	43
3.3 Operación de temple.....	43
3.4 Microestructura de la probeta en el ensayo Jominy	44
3.5 Informe general del proceso.....	49
3.5.1 Mecanizado de la probeta.....	51
3.5.2 Prueba de dureza.....	52
3.6 Curvas Jominy.....	54
3.6.1 Interpretación de la curva para un acero AISI1040.....	54
3.6.2 Interpretación de la curva para un acero AISI1040.....	55
3.7 Aplicación del Ensayo Jominy.....	56
3.7.1 Problema Tipo.....	56
3.7.2.- Solución.....	57
3.8 Conclusiones.....	58
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 59
 BIBLIOGRAFIA.....	 61
 ANEXOS.....	 63

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Cuadro 1. Catorce Tipos de Redes de Bravais agrupados en 7 Sistemas Cristalinos.....	3
Cuadro 2. Coeficiente H, Severidad de Temple para diversos medios de enfriamiento.....	19
Cuadro 3. Medidas nominales para la tubería de 3/4.....	34
Cuadro 4. Composición química de los aceros AISI_SAE 1041,4140.....	42
Cuadro 5. Medidas de dureza obtenidas en la operación de temple.....	53
 Figura 1. Transformación Alotrópica de sólidos sufrida por cambios en la temperatura.....	5
Figura 2. Reacciones de tres fases.....	6
Figura 3. Diagrama de la reacción eutectoide.....	7
Figura 4. Diagrama de equilibrio Hierro – Carbono.....	9
Figura 5. Porción Eutectoide del diagrama de fase Hierro Carbono.....	10
Figura 6. Cambios sufridos en la microestructura causados por alteraciones en la temperatura para un acero con 0.6% de Carbono.....	11
Figura 7. Diagrama de Transformación-Tiempo-temperatura (TTT) para un Acero Eutectoide.....	12
Figura 8. Etapas del Tratamiento Térmico.....	14
Figura 9. a. Celda unitaria para la martensita b. efecto del porcentaje de carbono en dimensiones de la red de la martensita.....	16
Figura 10. Dureza de la martensita como una función del contenido de Carbono...	17
Figura 11. Muestra de ensayo de la capacidad de endurecimiento por templado de la punta en el momento de ser templada	23
Figura 12. Representación del chorro de agua.....	25
Figura 13. Circuito de Trabajo.....	27
Figura 14. Circuito de Descarga.....	28
Figura 15. Circuito de Alimentación.....	29
Figura 16. Depósitos para tanque de alimentación y tanque porta probetas.....	30

Figura 17: Representación de cotas de la Boquilla.....	33
Figura 18. Detalle de la sección A-A.....	35
Figura 19. Tuberías acotadas de la Máquina Jominy.....	37
Figura 20. Curva Jominy real para un acero AISI 1040.....	42
Figura 21. Curva Jominy real para un acero AISI 4140.....	43
Figura 22. Diagrama de Transformación-Enfriamiento Continuo para un Acero 8630.....	45
Figura 23. Discretización de la probeta para el ensayo Jominy con una malla de 40 x 10 elementos.....	47
Figura 24. Evolución de la temperatura en el tiempo: 5, 30, 55, 80, 105, 130 y 155 segundos.....	48
Figura 25. Evolución de la fracción de Martensita en el tiempo: 5, 30, 55, 80, 105, 130 y 155 segundos.....	49
Figura 26. Destaje para soporte en la probeta.....	50
Figura 27. Mecanizado de la probeta para el ensayo de dureza.....	51
Figura 28. Esquema de la probeta preparada para el ensayo de Dureza.....	52
Figura 29. Curva Jominy para un acero 1040 de nuestro medio.....	55
Figura 30 Curva Jominy para un acero 4140 de nuestro medio.....	56
Figura 31. Curvas de templabilidad Jominy para aceros AISI 1041 y 4140.....	57

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Temperaturas de temple para diferentes aceros.....	63
ANEXO 2: Norma Jominy	65
ANEXO 3: Planos:	70
Lamina 1: Sistema hidráulico de la Máquina Jominy	71
Lamina 2: Cilindros utilizados como tanques de alimentación y porta-probeta.....	72
Lamina 3: Estructura y disposición de elementos del Ensayo Jominy.....	73
Lamina 4: Boquilla con reducción de $\frac{3}{4}$ plg a $\frac{1}{2}$ plg.	74
Lamina 5: Proceso de trabajo para el mecanizado de la boquilla.....	75
Lamina 6: Probeta normalizada de 1plg de diámetro.....	76
Lamina 7: Proceso de trabajo para la construcción de la probeta.	77
ANEXO 4: Coeficientes de pérdida.....	78
ANEXO 5: Dimensiones de tubos de acero.....	79
ANEXO 6: Tabla de conversión de dureza según Rockwell c. dureza Brinell.....	80
ANEXO 7: Hoja de registro para la toma de datos en el ensayo Jominy.....	81

Cesar Martín Rivera Pesantez.

Santiago Daniel Vega Salgado.

Director: Hernán Viteri.

Noviembre del 2009

**Diseño y Construcción de un Banco de pruebas Jominy en el Laboratorio de
Metalurgia y Tratamientos Térmicos en la Universidad del Azuay**

INTRODUCCION

La implementación de la máquina Jominy en el laboratorio de Metalurgia y Tratamientos Térmicos de la Universidad del Azuay, responde al deseo de optimizar el equipamiento que posee el laboratorio en la actualidad con el fin de brindar a los estudiantes la posibilidad de realizar las prácticas concernientes al tratamiento térmico del acero y, de esta manera reforzar la teoría aprendida en las aulas. Tanto, la construcción de la máquina, como los ensayos realizados en la misma tienen validez científica ya que fueron elaborados bajo parámetros establecidos por la norma vigente otorgada por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

La obtención de la curva de templabilidad en un acero de consumo local mediante el ensayo Jominy tendrá por objeto comparar la curva obtenida del ensayo con la curva establecida internacionalmente.

En el primer capítulo de éste trabajo de graduación se estudia al acero en su estructura molecular, composición y como se desarrolla el tratamiento térmico de temple; también se profundiza en los aspectos necesarios para llevar a cabo el ensayo Jominy. El diseño, construcción y funcionamiento de la máquina se trata en el segundo capítulo tomando como referencia las condiciones establecidas por la norma ASTM A-255-67. Dentro del tercer capítulo se detalla el procedimiento del ensayo, se describen los resultados de las pruebas realizadas con dos tipos de aceros y se determinan las conclusiones.

CAPITULO I

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO

1.1 Introducción

Todos los materiales y específicamente los metales junto con sus aleaciones poseen arreglos a niveles atómicos y de microestructuras por lo que se les conoce con el nombre de cuerpos cristalinos, los defectos de los materiales en los arreglos atómicos tales como dislocaciones, tamaño de grano y naturaleza de los enlaces atómicos; inciden en las propiedades mecánicas de los metales así como en el comportamiento de los mismos frente a los diversos tipos de esfuerzos.

Si se aprende a manipular adecuadamente los diversos métodos que existen para controlar la estructura y las propiedades mecánicas en los metales y sus aleaciones se permitirá perfeccionar en la fabricación de elementos más resistentes que demandan hoy en día los procesos tecnológicos. El estudio de las propiedades de los aceros sirve fundamente para solucionar problemas técnicos presentes en el desempeño de tareas a los que se someten las piezas construidas para soportar grandes ciclos de trabajo.

El carbono es el elemento fundamental en la constitución y modificación de los aceros ya que es su aleante más importante; además modifica las diversas estructuras cristalinas, efecto que se ve reflejado en el diagrama de constitución o de equilibrio hierro-carbono que sirve como guía para la correcta interpretación de las estructuras microscópicas. El diagrama hierro-carbono se limita al equilibrio de componentes puros, sin indicar la influencia de las impurezas y de los elementos aleantes, excepto del carbono como principal en la fusión. No obstante, proporciona una base sobre la que se pueden clasificar todos los microconstituyentes del acero y, para fines prácticos, se representa por medio de un grafico de temperaturas que comprenderá,

en forma general, el efecto del tratamiento térmico sobre los componentes estructurales y, a través de estos, sobre las propiedades mecánicas del acero, específicamente, la dureza, propiedad que se obtiene en el temple del acero.

1.2 Arreglos atómicos

1.2.1. Redes.- Una red se puede definir como una serie de puntos conocidos como puntos de red, los que están ordenados en un patrón periódico de tal manera que los alrededores de cada punto de la red son iguales entre si. Una red podrá ser unidimensional, bidimensional o tridimensional.

1.2.2 Celdas unitarias.- Una Celda Unitaria se define como “una subdivisión de una red que sigue conservando las características generales de toda la red”.¹

Existen siete arreglos únicos llamados sistemas cristalinos: cúbico, tetragonal, ortorrómbico, romboédrico, hexagonal, monoclinico y triclínico. De estos se derivan un total de catorce arreglos distintos de puntos de red denominados redes de Bravais, tal como se muestra en el Cuadro 1:

Sistema	Tipo de Red de Bravais
Cúbico	Simple, centrada en las caras, centrada en el cuerpo
Tetragonal	Simple, centrada en el cuerpo
Ortorrómbico	Simple, centrada en las caras, centrada en el cuerpo, centrada en las bases
Monoclinico	Simple, centrada en las bases
Hexagonal	Simple
Romboédrico	Simple
Triclínico	Simple

Cuadro 1. Catorce Tipos de Redes de Bravais agrupados en 7 Sistemas Cristalinos

Fuente: Autores

¹ Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Capítulo 3, pág. 76

1.2.3 Estructura Cristalina.- Está formada por uno o más átomos ubicados de forma determinada entre sí, y en asociación con cada punto de red, al que se denomina base. Una estructura cristalina se obtiene al sumar la red y la base.

1.3 Transformaciones Alotrópicas o Polimorfias.

La alotropía es el término que se utiliza para describir a elementos puros y se define como la propiedad que poseen ciertos cuerpos como el carbono y el fósforo al presentarse en diversos estados con propiedades físicamente diferentes. El polimorfismo, por el contrario, se reserva para nombrar a elementos compuestos y se define como la propiedad de un cuerpo que puede cambiar su morfología sin variar su naturaleza.

Estas transformaciones repercuten en el tipo de microestructura y propiedades de los materiales. Durante la variación de la temperatura, se evidencia cambios en el volumen de los materiales, es decir que los ordenamientos cristalinos de un material ya sea éste CS (Cúbico Simple), FCC (Cúbico Centrado en la Cara) o BCC (Cúbica Centrada en el Cuerpo) sufren alteraciones. En estas transformaciones se fundamentan básicamente los tratamientos térmicos que se realizan a los materiales.

“Un ejemplo muy claro de una transformación alotrópica es la del hierro que a temperatura ambiente tiene una estructura BCC, pero a mayores temperaturas se transforma en una estructura FCC”².

En la Figura 1 se presenta una transformación alotrópica en la que se pueden distinguir los sólidos en estado puro y sus aleaciones a medida que varía la temperatura, también se puede separar la solución sólida $L + \alpha$ llamada gama ubicándose dentro de un denominado lazo, a su vez, tanto el metal puro como las aleaciones sufren cambios o transformaciones alotrópicas a lo largo de A.

² Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Capítulo 3, pág. 84

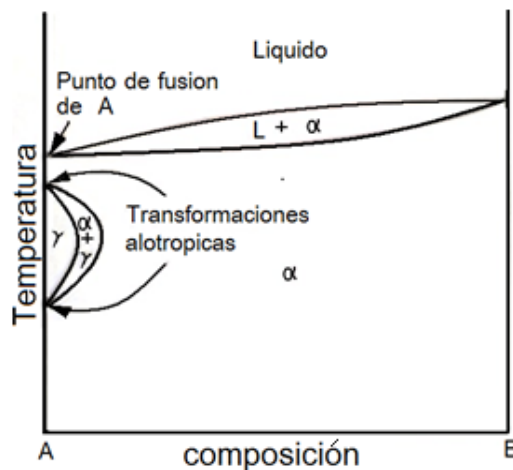


Figura 1. Transformación Alotrópica de sólidos sufrida por cambios en la temperatura.

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física. Segunda edición. Sydney H. Avner. Cap. 6. Pág. 23

1.4 Crecimiento de Grano.

El crecimiento de grano dentro de un metal depende del proceso desarrollado por el intercambio de superficies de contorno entre dos granos y por la absorción progresiva de los átomos de uno por el otro. Como todo proceso está regulado por la difusión, al aumentar la temperatura, aumentará también la difusión, y por tanto, no solo el grano crecerá más, sino que lo hará más rápido. Además de la temperatura de calentamiento y la fuerza inductora necesaria para la transformación, denominada fuerza de crecimiento, también influyen en el crecimiento la presencia de particulares tales como: impurezas, inclusiones, esfuerzos residuales, etc. Todos estos factores, ejercen obstrucciones y obstaculizan la emigración de contornos de los granos.

1.5 Fases Eutécticas.

Las fases eutécticas son el resultado de una solubilidad dispareja en la aleación de un material sobre otro a consecuencia del excesivo enfriamiento en uno de los materiales ya sea matriz o aleante, debido a éste proceso se crea una frontera entre ellos, formando diferentes microestructuras, así, se confieren propiedades como dureza, ductilidad, tenacidad, etc. para cada una de las fases. En el caso de los

materiales metálicos, la frontera creada entre las microestructuras tendrá un diferente ordenamiento atómico que interfiere con propiedades como dislocaciones y endurecimiento.

Dependiendo de factores como: las cantidades de material tanto soluble como matriz, temperaturas de calentamiento y enfriamiento, temperaturas de solidificación, etc. varia el número de fases producidas, resultando diagramas de una, dos y tres fases en un mismo tratamiento a diferentes temperaturas. En el proceso de calentamiento, la temperatura del material se eleva hasta llevar al mismo al estado líquido. Luego, durante el enfriamiento, se forman sólidos con diferentes microestructuras, a esto se le llama reacción eutética. En la Figura 2. Se puede distinguir los principales tipos de reacciones de tres fases para los que cambian el ordenamiento en las fases creadas por las temperaturas y los compuestos que varían en su posición y en su tipo.

Eutética	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritética	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
Monotética	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	
Eutectoide	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
Peritectoide	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

Figura 2.Reacciones de tres fases.

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Cap.10, pág. 458

1.6 Reacciones Eutectoides, Peritéticas y Peritectoides.

A diferencia de las fases eutécticas, las reacciones eutectoides y peritectoides se forman con el material en estado sólido siendo esta la base para los tratamientos térmicos, esencialmente de los aceros. Como se muestra en Figura 3 las reacciones eutectoides se obtienen de dos sólidos diferentes en su microestructura a partir de uno solo luego de ser calentado sobre la temperatura eutéctica; pudiendo darse un fenómeno reversible llamado alotropía bajo el cual ciertos metales pueden obtener más de una estructura cristalina. En las reacciones peritéticas y peritectoides dos fases se transforman en una sola durante el proceso de enfriamiento, el mismo que tiene lugar a muy baja velocidad, con lo que, se obtienen microestructuras no deseables para propósitos en la mejora de propiedades de los materiales.

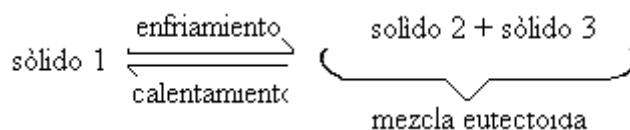


Figura 3. Diagrama de la reacción eutectoide

Fuente: Autores

1.7 Diagramas de Fases.

Los diagramas son una representación gráfica indispensable para estudiar y comparar los cambios que se presentan en los diferentes materiales y sus aleaciones, basados en su composición, temperatura y presión. En el análisis de un diagrama de fase, cuando éste se encuentra en equilibrio se debe separar cada uno de los compuestos creados a partir de los cambios presentes. En el diagrama de fases es esencial poder distinguir el entorno bajo el cual se presentan las fases a estudiar y las condiciones que interfieren en los cambios de las mismas.

La cantidad de diagramas creados por los diferentes factores que pueden existir tales como: temperatura, presión, elementos aleantes, porcentajes en las aleaciones, etc.,

son extensos, pero se enfatizarán las fases de aleaciones binarias a partir del acero a temperatura de austenización (desde 700 hasta 820°C) dependiendo del porcentaje de carbono como elemento aleante o base del acero

1.7.1 Diagrama de equilibrio Hierro-Carbono.- Para el análisis del diagrama hierro-carbono, es común dividirlo en dos grupos: las aleaciones que contienen menos del 2,11 % de carbono, conocidas como aceros, y las que contienen más del 2,11 % de carbono, conocidas como hierro fundido. Dentro de los aceros, a su vez se pueden reconocer dos grupos: el primero los que contienen desde 0,008 % hasta 0,77 % de carbono, denominados hipoeutectoides, y el segundo grupo, los que contiene desde 0,77 hasta 2,11 % de carbono, denominados hipereutectoides.

En la Figura 4 se muestran las condiciones de equilibrio, es decir, el carbono y el hierro tienen el suficiente tiempo para distribuirse así mismo (difusión) y formar fases en equilibrio. El diagrama de equilibrio Fe-C se verá afectado por factores como: la presencia de elementos aleantes o retardadores del proceso de difusión y tratamientos térmicos como el temple, que se realizan para prevenir la formación de estructuras en equilibrio. Entre los principales constituyentes de los aceros tenemos:

- Cementita, carburo de hierro, Fe_3C (6.67 % de carbono), posee alta dureza y fragilidad de estructura cristalina ortorrómbica.
- Ferrita “ α ” hierro BCC para temperaturas desde 725°C, contiene poco carbono disuelto (0.08 % de carbono)
- Austenita o solución sólida “ γ ” es un cristal FCC que empieza a aparecer desde los 1448 °C, con 2 % de carbono hace posible una gran variedad de tratamientos.
- Perlita, una mezcla laminar de ferrita y cementita con 0.77 % de carbono que empieza a formarse desde los 727°C.

En el diagrama Fe-C se distingue con claridad cuáles son los compuestos creados a partir de variaciones en temperatura y cantidad de aleante del hierro (carbono de hasta 6.67 %), se aprecia también cada uno de sus constituyentes y la formación de diferentes sólidos derivados de su matriz.

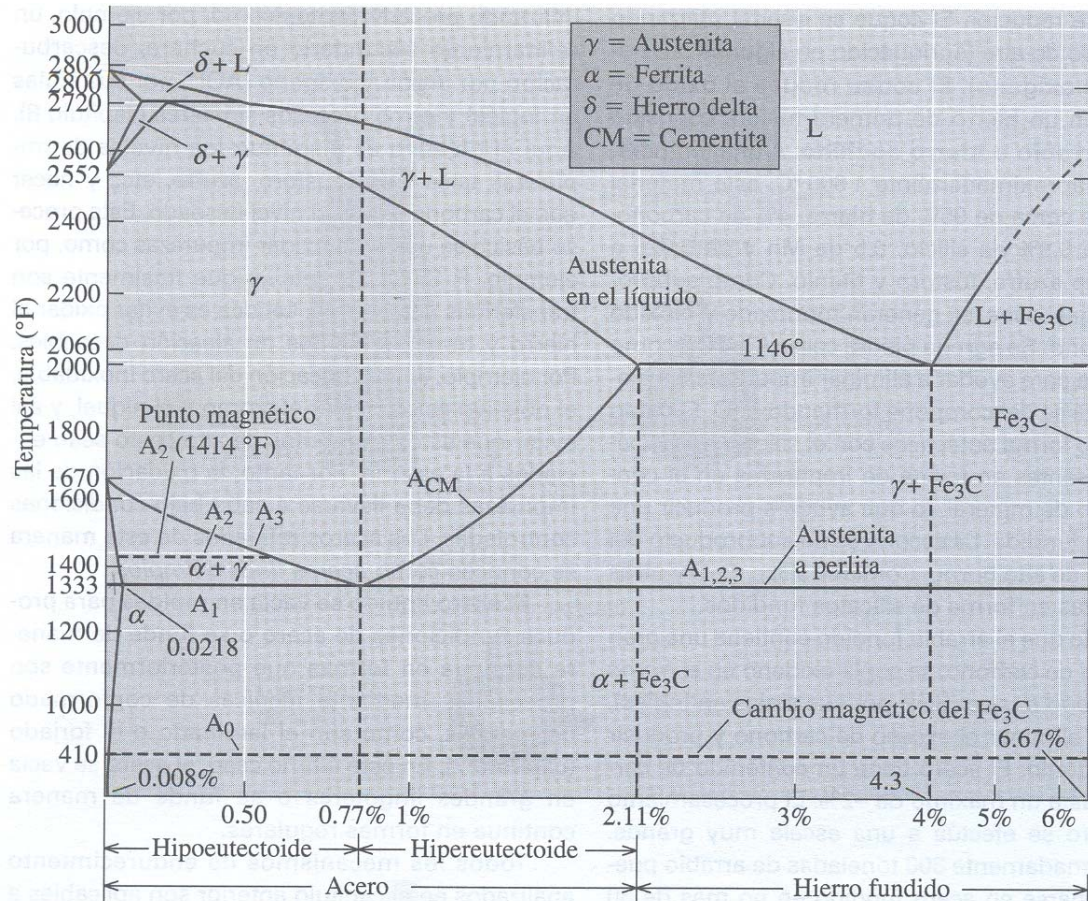


Figura 4. Diagrama de equilibrio Hierro – Carbono.

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Cap.12, pág. 546.

1.7.2 Porción Eutectoide del Diagrama de fase Hierro-Carbono.- Durante el desarrollo del presente trabajo de graduación, el estudio se enfocara primordialmente en la zona hipoeutectoide, ya que la mayoría de los aceros posee un porcentaje de carbono comprendido entre 0,18 y 0,64 %, área en la que se distinguen cambios únicamente en el estado sólido. En la Figura 5 se observa la porción eutectoide del diagrama de fases Fe-C, en la cual, las líneas de solubilidad denominadas como A_3 y A_{cm} , muestran la temperatura a la que empieza a formarse la ferrita y la cementita

respectivamente. Por otra parte la línea isoterma eutectoide denominada como A1 muestra la temperatura eutectoide.

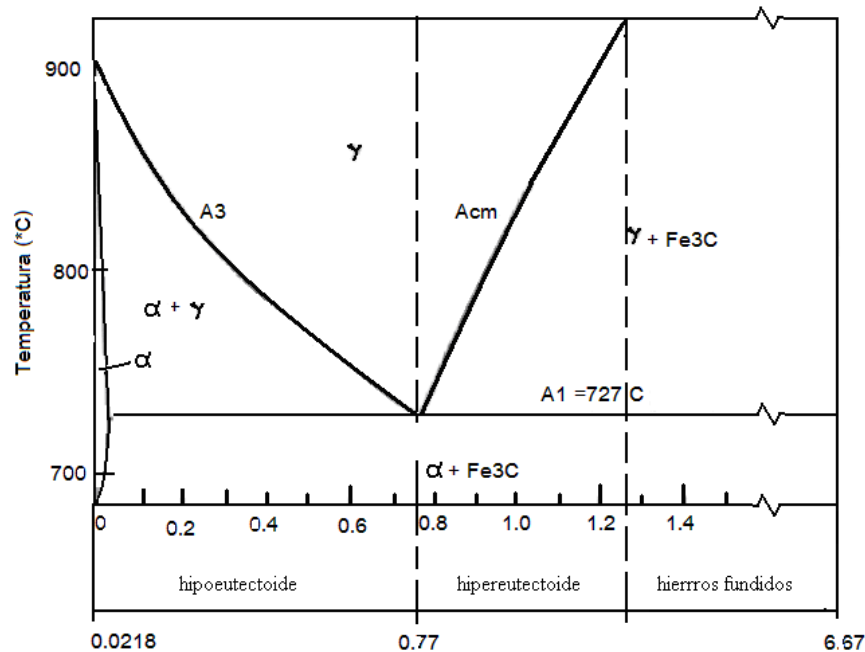


Figura.5. Porción Eutectoide del diagrama de fase Hierro Carbono

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Cap.12. Pág. 546

Un ejemplo práctico para interpretar la porción eutectoide del diagrama de fase Fe-C, se observa en la Figura 6, en el que se observa la formación de las microestructuras en un acero hipoeutectoide AISI 9260 con 0,6 % de carbono, donde a medida que descende la temperatura la microestructura variará desde un grano de austenita en ferrita con bordes de granos austeníticos, para finalmente convertirse en una microestructura perlítica.

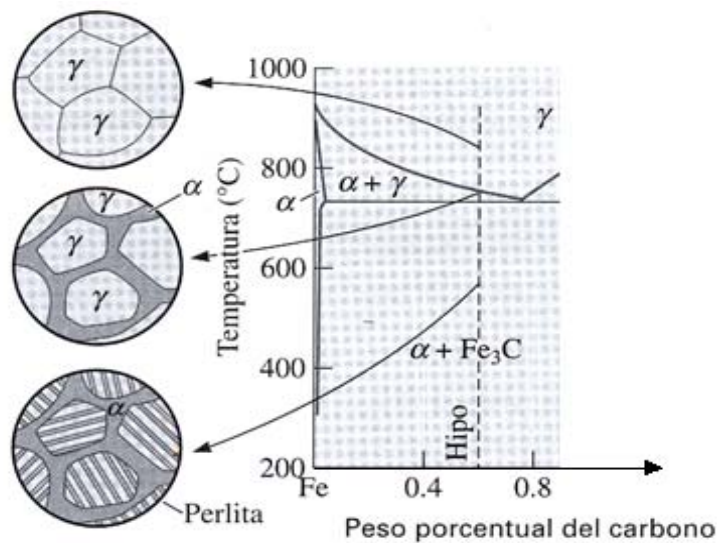


Figura 6. Cambios sufridos en la microestructura causados por alteraciones en la temperatura para un acero con 0.6% de Carbono.

Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. Donald R. Askeland. Pradeep P. Phulé. Cap.11, pág. 516.

1.7.3 Diagrama Tiempo – Temperatura – Transformación.- Según, Donald R. Askeland:

“La reacción eutectoide de estado sólido es más bien lenta y el acero puede enfriarse por debajo de la temperatura eutectoide de equilibrio antes de que se inicie la transformación. La temperatura de transformación afecta la finura de la estructura, el tiempo requerido para la transformación e incluso el ordenamiento de las dos fases. Esta información está contenida en el diagrama tiempo-temperatura-transformación (TTT)”³.

El diagrama TTT., o también conocido como diagrama de transformación isotérmica, no es más que otro método para determinar la formación de las microestructuras deseadas a partir de la manipulación de la temperatura de calentamiento y de enfriamiento, dado que se conoce la composición en equilibrio del acero, se calcula y traza la línea de tratamiento, de esta manera se obtienen las temperaturas en las que se presenta un cambio en su composición. Figura 7. Ya que estos diagramas están sujetos a enfriamientos con temperaturas constantes, necesariamente se deberá conocer con anticipación el tipo de curva para el material que se va a alterar mediante el tratamiento térmico.

³ La Ciencia e ingeniería de los metales. Primera Edición. Donald R. Askeland, Pág. 221

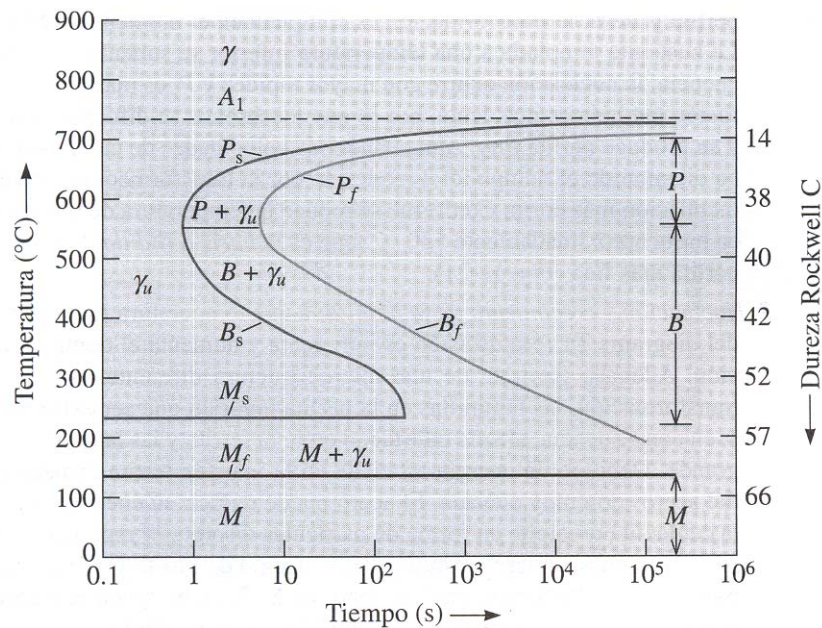


Figura 7. Diagrama de Transformación-Tiempo-temperatura (TTT) para un Acero Eutectoide.

Fuente: Askeland.D.Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 2004. Pág. 519

Existen algunas desventajas de las curvas TTT, entre ellas, no se puede hacer un control exacto durante el proceso que siguen los tratamientos térmicos en el control de tamaño de grano y en otras propiedades que se busca alterar en el material.

1.8 Tratamientos Térmicos en el acero.

El tratamiento térmico se refiere a la operación de calentar y posteriormente enfriar al material en condiciones definidas para cambiar sus propiedades mecánicas, por cambios en la morfología (tamaño, forma, distribución), proporción de las fases presentes, o por cambio en la concentración y distribución de los defectos cristalinos. El resultado en el proceso de temple depende de factores como: el material, temperatura de calentamiento, del método y velocidad de enfriamiento, la atmósfera en la cual es calentado y la duración del ciclo de calentamiento, estos son agentes que influyen en las propiedades finales de la pieza de trabajo.

La mayoría de los aceros, con la excepción de algunos tipos especiales, se tratan térmicamente endureciéndolos por calentamiento a temperatura elevada y súbito enfriamiento posterior. Es cierto que cada acero requiere su temperatura particular de calentamiento para temple, pero la temperatura para conseguir el máximo de endurecimiento es afectada, de manera regular, por el contenido de carbono en el acero.

1.8.1 Factores que regulan los tratamientos térmicos.- Tal como se observa en la Figura 8, en el procedimiento de temple del acero se pueden definir tres fases que son:

- Calentar el acero hasta una temperatura determinada.
- Permanencia a dicha temperatura por un lapso de tiempo determinado.
- Enfriamiento del acero hasta la temperatura ambiente.

Los dos aspectos fundamentales y por los cuales se define los resultados en el temple son el tiempo y el calentamiento, de hecho, un tratamiento térmico quedara definido por la velocidad de calentamiento, temperatura alcanzada, tiempo de permanencia y velocidad de enfriamiento.

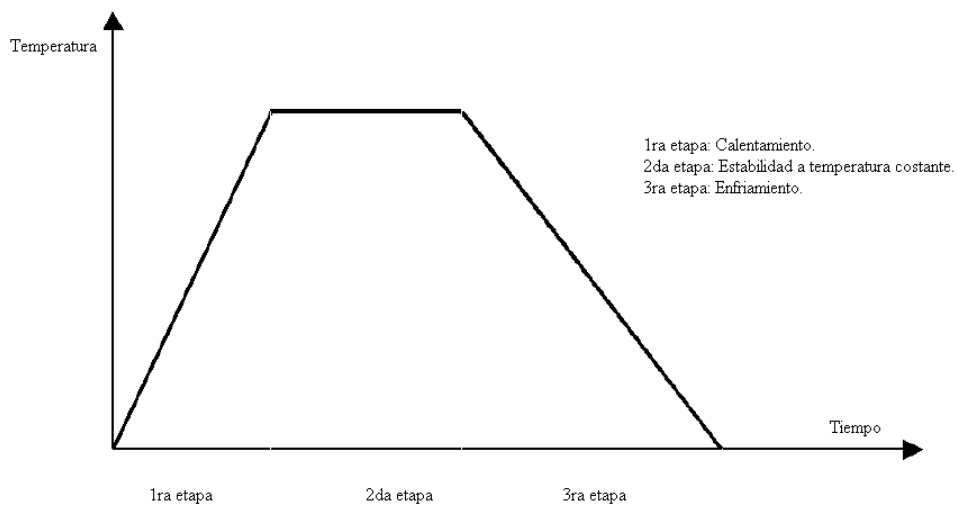


Figura 8. Etapas del Tratamiento Térmico

Fuente: Autores.

1.8.2 Clasificación de los tratamientos térmicos.- Se puede considerar que existen tratamientos térmicos que tienden a llevar al metal hacia una estabilidad constitucional, mientras que otros tienden a alejarlo de ella conduciéndolo a estados metaestables. Los primeros serán los que faciliten el desarrollo de las reacciones que normalmente se deben realizar en el metal para su estabilidad a la temperatura ambiente. Los segundos en cambio se oponen al desarrollo de estas reacciones. Se pueden clasificar los tratamientos térmicos en tres tipos:

- Temple
- Recocido y Normalizado
- Revenido

El temple es la operación que se consigue con el ensayo Jominy y por lo cual será el tratamiento térmico que se profundizara en su estudio.

1.8.2.1 Temple.- El temple es un tratamiento térmico al que se somete el acero, concretamente a piezas o masas metálicas ya conformadas en el mecanizado, para

aumentar su dureza, resistencia a esfuerzos y tenacidad. El proceso se lleva a cabo calentando el acero a una temperatura aproximada de 915°C en el cual la ferrita se convierte en austenita, después la masa metálica es enfriada rápidamente, sumergiéndola o rociándola en agua, en aceite o en otros medios de enfriamiento. El temple es uno de los principales tratamientos térmicos que se realiza y lo que hace es disminuir y afinar el tamaño del grano de la alineación del acero correspondiente, con esto se pretende la obtención de una estructura totalmente martensítica, o bainítica.

La temperatura de enfriamiento depende de la composición química del acero que va a ser tratado. Es decir que, las propiedades de una pieza de acero están influenciadas por su composición, dicha composición afectará la dureza y la tenacidad del mismo. Los efectos que tiene sobre el acero la operación de temple pueden ser muy grandes, una pieza de acero es capaz de ser tan dura que pueda ser empleada como herramienta de corte, igualmente se podrá volver tan dúctil como para ser mecanizada.

1.8.2.1.1 Penetración de Temple o Templabilidad.- Según Askeland. D., la templabilidad es la *“Facilidad con la que un acero puede ser templado para formar martensita”*⁴.

La templabilidad ocurre cuando los aceros se dejan penetrar por el temple, que dependiendo del tipo de acero veremos que unos se endurecen más que otros. Esta solo se refiere a la facilidad de penetración por el temple y no a las características obtenidas en el proceso. Cuando templamos un acero se determina la profundidad y penetración de la dureza en el interior de las piezas templadas que obedecen al porcentaje de carbono que éstos posean, por esto, no hay que confundir la capacidad de temple con la dureza que es la resistencia que opone un material a ser penetrado. Debe quedar claro que la dureza obtenida por el temple y la templabilidad son dos características diferentes en los aceros.

⁴ La Ciencia e ingeniería de los metales. Primera Edición. Donald R. Askeland, Pág. 584

1.8.2.1.2 Microestructura obtenida en el temple.- Cuando la austenita es enfriada a una velocidad elevada, como la velocidad que se produce en el enfriado por agua, su estructura FCC se transforma en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (TCC), Figura 9 a. A esta estructura se puede describir como un prisma rectangular centrado en el cuerpo, que está ligeramente alargado a lo largo de sus ejes principales. A esta estructura se la conoce como martensita, como se observa en la Figura 9 b

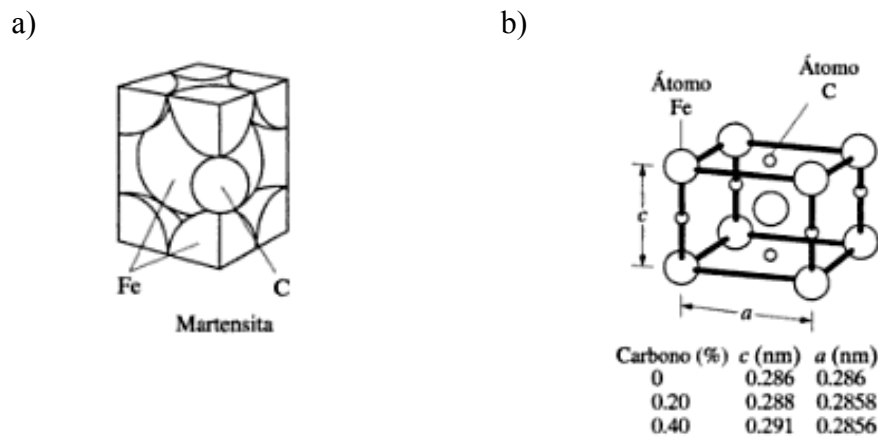


Figura 9a) Celda unitaria para la martensita 9b) efecto del porcentaje de carbono en las dimensiones de la red de la martensita.

Fuente: Serope Kalpakjian, Steven R, Manufactura, ingeniería y tecnología, 2002 Cap. 4, Pág. 110.

Dado que la martensita no tiene tantos sistemas de deslizamiento como una estructura BCC y el carbono no está en posiciones intersticiales es extremadamente dura y frágil, como indica la Figura 10; carece de tenacidad y por tanto tiene un uso limitado. La transformación martensítica ocurre casi de manera instantánea, ya que involucra no un proceso de difusión sino un mecanismo de deslizamiento conocido como deformación plástica.

El material sufre cambios en el volumen dadas las diferencias en densidades que resultan de las transformaciones de fase, por ejemplo: cuando la austenita se transforma en martensita, su volumen se incrementa en un 4%. También ocurre una expansión de volúmenes más pequeña, pero similar, cuando la austenita se

transforma en perlita. Estas expansiones, y los gradientes térmicos presentes en una pieza enfriada, generan esfuerzos internos dentro del cuerpo presentándose distorsiones o esfuerzos residuales con el consiguiente agrietamiento de la pieza templada.

La distorsión es un cambio dimensional irreversible de la pieza. Se trata de un fenómeno de tipo general y puede consistir en distorsión de tamaño y distorsión de forma. La primera involucra cambios en las dimensiones de la pieza sin cambio en la forma, en tanto que una distorsión de la forma involucra torcedura, flexión y cambios dimensionales similares no simétricos.

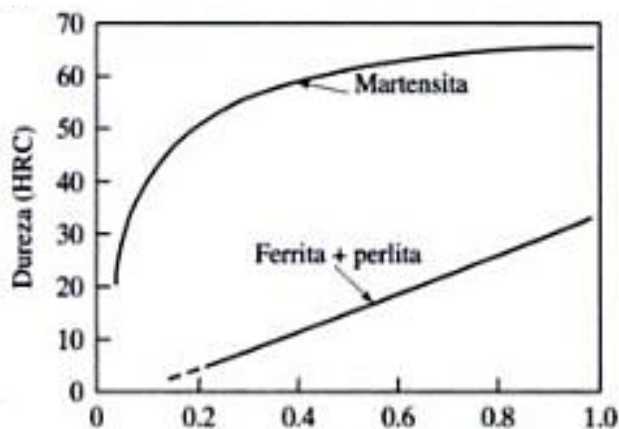


Figura 10. Dureza de la martensita como una función del contenido de Carbono

Fuente: Serope Kalpakjian, Steven R, Manufactura, ingeniería y tecnología, 2002 Cap. 4, Pág.121.

En estas condiciones la martensita obtenida durante el temple de la pieza, presenta en el interior de la misma esfuerzos residuales producto del tratamiento por lo cual se necesita dar a la pieza un segundo tratamiento térmico de revenido con lo cual la martensita se ablanda y se hace más dúctil.

1.8.2.1.3 Factores que intervienen en el temple del acero.- Los factores más relevantes en el tratamiento térmico, como se ha mencionando, y que tienen influencia en el temple son: El tamaño de las piezas, su composición, el tamaño de su grano y el medio de enfriamiento aplicado.

- a. Influencia del tamaño de las piezas.-** Uno de los factores que más influyen en las características finales que se obtienen al temprar una pieza de acero, es su tamaño. En piezas de pequeño volumen se observará muy poca diferencia en los resultados a la hora de templar. Pero si se trata de piezas de gran espesor o gran diámetro, se comprende perfectamente que la temperatura en su interior sea inferior en el calentamiento y superior en el enfriamiento a la de su periferia, ya que el calor no se transmite directamente al interior, sino a través del espesor de la pieza, necesitando la transmisión de un tiempo determinado, que es el que produce el retraso con relación al proceso de temple en la periferia de la pieza.
- b. Influencia de la composición.-** El contenido de carbono del acero influye a la vez en la temperatura y en la velocidad crítica del temple. La temperatura de temple es tanto más baja cuanto más se aproxima el acero a la composición eutectoide. El ANEXO 1 muestra diferentes valores correspondientes a la temperatura de austenización que varía dependiendo el tipo de acero. La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta, por tanto, para las mismas condiciones de enfriamiento, el temple obtenido es más enérgico y la dureza en los aceros al carbono templados es mayor cuando más alto su porcentaje de carbono.
- c. Influencia del tamaño de grano.-** El tamaño del grano influye principalmente en la velocidad crítica de temple. A igualdad de composición las velocidades críticas de temple de los aceros de grano grueso son inferiores a las velocidades críticas de los aceros de grano fino.
- d. Medio de enfriamiento.-** El medio de enfriamiento más adecuado para temprar un acero es el que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica, no sólo no es necesario, sino que es perjudicial que la velocidad de temple sea excesivamente grande, pues se corre el peligro de que se produzcan grietas y tensiones debido al desigual enfriamiento de las

piezas entre la superficie y el interior de ellas. Si el enfriamiento es lento, es más uniforme.

Las velocidades críticas son bastante grandes en los aceros al carbono, llegando hasta 350 °C/s para los aceros de 0,50 % carbono, y 200 °C/s en aceros de 0,80%. En los aceros especiales, las velocidades son mucho más bajas, siendo en algunos inferiores a 35 °C/s. Los medios de enfriamiento más empleados son: el agua, salmuera (agua de sal), aceites, sales fundidas o al aire. Debido a las diferencias en conductividades térmicas, calores específicos, y calores de vaporización de todos estos medios, la severidad de temple también resulta diferente. En el cuadro 2 se describe el la severidad del temple para diversos medios de enfriamiento teniendo en cuenta el coeficiente H, que hace referencia a los medios más comunes utilizados para enfriamiento en el proceso de temple .

Medio	Coeficiente H	Velocidad de enfriamiento en el centro de una barra de un pulgada
Aceite (sin agitar)	0.25	18
Aceite (agitado)	1.0	45
Agua (sin agitar)	1.0	45
Agua (agitado)	4.0	190
Salmuera (sin agitar)	2.0	90
Salmuera (agitada)	5.0	230

Cuadro 2. Coeficiente H, Severidad de Temple para diversos medios de enfriamiento.

Fuente: Askeland.D.Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 2004. Pág. 558

La agitación es también un factor significativo en la velocidad del enfriamiento, mientras más vigorosa sea la agitación, más elevada será la velocidad de enfriamiento. El agua es un medio común para un enfriamiento rápido. Sin embargo, el metal caliente puede formar un recubrimiento de vapor a lo largo de la superficie de la pieza, debido a las burbujas de agua y vapor que se forman al hervir el agua en la interfaz metal-agua. Éste recubrimiento crea una barrera a la conducción del calor, debido a la conductividad térmica menor del vapor por esta razón, la agitación del agua al momento de templar la pieza ayuda a reducir o eliminar dicho recubrimiento. También, el agua puede ser rociada sobre la pieza a alta presión y deberá emplearse a

temperatura máxima de 20°C, pues con agua más caliente se prolonga mucho la primera etapa de enfriamiento y disminuye la velocidad de temple.

1.9 Dureza de un material.

La dureza en un material no es más que una de las tantas propiedades mecánicas que pueden presentar los mismos. Las propiedades de un material que aparecen en los diversos manuales son el resultado de varios ensayos como por ejemplo el ensayo de tensión que describe la resistencia de un material contra un esfuerzo aplicado, el ensayo de flexión que describe las propiedades de los metales frágiles en tensión, el ensayo al impacto que describe la respuesta de un material a una carga dinámica, etc.

Así se tiene que la dureza es la propiedad que presentan los materiales y se define como la resistencia que presentan los cuerpos al ser penetrados. Para determinar el grado de dureza se utiliza varios ensayos entre ellos el Rockwell y Brinell entre los más utilizados.

1.9.1 Medidas de dureza.- El ensayo de dureza Rockwell usa una bola de acero de pequeño diámetro, para materiales blandos, y un cono o indentador de diamante, para los materiales duros. El durómetro, nombre con el que se conoce a la máquina que mide en forma automática la profundidad de penetración del indentador, posee como unidad un número de dureza Rockwell (HR, por sus siglas en inglés).

El durómetro que posee la Institución puede utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente cualquier metal o aleación. Éste posee dos tipos de penetradores: unas bolas esféricas de acero endurecido de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 pulgadas, y un penetrador cónico de diamante.

El ensayo consiste en disponer un material con una superficie plana en la base de la máquina. La probeta debe descansar sobre la mesa de trabajo tan firmemente para que el plano del lugar probado esté extremadamente perpendicular y horizontal al eje del porta cono. Luego se aplica una precarga de 10 Kg. aproximadamente, para

eliminar la deformación elástica y obtener un resultado mucho más preciso, pues todo alojamiento poco firme u oblicuo tiene como consecuencia la desfiguración del valor de la dureza y en algunos casos la ruptura de la punta del cono o del diamante.

Luego en un proceso automático la máquina aplica durante aproximadamente 45 segundos un esfuerzo que varía desde 60 a 150 kilogramos a compresión. Se retira la carga y mediante una carga puntual se obtiene el valor de la dureza directamente en la escala graduada, el cual varía de forma proporcional con el tipo de material que se utilice.

1.9.2 Ventajas del Ensayo Rockwell frente al Brinell.- Entre las principales ventajas se tiene:

- Es de aplicación universal, pudiéndose emplear por lo tanto para materiales blandos como duros.
- Es de lectura directa, lo que evita el uso del microscopio o reglas transparentes, anulando errores personales o de apreciación.
- No hace falta un acabado de las probetas tan perfecto como el que exigen el método VIKERS.
- Es de gran precisión. El microscopio marca diferencias de penetración de 0.002mm.
- Pueden ensayarse toda clase de piezas redondas, planas etc.
- La huella que queda después del ensayo es casi imperceptible pues mide de 0,06 a 0,25mm. De profundidad y pueden ensayarse las piezas incluso después de fresadas y terminadas.
- Las cifras de dureza Rockwell se relacionan con las cifras Brinell por medio de gráficos o tablas perfectamente determinadas.

De ser necesario para la conversión de la dureza según Rockwell C a dureza según Brinell se utiliza la tabla de conversión que se muestra en el ANEXO 7.

1.10 Aplicación de la templabilidad.

Para comparar la templabilidad de los aceros se utiliza un método de gran aplicación por ser un procedimiento cómodo y sencillo que proporciona el grado de templabilidad en el acero y su posterior selección, como es la prueba Jominy. La finalidad de la prueba Jominy es la de establecer la capacidad de temple de un acero para diversas velocidades de enfriamiento y con ello deducir la penetración del temple de una pieza.

El ensayo Jominy esta estandarizado por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Society of Automotive Engineers* (SAE) y la *American Iron and Steel Institute* (AISI); Las especificaciones referentes al procedimiento se encuentran en la norma ASTM designación A 255-67 *End-Quench Test. for Hardennability of Steel*. Ver norma ASTM A 255-67 en el ANEXO 2.

Como afirma Avner, “La prueba ha sido estandarizada por la ASTM, la SAE y la AISI. Al llevarse a cabo esta prueba, una probeta de 1 pulgadas de diámetro y 4 pulg. de largo se calienta uniformemente a la temperatura de austenización. Después de retira del horno se coloca en la maquina Jominy, donde un flujo constante de agua golpea en la base inferior de la muestra. Figura 11. Tanto el tamaño como la distancia del orificio al fondo de la probeta y la temperatura de circulación del agua están estandarizados de manera que toda probeta templada en éste dispositivo recibe la misma rapidez de enfriamiento. Después de que la muestra ha permanecido en el porta probetas durante 10 minutos, es retirada para en un proceso posterior después del enfriamiento se esmerila las dos superficies planas, y paralelas longitudinalmente a una profundidad de 0.015 pulg. Tomándose las lecturas en la escala de dureza Rockwell C a intervalos de 1/16 de pulg. Desde el extremo templado. Los resultados se expresan como una curva de dureza contra distancia desde el extremo templado.”

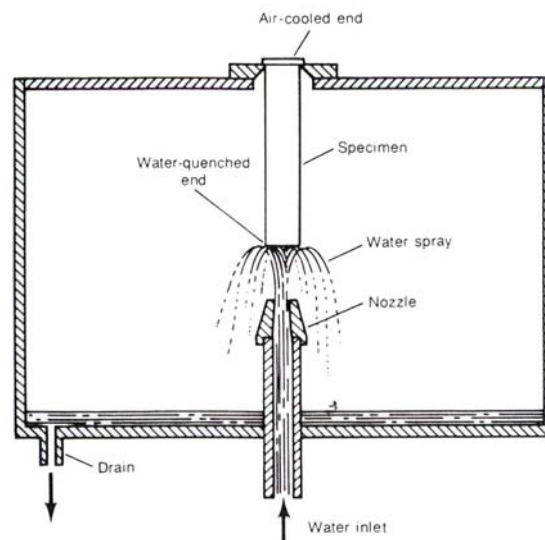


Figura 11. Muestra de ensayo de la capacidad de endurecimiento por templado de la punta en el momento de ser templada

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física. Avner. Segunda Edición. Pág. 299 1.

“Cada punto sobre la pieza sometida a ensayo Jominy, templada de forma estándar, representa cierta rapidez de enfriamiento y, como se supone que la conductividad térmica es la misma para todos los aceros, esta rapidez de enfriamiento es la misma para determinada posición sobre la pieza de ensayo. De esta manera, cada muestra se somete a una serie de rapidezces de enfriamiento, variando continuamente desde muy rápidas en el extremo templado hasta muy lentas, en el enfriado por aire, como cada distancia a lo largo de la barra templada es equivalente a cierta rapidez real de enfriamiento, el lector debe graficar tanto mediciones de dureza Rockwell C contra distancia”⁵

1.11 Conclusiones.

Los metales que conforman uno de los grupos en los que se dividen los materiales poseen un comportamiento determinado por la naturaleza del arreglo atómico que se describen con siete sistemas cristalinos generales, que comprenden 14 redes específicas de Bravais. La unión de varios sistemas cristalinos forma la microestructura de los metales. El tipo de microestructura junto con la composición química tiene una influencia profunda en las propiedades mecánicas y físicas de los aceros y sus aleaciones.

⁵ Introducción a la Metalurgia Física. Avner. Segunda Edición. Pág. 299

De todas las técnicas usadas en el procesamiento del material, que se refiere al modo en que se conforman los materiales para causar cambios en las propiedades de los mismos, la manera de obtener dichos cambios es la solidificación, que gracias a la difusión de los átomos al interior del material modifica la microestructura original. Dichas propiedades dependerán de diversos factores, los que producirán variaciones en el número de fases producidas.

El tratamiento térmico del acero consiste en calentar al acero a una temperatura elevada y posteriormente someter al mismo a un enfriamiento súbito. Consta de tres etapas que son: el calentamiento hasta una temperatura determinada, la permanencia a dicha temperatura por un lapso de tiempo determinado y el enfriamiento del acero hasta la temperatura ambiente. El tratamiento térmico de temple sirve para brindar al acero de una particular propiedad que es la dureza o resistencia a la penetración. Para lograr obtener ésta propiedad habrá que modificar la microestructura austenítica en una microestructura martensítica.

CAPITULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA MÁQUINA JOMINY

2.1 Introducción al diseño de la Máquina Jominy

La máquina Jominy en forma general suministra de manera continua el flujo de agua necesario para enfriar la probeta, como se puede apreciar en la Figura 12. Éste flujo de agua deberá poseer una velocidad y temperatura constante. El sistema consiste en un circuito cerrado de circulación de agua, cuyo caudal estará garantizado por un sistema de tuberías, que conjuntamente con una bomba para agua, brindan la presión y flujo durante el tiempo que dura la prueba -10 min.- necesarios para realizar la operación de temple.

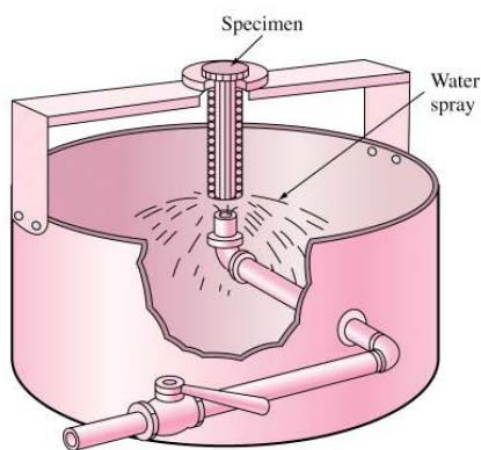


Figura 12. Representación del chorro de agua

Fuente: www.ing.puc.cl/icm cursos/metalurgia/apuntes/cap4/43/

La máquina Jominy se compone en cuatro partes bien definidas que se detallan a continuación:

- Estructura o bastidor de la máquina.
- Depósito principal para el almacenamiento de agua que será el medio de enfriamiento.
- Tanque de alimentación y tanque porta probeta.
- Circuitos de alimentación, trabajo y descarga del agua.

2.2 Funcionamiento de la Máquina Jominy

2.2.1 Parámetros a considerar.- De acuerdo a la norma ASTM A 255-67 las principales características que debe cumplir la máquina Jominy en su funcionamiento son:

- La máquina Jominy debe poseer un sistema de circulación de agua en un circuito cerrado que permita garantizar un flujo constante de agua.
- La altura alcanzada por el flujo del agua desde el extremo de la boquilla hasta la base inferior de la probeta es de $\frac{1}{2}$ pulgadas.
- El orificio de la boquilla debe tener un diámetro interior de $\frac{1}{2}$ pulgada.

“La probeta se coloca en un soporte adecuado que sostenga verticalmente el espécimen, de tal manera, que la parte inferior de la misma permanezca a una distancia de $\frac{1}{2}$ pulgada por encima del orificio de la boquilla.”⁶

2.2.2 Circuito de Trabajo.- La altura que el fluido debe alcanzar está dada por la diferencia de alturas entre los dos tanques, es decir, entre el tanque de alimentación y el tanque porta probeta. El circuito de trabajo en la máquina Jominy, Figura 13, entra en funcionamiento cuando el agua en el tanque de alimentación rebosa el nivel de carga, instante en el cual, se abre la llave de paso o apertura rápida y el flujo de agua se direcciona por medio de la boquilla hacia la base de la probeta.

⁶ Norma ASTM A 255- 67. ANEXO 2.

La altura de $\frac{1}{2}$ pulg. (12.5mm) que dicta la norma antes mencionada es calibrada por medio de la válvula de calibración y de esta manera la probeta es enfriada. Una consideración adicional que se debe tomar en cuenta para resultados satisfactorios es que el flujo de agua solo deberá enfriar la base de la probeta., es decir, en la operación de temple el agua no debe mojar los lados laterales de la misma.

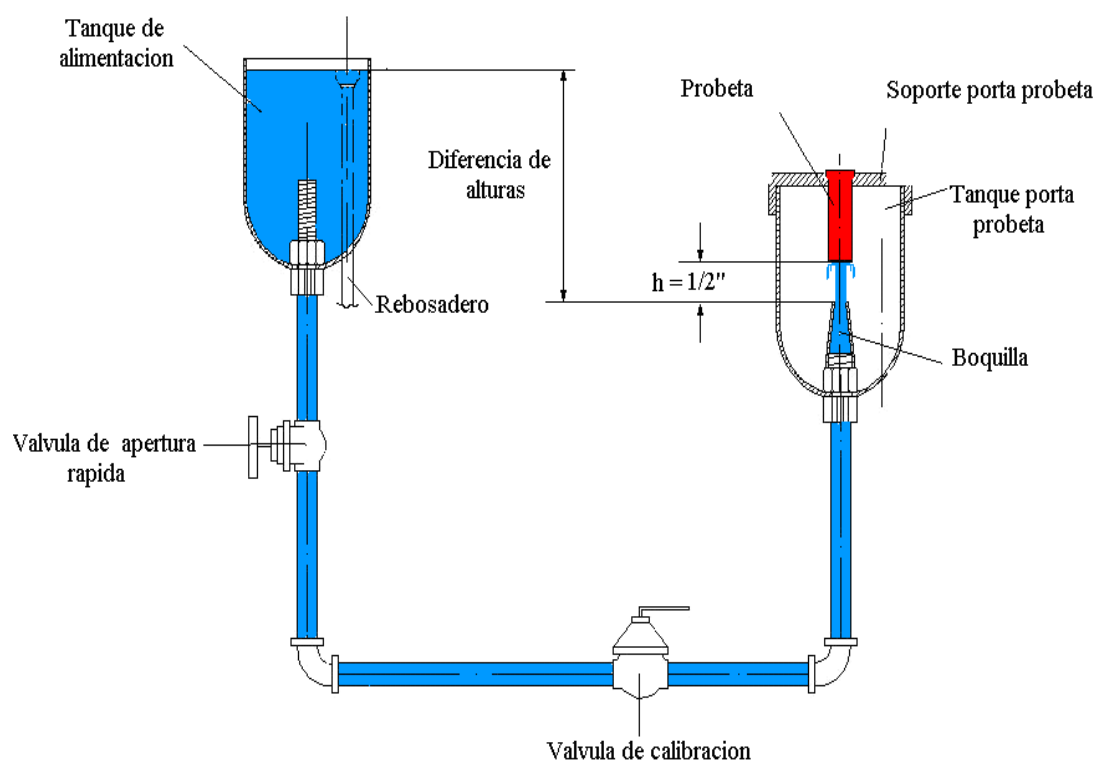


Figura 13. Circuito de Trabajo

Fuente: Autores

2.2.3 Circuito de descarga.- El agua utilizada en el proceso de enfriamiento es canalizada desde el tanque porta probetas al depósito principal gracias a un circuito de tuberías que envía al agua hacia el depósito principal, Figura 14. De la misma manera en el tanque de alimentación, el excedente de agua enviado por la bomba de carga es canalizado al depósito principal por medio del rebosadero.

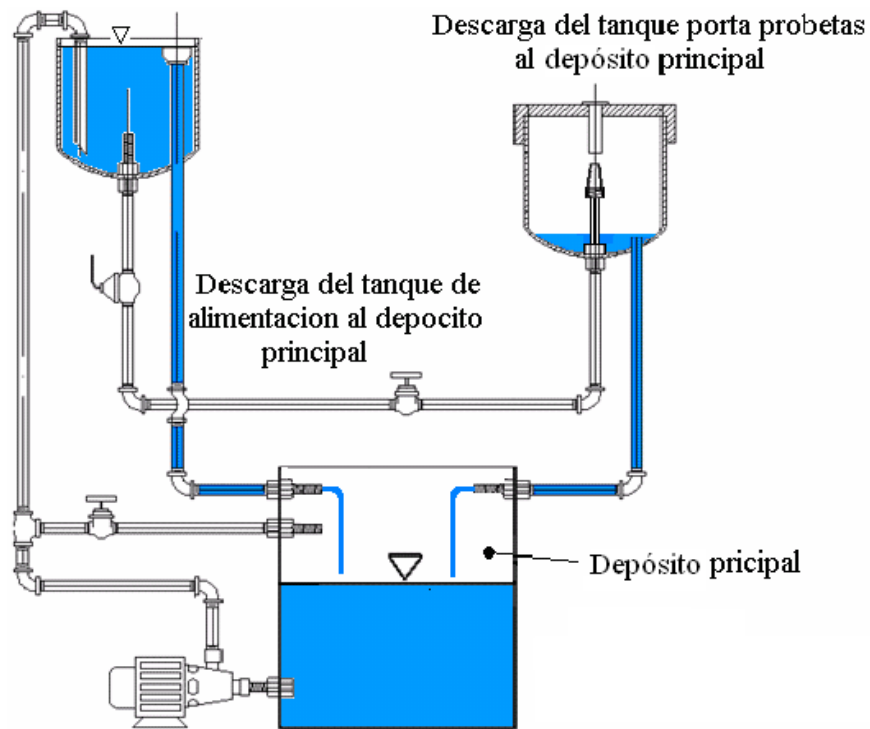


Figura 14. Circuito de Descarga.

Fuente: Autores

2.2.4 Circuito de Alimentación.- Para mantener el nivel constante en el tanque de alimentación se suministra de agua al tanque de alimentación por medio del circuito de tuberías, que gracias a la bomba de carga llevan el líquido desde el depósito principal situado en la parte inferior de la máquina hasta el tanque de alimentación que se ubica en la parte superior de la misma, Figura 15. De esta manera se cierra el circuito continuo de circulación de agua que en el tiempo de duración de la prueba no deberán presentarse variaciones o pérdidas de presión o caudal. En el ANEXO 3, LAMINA 1 se muestran los tres circuitos de trabajo antes analizados incorporados en la máquina Jominy.

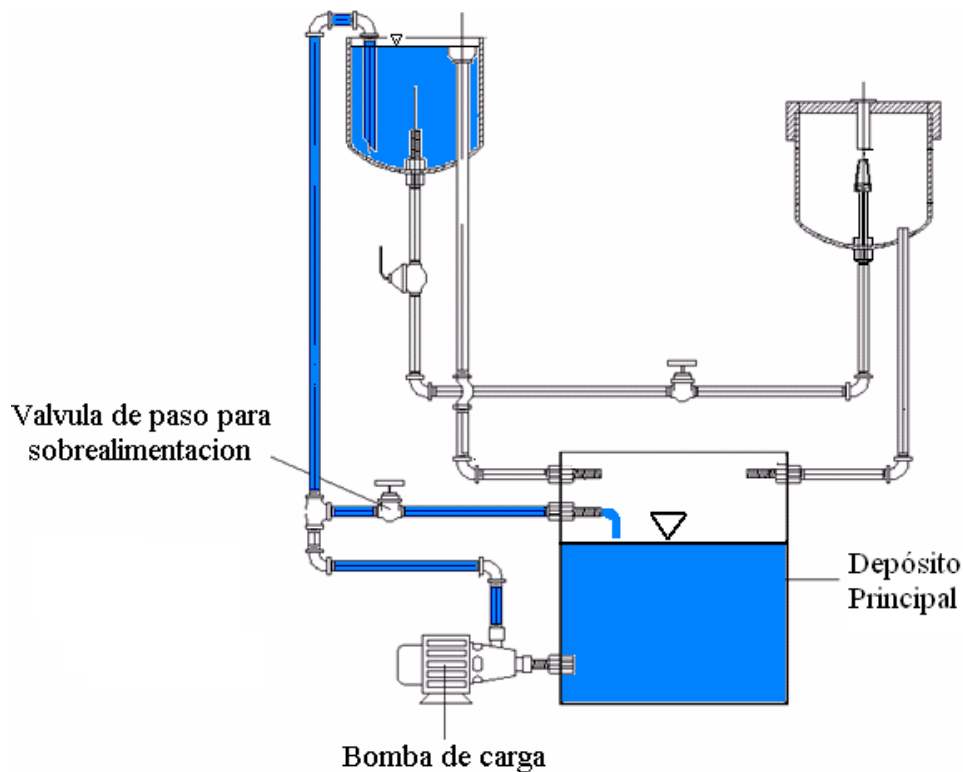


Figura 15. Circuito de Alimentación.

Fuente: Autores

2.2.5 Elección previa de los Tanques porta Probetas y de Alimentación.- Para la elaboración de la máquina Jominy se partirá de la selección de tanques previamente elaborados de igual similitud, tanto para el tanque porta probetas como, para el tanque de alimentación; esta selección se deberá realizar teniendo en cuenta factores como:

- Dimensionamiento adecuado para abastecer la cantidad de agua que estará en circulación
- De material fácil de maquinar para que puedan adoptar su forma final y resistente frente a la corrosión.
- Los tanques deben tener un espesor moderado, es decir, al saber que el fluido que ocupa los tanques no contiene una presión elevada, sino la atmosférica, no están sometidos a fuerzas de tensión superiores.

Los tanques que se elegirán son los utilizados para la comercialización del gas Freón; utilizados para cargar el sistema de aire acondicionado en los vehículos.

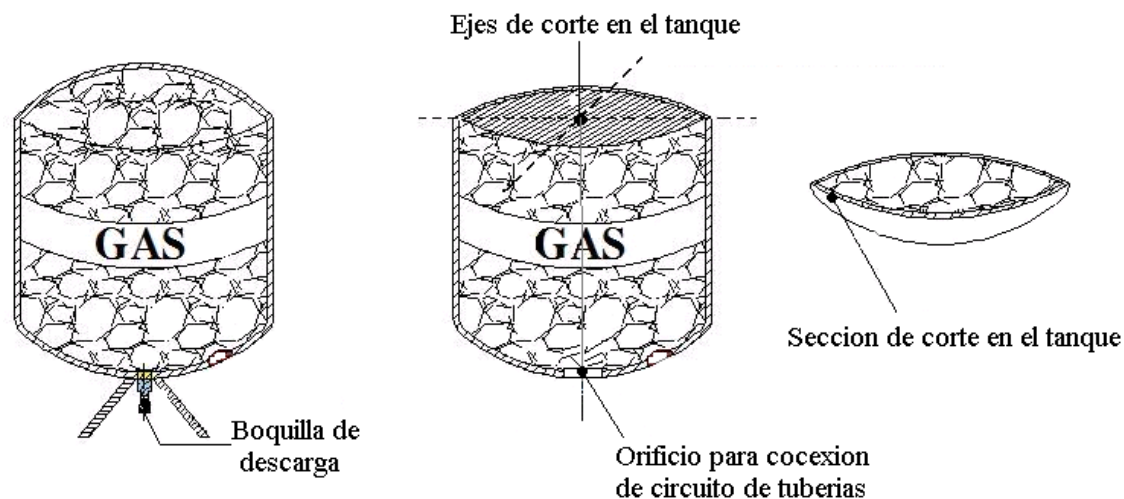


Figura 16. Depósitos para tanque de alimentación y tanque porta probetas.

Fuente: Autores

En la Figura 16, se observa la representación de uno de los tanques antes y después de su mecanizado, las operaciones que se realizan en los tanques originales se detallan con el proceso de trabajo. ANEXO 3, LAMINA 2. Las operaciones de mecanizado se realizan tanto en el tanque de alimentación como en el tanque porta probetas y constan, en general, de dos orificios en la base o parte inferior de los tanques. Uno de estos orificios sirve para la conexión de tanque a tanque en el denominado circuito de descarga. El segundo orificio sirve para la instalación del rebosadero en el caso del tanque de alimentación, evitando el desbordamiento del agua, y de igual manera en el tanque porta probetas para la canalización del agua utilizada en el proceso de temple hacia el depósito principal, formando de esta manera el circuito de descarga.

La ventaja principal que resalta en ésta selección, es la de utilizar cilindros de base esférica en el proceso de trabajo, pues esto ayuda a evitar el estancamiento del agua en su base, por lo que reduce el riesgo de oxidación en los mismos. De éste modo las medidas que sirven como datos preliminares para los cálculos posteriores son:

Diámetro interior: 30 cm.

Altura: 29 cm.

Espesor: 0.6 mm.

2.3. Cálculo del volumen en los tanques de alimentación y porta probeta.

Para obtener la altura que alcanzará el flujo de agua se empezara calculando el volumen del tanque de alimentación con las medidas anteriormente establecidas, teniendo presente que la altura mínima restringida del flujo de agua establecido por la norma es la de ½ pulgada.

Con el objeto de garantizar que la altura del flujo de agua sea la normalizada; en el cálculo de la misma se ha obtener dos o tres veces más de la establecida y de esta manera, gracias a la válvula de calibración (Figura 13) se podrá graduar la altura pretendida.

*“La máquina consta de un sistema de recirculación con una adecuada capacidad, que permita una altura en el flujo de agua y que pueda ser controlada hasta una altura de 2 1/2 pulgadas cuando pasa por un orificio de ½ pulgadas de diámetro. Se considera satisfactorio un tanque de capacidad suficiente con una pequeña bomba y válvulas de control”*⁷

8

Ecu 1

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

Donde:

r: Radio del tanque (cm)

h: Altura del tanque (cm)

V: Capacidad de volumen (lt)

Luego :

$$V = \pi \times 11.75^2 \times 30$$

$$V = 13012 \text{ cm}^3$$

$$V = 13.01 \text{ lt.}$$

⁷ Norma ASTM A255-67. ANEXO 2

⁸ Alonso Acosta. Introducción a la física.

2.4 Estructura de la Máquina Jominy

Para la selección de la estructura habrá que considerar que la máquina Jominy deberá ser compacta, pequeña y liviana para facilitar el traslado y sin necesidad de desmontaje alguno de sus componentes. La selección correcta del material para la estructura cumplirá con las consideraciones antes mencionadas. Se utilizará perfiles comerciales de acero de sección cuadrada de Fabricación nacional –IPAC-. La unión se realizará mediante soldadura, para la conformación de la estructura de los tanques como para su bastidor principal.

2.4.1 Depósito Principal.- El material del depósito principal se construirá de plancha de latón de 1/32 de pulgada de espesor y se realizará cuatro orificios para las conexiones de los circuitos tanto de alimentación como el circuito de descarga. En el ANEXO 3, LAMINA 3 se especifican sus medidas y características constructivas. La capacidad aproximada del depósito principal será de 50 litros. Evidentemente la capacidad del tanque excede en 3. 8 veces el volumen de operación anteriormente calculado. Éste aumento de volumen del depósito principal se debe a que el volumen de agua que no intervienen en el proceso de trabajo sirve como un estabilizador para la máquina, brindándole a ésta una excelente estabilidad a la hora de trabajar.

2.4.2. Diseño de la Boquilla.- Para el diseño de la boquilla la única restricción que la norma ASTM A255-67 manda es que el agua deberá salir por un diámetro de ½ pulgada. Con la finalidad de disminuir las pérdidas por contracción brusca y que la salida del flujo de agua sea más homogénea se diseñara en base al cálculo el grado de conicidad ideal para dicha boquilla.

Denominado como diseño de tronco en la Mecánica de Fluidos es el caso que se presenta en la boquilla para la máquina Jominy en la Figura 17:

9

$$K = (D - d) \times L \quad \text{Ecu 2}$$

⁹ Claudio Mataix. Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas

Donde:

K: Grado de conicidad

L: Longitud del tronco del cono (60mm)

θ : Abertura de cono (7°)

D: Diámetro mayor del cono (26.6mm)

d: Diámetro menor del cono (12.7mm)

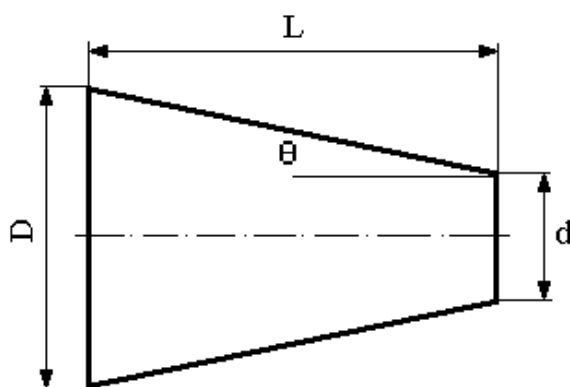


Figura 17: Representación de cotas de la Boquilla

Fuente: Autores

Utilizando la Ecuación 2 tenemos que el tronco de cono es :

$$K = \frac{L}{D - d}$$

siendo θ la semiapertura del cono

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{D - d}{2L}$$

Ecuación 3

Ahora

$$K = \frac{L}{(D - d)} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \theta}$$

Ecuación 4

La boquilla diseñada tiene las siguientes medidas:

$$L = 6\text{cm.}$$

$$D = 2.09\text{cm.}$$

$$d = 1.27\text{cm.}$$

Luego de la Ecuación 3 se tiene:

$$\theta = 3.9^\circ$$

Las medidas de la boquilla se especifican en el Anexo 3, lamina 4 y proceso de trabajo 5.

2.4.3 Selección de la Tubería.- De los datos obtenidos del cálculo de la boquilla anteriormente diseñada se tiene un diámetro de 20.9mm para la unión con el sistema de alimentación, por lo que la tubería elegida es del tipo galvanizada cuyo diámetro nominal es $\frac{3}{4}$ de pulgada (20mm) con cedula # 40. ANEXO 6. Cuyos datos general son:

DIAMETRO NOMINAL: 3/4 pulgada	
Diámetro Exterior	1.050 pulgadas
Diámetro Interior	0.824 pulgadas
Espesor	0.113 pulgadas
Rosca por pulgada	14 pulgadas

Cuadro 3. Medidas nominales para la tubería de 3/4

Fuente: Autores

2.5 Cálculos de Funcionamiento

2.5.1 Cálculo de velocidad de salida sin pérdidas de presión originada por la circulación del fluido en el circuito de trabajo.- En el cálculo de la velocidad final que alcanzará el fluido se asume que en los puntos 1 y 2 de la Figura 18 la presión y velocidad inicial serán iguales a cero, es decir, se considera a éste como un circuito de forma hidrostática que se mantiene en reposo y no se consideran pérdidas en el desplazamiento del líquido a lo largo del circuito de trabajo, tales como: el rozamiento del fluido contra la tubería, cambios de sección, codos, válvulas, etc.

Una vez que se obtenga la velocidad final, se encontrará la altura que alcanza el fluido considerando todos los accesorios que causan pérdidas en el flujo del líquido.

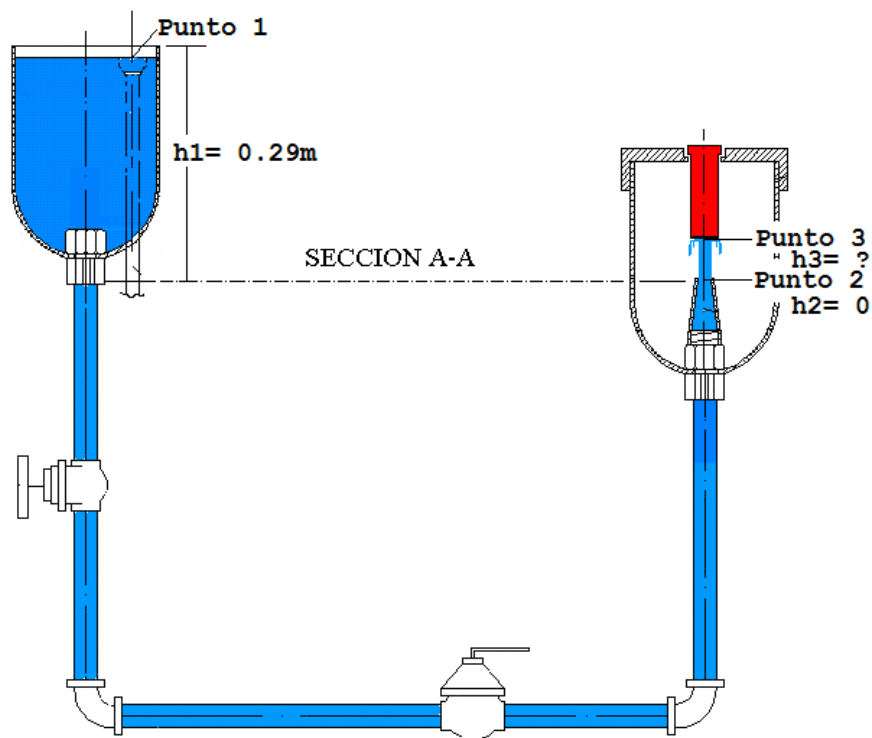


Figura 18. Detalle de la sección A-A

Fuente: Autores

Ecuación de Bernoulli:

10

$$\boxed{P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} - H_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho \cdot V_2^2}{2}} \quad \text{Ecuación. 5}$$

P = presión. $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$

ρ = densidad. $\left(999.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

g = gravedad. $\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2}\right)$

h = altura. (m)

H_1 = pérdidas de presión originada por la circulación del fluido en la tubería.

V_2 = Velocidad del fluido (m/s)

Para desarrollar la ecuación de Bernoulli como se manifestó anteriormente, tanto la presión como la velocidad en el punto 1 y 2 a cero; en el punto 2, que es el de referencia, la altura h_2 también será igual a cero.

De la ecuación 5 se tiene que:

$$P_1 = 0$$

$$\frac{\rho \cdot V_1^2}{2} = 0$$

$$H_1 = 0$$

$$P_2 = 0$$

$$\rho \cdot g \cdot h_2 = 0$$

¹⁰ William P. CREAGER and Joel D. Justin. Hidroelectric Handbook. Pág. 129 Cap9

Entonces:

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2} \times 0,29 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2} \times 0\text{m} + \frac{1000}{2} \times V_2^2$$

De donde:

$$V_2^2 = \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2} \times 0,29\text{m}}$$

$$V_2 = 2.384 \frac{\text{m}}{\text{sg}}$$

2.5.1.1 Cálculo de la velocidad de salida considerando pérdidas de presión originada por la circulación del fluido en el circuito de trabajo. En la Figura 19 se aprecian los accesorios que se toman en cuenta para los cálculos realizados a continuación en donde se pretende encontrar un cambio en la velocidad debido a rozamiento y a cambios de dirección.

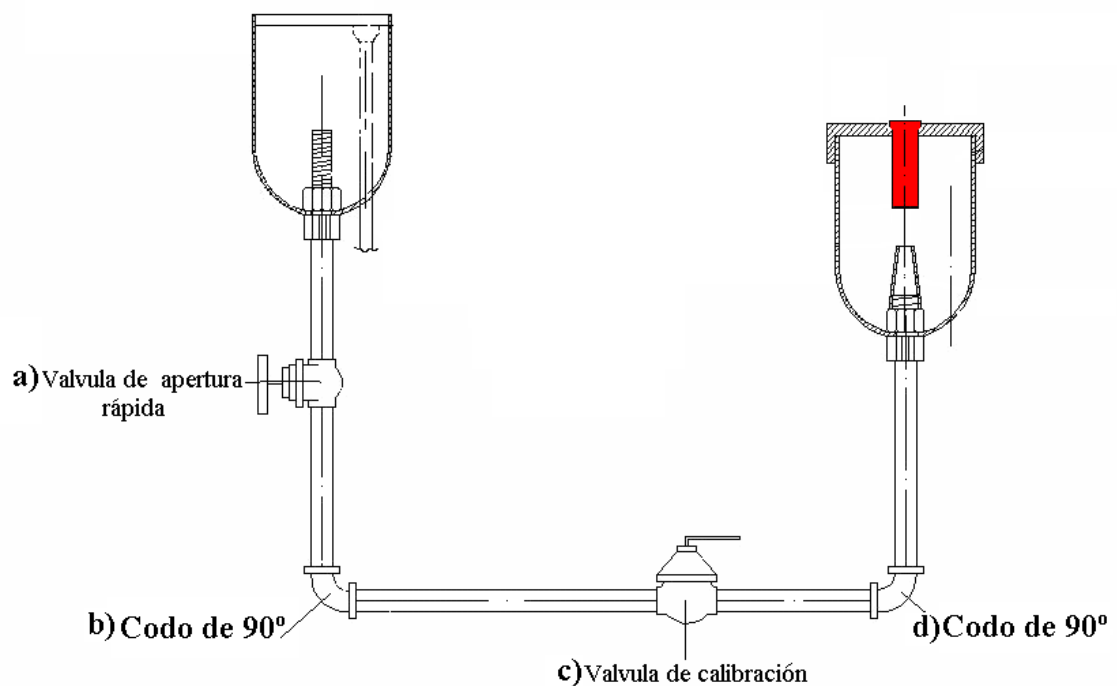


Figura 19. Accesorios en el circuito de trabajo.
Fuente: Autores

Las pérdidas en la tubería de trabajo son:

$$H_1 = 2\left(K_c \times \frac{V_2^2}{2g}\right) + K_{vc} \times \frac{V_2^2}{2g} + K_{va} \times \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

11

Del ANEXO 5 se obtiene:

K_c = coeficiente de pérdida (2 codos 90°) = 1.5

K_{vc} = coeficiente de pérdida (válvula de apertura rápida) = 2.5

K_{va} = coeficiente de pérdida (válvula de calibración) = 0.8

Entonces:

$$H_1 = 2\left(1.5 \times \frac{2.384^2}{2g}\right) + 2.5 \times \frac{2.384^2}{2g} + 0.8 \times \frac{2.384^2}{2g}$$

$$H_1 = 1,824$$

Ahora de la ecuación 5 se tiene:

$$\rho \times g \times h_1 - H_1 = \frac{\rho \times V_2^2}{2}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(\rho \times g \times h_1 - H_1)}{\rho}}$$

$$V_2 = 2,384 \text{ m/s}$$

Si se compara la velocidad de salida sin considerar H_1 con el resultado obtenido del cálculo de la velocidad tomando en cuenta H_1 se puede observar que no existe una

¹¹ William P. CREAGER and Joel D. Justin. Hydroelectric Handbook. Pág. 101 Cap8

variación notable en el resultado, ya que, los accesorios que fueron utilizados en el circuito de trabajo (codos, válvulas) no imponen mayor resistencia a la circulación del agua.

2.5.1.2 Calculo de la altura del fluido

$$P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho \cdot V_2^2}{2} - H_1 = P_3 + \rho \cdot g \cdot h_3 + \frac{\rho \cdot V_3^2}{2}$$

Donde:

$$P_2 = 0$$

$$\rho \times g \times h_2 = 0$$

$$P_3 = 0$$

$$\frac{\rho \times V_3^2}{2} = 0$$

$H_1 = 0$ (entre el punto 2 y 3 no existen accesorios)

Ahora:

$$\frac{\rho \times V_2^2}{2} = \rho \times g \times h_3$$

$$g \times h_3 = \frac{V_2^2}{2}$$

$$h_3 = 28,9 \text{ cm}$$

2.5.2 Selección de la bomba de alimentación.- La bomba de carga actuara directamente suministrando el agua que se pierde en la operación de templado. Es por eso, que al circuito de alimentación se dota de con una bomba de carga para que suministre al tanque de alimentación del agua perdida durante el ensayo Jominy. La bomba de carga, al no tener mayor relevancia en el funcionamiento de la maquina,

no se seleccionara de manera teórica, sino que, se elegirá la de menor potencia existente ya que el trabajo al cual estará sometido dicha bomba será mínimo.

2.6 Conclusiones

Partiendo de las restricciones que propone la norma ASTM A 255-67 que son: el espacio libre o altura entre la base de la probeta y el orificio de salida en la boquilla ($\frac{1}{2}$ pulgada) y el diámetro interior de salida del agua en la boquilla ($\frac{1}{2}$ pulgada). Los cálculos efectuados para el diseño de la Máquina Jominy garantizan una circulación constante de agua durante el temple de la probeta en dicha máquina.

En forma general la máquina es de estructura compacta, liviana, y sencilla en sus formas, lo que hace que la misma no sea una máquina estacionaria, sino que es fácilmente trasladable al lugar deseado, ventaja importante ya que la norma ASTM A 255-67 solo otorga 5 segundos para trasladar la probeta del horno a la máquina Jominy en éste ensayo.

La altura del flujo de agua obtenida en los cálculos ($h = 28,98\text{cm}$) brinda seguridad al saber que esta supera la altura nominal entre la base de la probeta y la boquilla, es decir, $\frac{1}{2}$ pulgada. Si bien la altura calculada aparece como sobredimensionada no existe tal apreciación ya que dicha altura será graduada por medio de la válvula de calibración. Por otro lado, con el diseño apropiado de la boquilla, el cual, reduce el diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada en la tubería de trabajo a $\frac{1}{2}$ pulgada en el extremo final de la boquilla se reduce cualquier posibilidad de choque brusco en la circulación del agua.

En lo concerniente a la bomba de carga se eligió una de capacidad 0.5 HP de potencia, que es la de menor capacidad encontrada en el mercado local, lo que implicó la adición de un by-pass en el circuito de carga de la máquina Jominy el cual cumple la función de devolver al depósito principal el excedente que la bomba genera en su funcionamiento.

CAPITULO III

PRUEBAS Y ENSAYOS

3.1 Introducción

Los resultados obtenidos en el proceso de elaboración de las curvas de templabilidad mediante el método Jominy dependen en gran medida de seguir detalladamente los pasos de los que se compone el ensayo Jominy como son: la selección del material, temperatura de austenización, el temple de la probeta, modo de realizar el ensayo de dureza.

3.2 Factores que intervienen en el ensayo Jominy

3.2.1 Selección del material.- Esta prueba de templabilidad se realizará en los aceros hipoeutectoides por las siguientes razones:

- El acero con 0.6 % de carbono es templable en agua.
- En los aceros con 0,6% de carbono las transformaciones Isotérmicas se diferencian con claridad.
- El 0,6 % de carbono facilita visualizar la pendiente de la curva.
- La gran mayoría de los aceros se sitúan en el diagrama Hierro-Carbono dentro del grupo hipoeutectoide.

Las probetas que se estudiarán son aceros del tipo AISI 1040 y 4140, cuya composición química se muestra en el Cuadro 4.

Composición de los Aceros AISI-SAE 1040, 4140						
AAE	%C	% Mn	%Si	%Ni	%Cr	Otros
1040	0.37-0.44	0.60-0.90	_____	_____	_____	_____
4140	0.38-0.43	0.75-1.00	0.15-0.30	_____	0.80-1.10	0.15-.21% S

Cuadro 4: Composición química de los Aceros AISI-SAE 1040, 4140

Fuente: Autores

La selección de estos aceros se realizó en función del comportamiento de los mismos frente al proceso de temple. Las curvas de templabilidad obtenidas en el temple de estos aceros son bastante pronunciadas y se distingue claramente los efectos que causa el temple sobre la probeta Jominy. Figura 20 y 21. Además, estos dos aceros se consiguen con facilidad en el medio ya que son ampliamente utilizados en la industria.

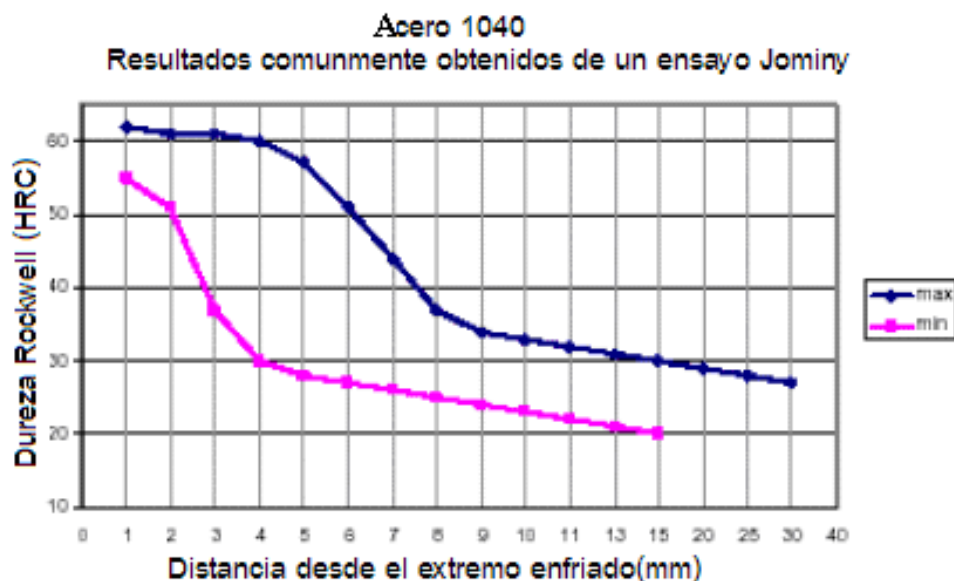


Figura 20. Curva Jominy real para un acero AISI 1040

Fuente: www.ing.puc/Metals/Handbook/JominyTest.

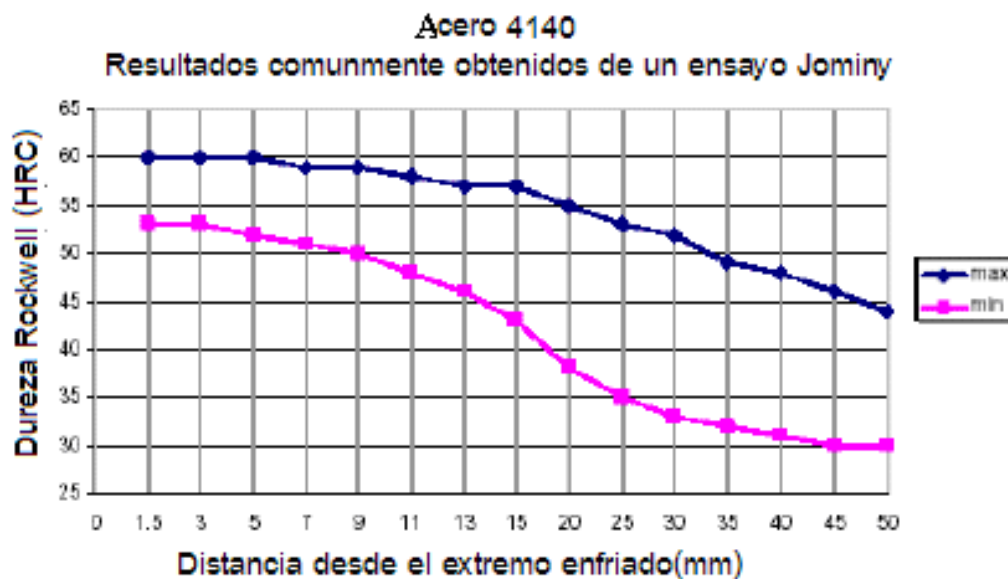


Figura 21. Curva Jominy real para un acero AISI 4140

Fuente: www.eng.puc/Metals/Handbook/JominyTest.

3.2.2 Temperatura de Austenización.- La temperatura de Austenización para los dos aceros antes mencionados es de 850° C. ANEXO 1. Temperatura a la que estarán sometidos los aceros en el horno por 30 minutos aproximadamente para regularizar las condiciones del ensayo.

La norma ASTM A 255-67 señala “Coloque la probeta en el horno y lleve a esté a temperatura de austenización y manténgalo en esta temperatura durante 30 minutos. Para efectos de la prueba podrá alargarse hasta los 35 minutos sin apreciarse resultados alterados. Es importante calentar la probeta en un ambiente en el que prácticamente no se produzca carbonilla y que produzca una mínima cantidad de descarburación”¹²

3.3 Operación de Temple

Para llevar a cabo la operación de templado en la probeta Jominy se tomara algunas consideraciones que recomienda la Norma vigente para la elaboración del ensayo Jominy para obtener los mejores resultados. ANEXO 2.

¹² Norma ASTM 255-67. ANEXO 2

- El soporte de la probeta estará completamente seco al comienzo de la prueba.
- El tiempo que transcurre entre el retiro de la probeta del horno y el inicio del enfriamiento no debe excederse de 5 segundos.
- El flujo de agua debe dirigirse contra la cara base de la probeta por lo menos durante 10 minutos.
- La temperatura del agua deberá oscilar entre 4.5 a 29.5° C, contra la cara inferior de la probeta durante no menos de 10 minutos.
- Hasta donde sea posible, mantener una condición de aire sin alteración de movimiento alrededor de la probeta durante el enfriamiento. Si es que la probeta no está fría cuando es removida del accesorio inmediatamente enfríelo en agua.
- Debe evitarse que el agua se caliente durante el temple conviene que la temperatura del agua oscile entre 15° y 30° C puesto que si la temperatura es superior a los 30° C se prolonga exageradamente la etapa de enfriamiento, lo que es un gran inconveniente porque con ello disminuye la velocidad de enfriamiento.
- Las condiciones del medio ambiente al rededor de la probeta, durante el enfriamiento se mantendrán constantes dentro de lo posible. Si la probeta aun no está fría, se sumergirá inmediatamente en agua para evitar el revenido de la parte templada por el calor del otro extremo aun no del todo frío.

3.4 Microestructura de la Probeta en el Ensayo Jominy

En el capítulo 1 se estudió los efectos del temple y la microestructura obtenida en éste proceso. Para entender con más claridad la microestructura obtenida en la probeta Jominy al ser sometida a temple, nos ayudaremos del diagrama de

transformación-enfriamiento continuo para un acero aleado, en la Figura 22, se han elegido varios puntos a lo largo de la probeta Jominy para el análisis de sus microestructuras.

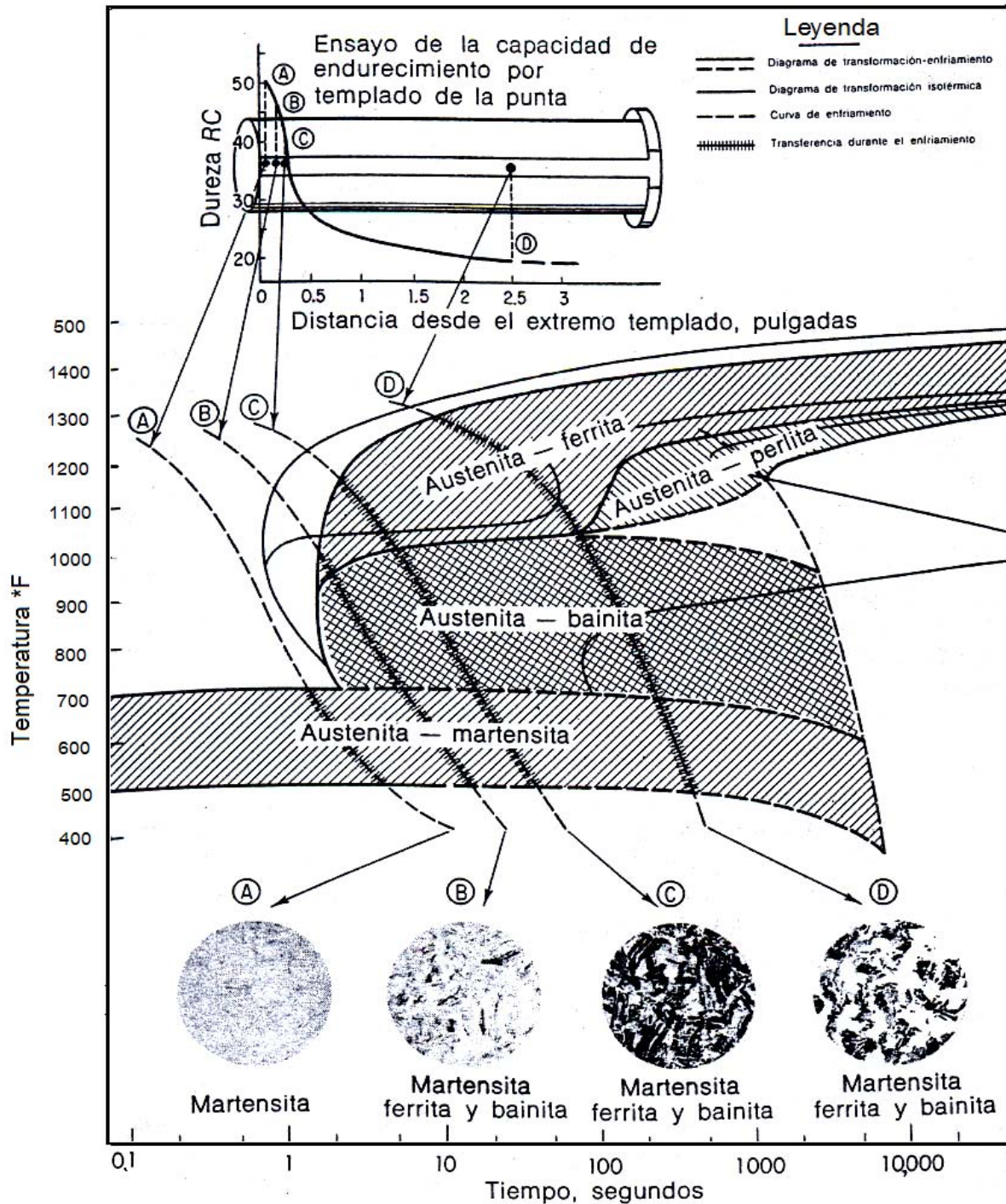


Figura 22. Diagrama de Transformación-Enfriamiento Continuo para un Acero 8630.

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física. Avner. Segunda Edición. Pág. 301

En el Punto A representa lo más cercano al extremo templado en la probeta Jominy, la velocidad de enfriamiento excede a la velocidad crítica de enfriamiento y origina una martensita al 100%. A medida que la distancia vaya aumentando se obtendrá una microestructura con una composición en menor porcentaje de martensita y mayor porcentaje de perlita hasta que desaparezca por completo la martensita y al final de la probeta la microestructura presentara una composición de perlita fina al 100%.

En los puntos B, C y D respectivamente la velocidad de enfriamiento empieza a ser cada vez mas insuficiente para transformar la austenita en martensita en su totalidad y se empieza a formar una microestructura de perlita muy fina, es decir, que no se hablara de martensita al 100%, sino de una composición de martensita y perlita en porcentajes que dependerá de la velocidad de enfriamiento. De la misma forma la dureza en la parte inferior de la probeta presentara un valor máximo en unidades HRC, y éste valor se irá reduciendo a medida que se incremente la distancia desde el extremo templado al punto en análisis.

Si se pretende obtener la microestructura para una probeta en particular, una vez que culminado el proceso de temple y después de haber trazado la curva Jominy, dependerá del numero de muestras deseadas para realizar los cortes a lo largo de la probeta, teniendo en cuenta que los cambios mas notorios tienen lugar en la primera pulgada de la misma, una vez que se cuenta con el numero de muestras deseadas se procede a realizar un excelente pulido en las superficies de las mismas para luego finalmente con ayuda del microscopio observar la microestructura presente.

El proceso para observar la microestructura en cualquier material mediante este método resulta un poco complejo y demorado, es por eso, que una investigación desarrollada a manera de tesis en la Universidad de Buenos Aires, en la Facultad de Ingeniería, realiza matemáticamente una simulación para observar el proceso de temple en los aceros mediante un software llamado THERMET que modela la evolución termo-estructural en los aceros durante su enfriamiento, es decir, se puede obtener la microestructura del material a través del computador.

Introduciendo datos preliminares como la geometría del objeto, las condiciones de borde, la temperatura inicial austenítica de cada elemento, la composición química del material; se tiene como resultado el porcentaje en la composición de la microestructura del acero. En dicho trabajo de graduación se modeló el ensayo Jominy a manera de ejemplo. En la Figura 23 se muestra como se modela a la probeta en el programa THERMET.

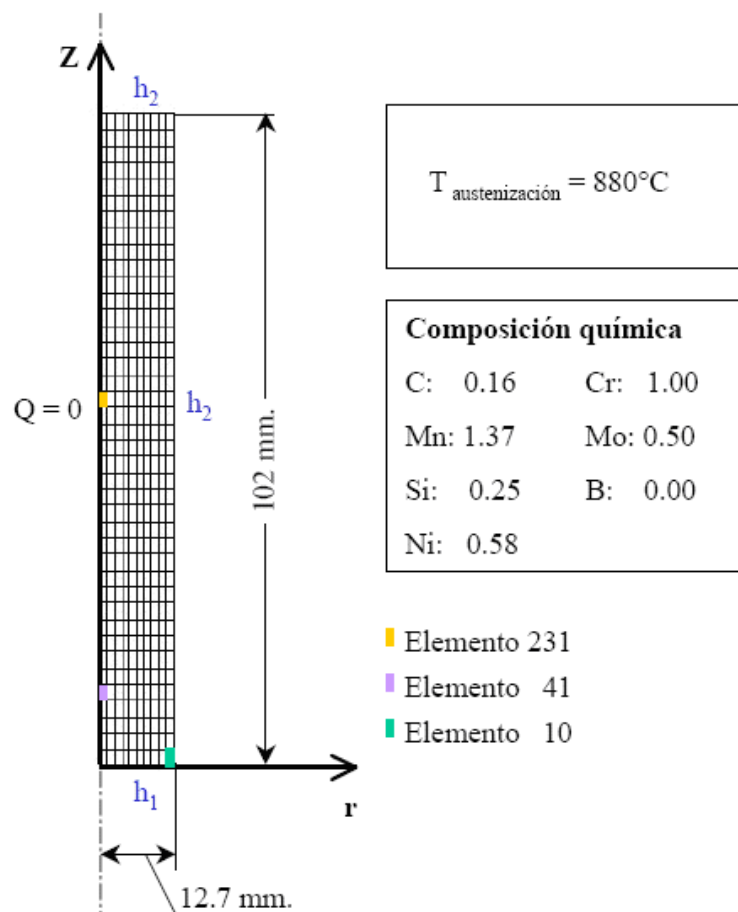


Figura 23. Discretización de la probeta para el ensayo Jominy con una malla de 40 x 10 elementos.

Fuente: Modelo Termo-Metalúrgico aplicado al enfriamiento de aceros/ Schicht Jonatan Walter/ Pág. 57

Los resultados obtenidos en el programa THERMET se grafican utilizando el post-procesador del programa GID (Gid System). La Figura 24 muestra el mapa de

temperaturas para una serie de instantes de tiempo para la probeta Jominy se puede observar que en el extremo templado en donde el agua ataca directamente, aproximadamente en los 10 primeros milímetros, la temperatura ha disminuido drásticamente de 880 (tonalidad roja) a 45 °C. (Tonalidad azul) a los 5 segundos de iniciado la operación de temple.

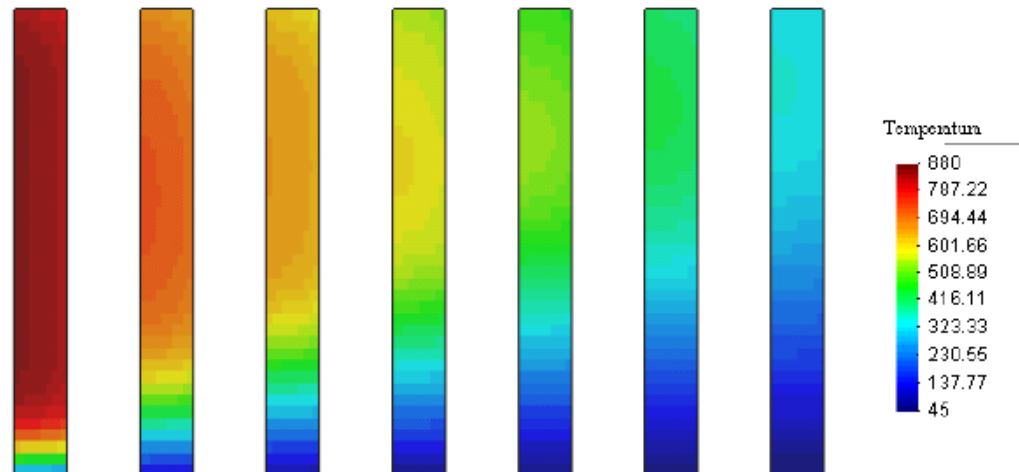


Figura 24. Evolución de la temperatura en el tiempo: 5, 30, 55, 80, 105, 130 y 155 segundos

Fuente: Modelo Termo-Metalúrgico aplicado al enfriamiento de aceros/ Schicht Jonatan Walter/ Pág. 57

La figura 25 muestra como por medio de la simulación en el programa THERMET la microestructura obtenida, producto del temple, hace su evolución para distintos instantes de tiempo, por ejemplo, para un tiempo de 5 segundos se observa que la microestructura de la base en la probeta esta constituida en un 75 % de martensita mientras que en la parte superior de la probeta apenas tiene un 0.08 % de martensita aproximadamente.

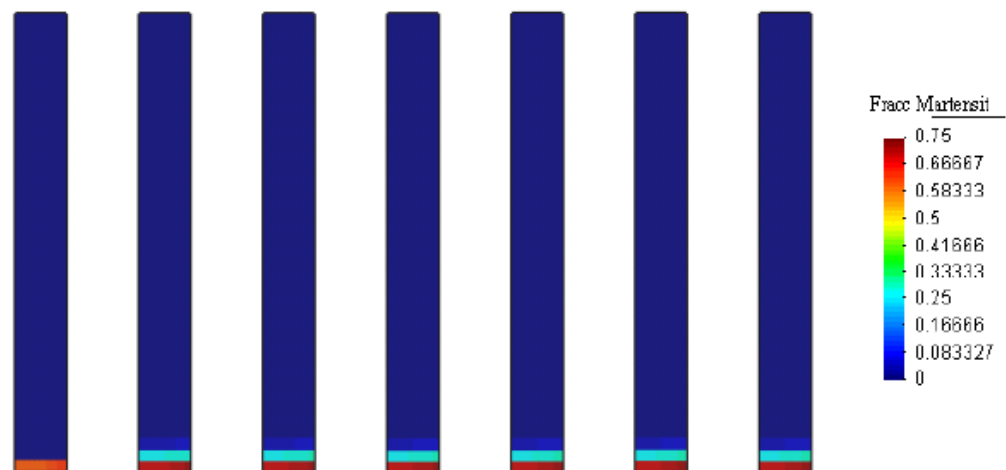


Figura 25. Evolución de la fracción de Martensita en el tiempo: 5, 30, 55, 80, 105, 130 y 155 segundos.

Fuente: Modelo Termo-Metalúrgico aplicado al enfriamiento de aceros/ Schicht Jonatan Walter/ Pág. 57

3.5 Informe general del Proceso

Se deberán seguir los pasos que se listan a continuación para obtener resultados satisfactorios para cualquier tipo de acero:

- Las medidas preliminares o medidas en bruto de la probeta serán de 110 mm. de longitud por 3.17 mm. de diámetro.
- Con ayuda del torno se procede a realizar la operación de torneado, la probeta se deja a la medida indicada por la norma ASTM A-255-67. Cuya medida será de 100mm de longitud por 25.4mm de diámetro.
- En la parte superior de la probeta se dejará un destaje (Figura 26) para la suspensión de la misma en el porta probetas. Para detalle del proceso de maquinado y para el particular completo de la probeta observar el ANEXO 3 LAMINA 6 y 7.

- d) Una vez que la probeta posee las dimensiones estandarizadas se procederá a introducir las probetas en el horno para su normalizado.

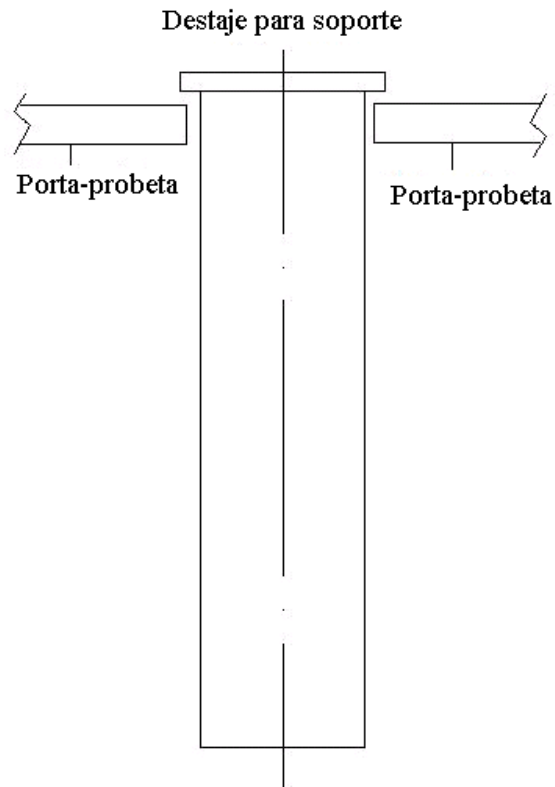


Figura 26. Destaje para soporte en la probeta

Fuente: Rivera/Vega

Si bien los aceros seleccionados tienen la misma temperatura de normalizado (850 °C), el proceso de templado en la Máquina Jominy solamente puede efectuarse con una probeta a la vez por lo que se normalizara las probetas independiente, y posteriormente al horno que inicia su calentamiento desde 0 hasta los 850° C. Una vez que alcanza esta temperatura se mantiene durante 30 minutos a temperatura constante para un normalizado completo en toda la probeta.

- e) Después de haber cumplido el tiempo de calentamiento, se procede a sacar la probeta con una pinza, tomando todas las prevenciones del caso, lo más rápido posible, recordemos que la norma otorga un tiempo de 5 segundos para dicha operación.

- f) Por otro lado para el instante en que se retire la probeta del horno la máquina Jominy ya deberá estar activada, así como también, calibrado la altura del flujo de agua en la boquilla.

El ataque con el flujo de agua sobre la base de la probeta dura 10 minutos, quedando la parte superior de la misma con una temperatura de 150°C aproximadamente. Después del tiempo determinado se enfría la probeta al aire libre, sin correr el riesgo de que exista una alteración en la microestructura. De esta manera se concluye la operación de temple quedando lista la probeta para el siguiente paso que es el ensayo de dureza Rockwell a lo largo de toda la superficie de la probeta.

3.5.1 Mecanizado de la probeta.- Luego del proceso de temple y una vez que la probeta se ha enfriado por completo utilizando la máquina herramienta apropiada que éste caso es la fresadora se procede a fresar dos planos paralelos a lo largo de dos generatrices opuestas (180 grados) a una profundidad de 0.4 mm como muestra la Figura 27, debiendo evitarse que en esta operación se caliente la probeta por encima de los 100 grados centígrados.

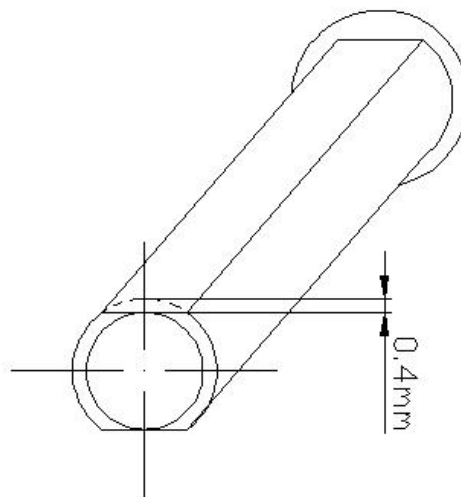


Figura 27. Mecanizado de la probeta para el ensayo de dureza

Fuente: Rivera/Vega

3.5.2 Prueba de Dureza.- Una vez que la probeta se ha templado y después de haber sido mecanizada se procede a efectuar el ensayo de dureza de la siguiente manera:

- a) Marcar los puntos en la superficie anterior a intervalos de $1/16$ en la primera pulgada. pulgada para luego hacer los puntos a intervalos de $1/8$ " a lo largo de toda la longitud restante tal como se muestra en la Figura 28. Para efectuar esta operación se unta previamente a la superficie de la probeta con sulfato de cobre para efectos de buena visualización.
- b) Se ubica a la probeta en la base del durómetro con la superficie que se ha marcado hacia arriba cuidando que la probeta quede perfectamente asentada sobre la mesita del durómetro pues como se vio anteriormente pues todo alojamiento inestable tiene como consecuencia la desfiguración del valor de la dureza. y en algunos casos la ruptura del porta-cono o del diamante.

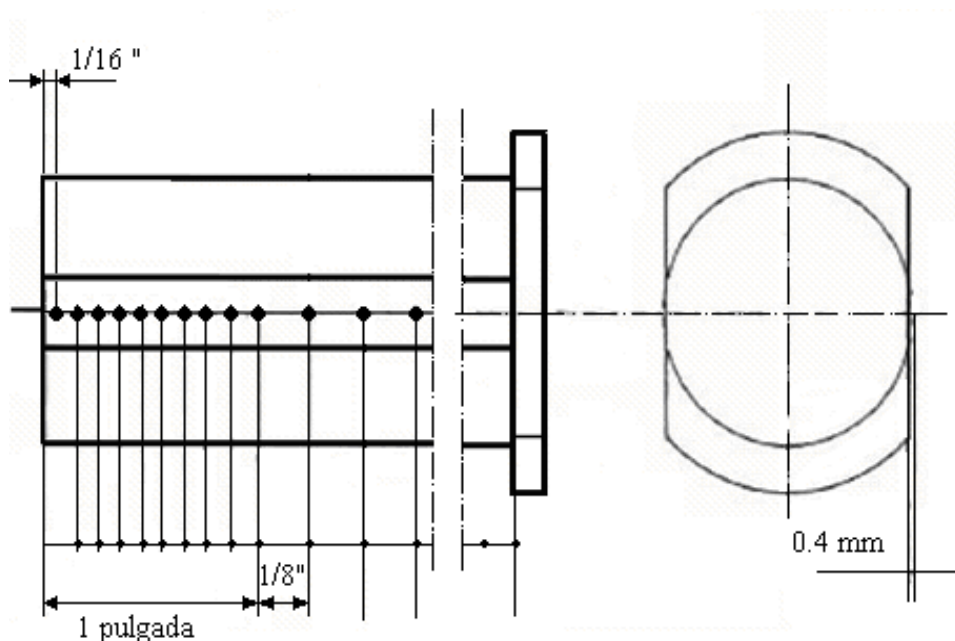


Figura 28. Esquema de la probeta preparada para el ensayo de Dureza

Fuente: Autores

- c) Por último se procede a realizar el ensayo de dureza Rockwell C sobre los puntos marcados a lo largo de la probeta.

- d) En el Cuadro 5 se muestra todas las medidas obtenidas tanto para el acero AISI 1041 como para el acero AISI 4140.

<u>ACERO 1040</u>		<u>ACERO 4140</u>	
DISTANCIA	DUREZA ROCKWELL	DISTANCIA	DUREZA ROCKWELL
1.5mm	61.3	1.5mm	58
3mm	61	3mm	57.6
4.5mm	59.5	4.5mm	57
6mm	53.5	6mm	56.8
7.5mm	42.5	7.5mm	56
9mm	30.5	9mm	55.9
10.5mm	30.5	10.5mm	55.9
12mm	30.5	12mm	55.7
13.5mm	29	13.5mm	55.4
15mm	30.5	15mm	50.9
16.5mm	30.5	16.5mm	50.8
18mm	29	18mm	50.6
19.5mm	27.7	19.5mm	45.5
21mm	27	21mm	55.5
22.5mm	27	22.5mm	45
24mm	25	24mm	45
27mm	24	27mm	40.8
30mm	24	30mm	40.2
33mm	20.8	33mm	39.8
36mm	20.5	36mm	40.1
39mm	17.5	39mm	38
42mm	17.5	42mm	37
45mm	14.5	45mm	17

48mm	9.5	48mm	16
51mm	16	51mm	16

Cuadro 5: Medidas de dureza obtenidas después de lo operación de temple

Fuente: Autores

3.6 Curvas Jominy

Una vez que se ha terminado el proceso de temple en la máquina Jominy y después de haber tomado las distintas medidas de dureza se procede a graficar la curva Jominy utilizando el formato establecido por la norma A.S.T.M. ANEXO 7. En el grafico se puede observar que en el eje x se ubican las distancias o intervalos de 1/16, mientras que en el eje y se representa a la dureza Rockwell C.

“La curva de capacidad de endurecimiento de templado en la punta o extremo muestra realmente la forma en que varia la dureza con diferentes rapidezces reales de enfriamiento para un acero especifico”¹³

3.6.1 Interpretación de la Curva para el acero AISI 1040.- Las curvas obtenidas en los manuales de la ASTM (Figura 20, 21) describen una curva máxima y mínima para cada acero, si en la hoja de registro para la prueba Jominy, se dibujan estas dos curvas con la curva obtenida por nosotros se puede observar que la curva obtenida en el laboratorio de la Institución esta dentro del rango de la curvas máxima y mínima de templabilidad para el acero AISI 1040 como se observa en la Figura 29.

¹³ Introducción a la Metalurgia Física. Avner. Segunda Edición. Pág. 299

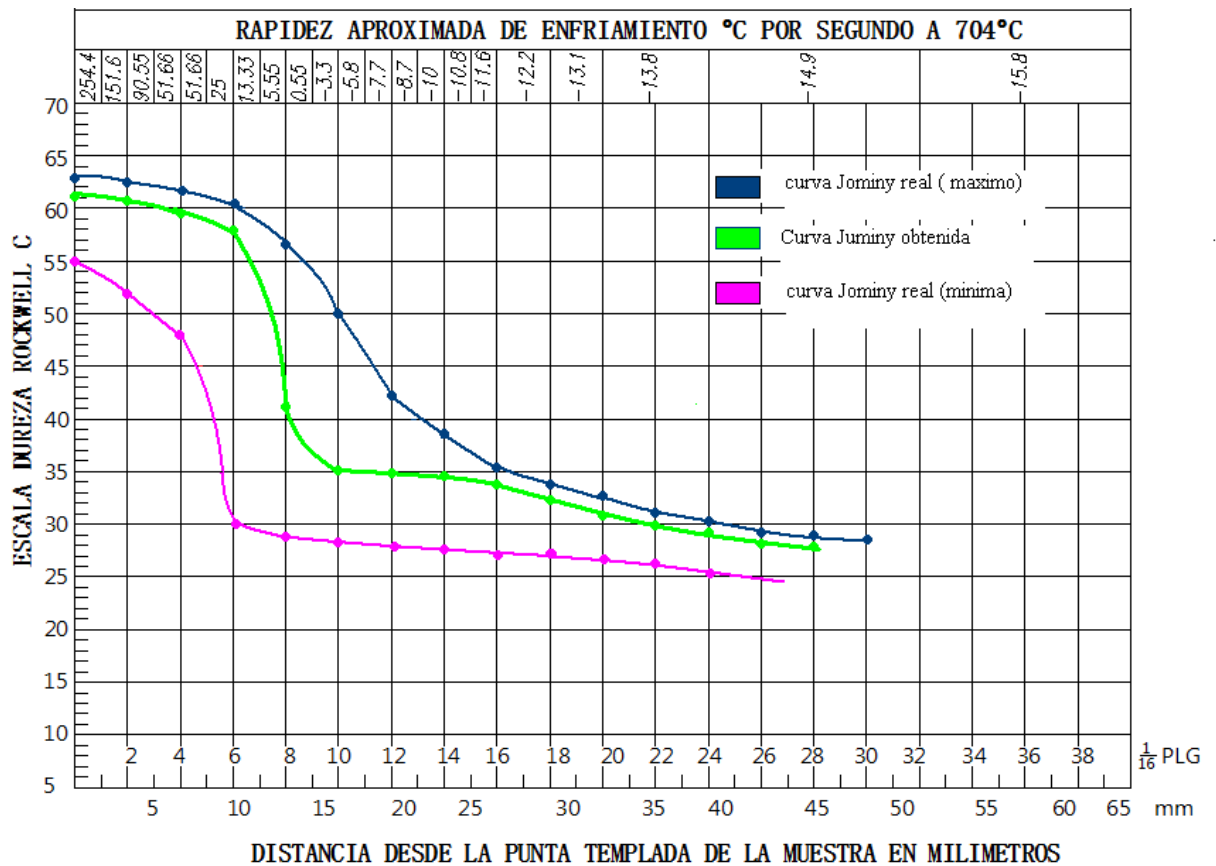


Figura 29. Curva Jominy para un acero 1040 obtenida en el laboratorio de Metalurgia y Tratamientos Térmicos.

Fuente: Autores

3.6.2 Interpretación de la curva para un acero 4140.- Para la interpretación del acero AISI 4140 se repite el mismo procedimiento dibujando las curvas ASTM y la curva obtenida en el laboratorio, observando que nuevamente en este acero la curva obtenida por nosotros está dentro del rango de las curvas máxima y mínima de templabilidad para el acero AISI 4140 como se observa en la Figura 30.

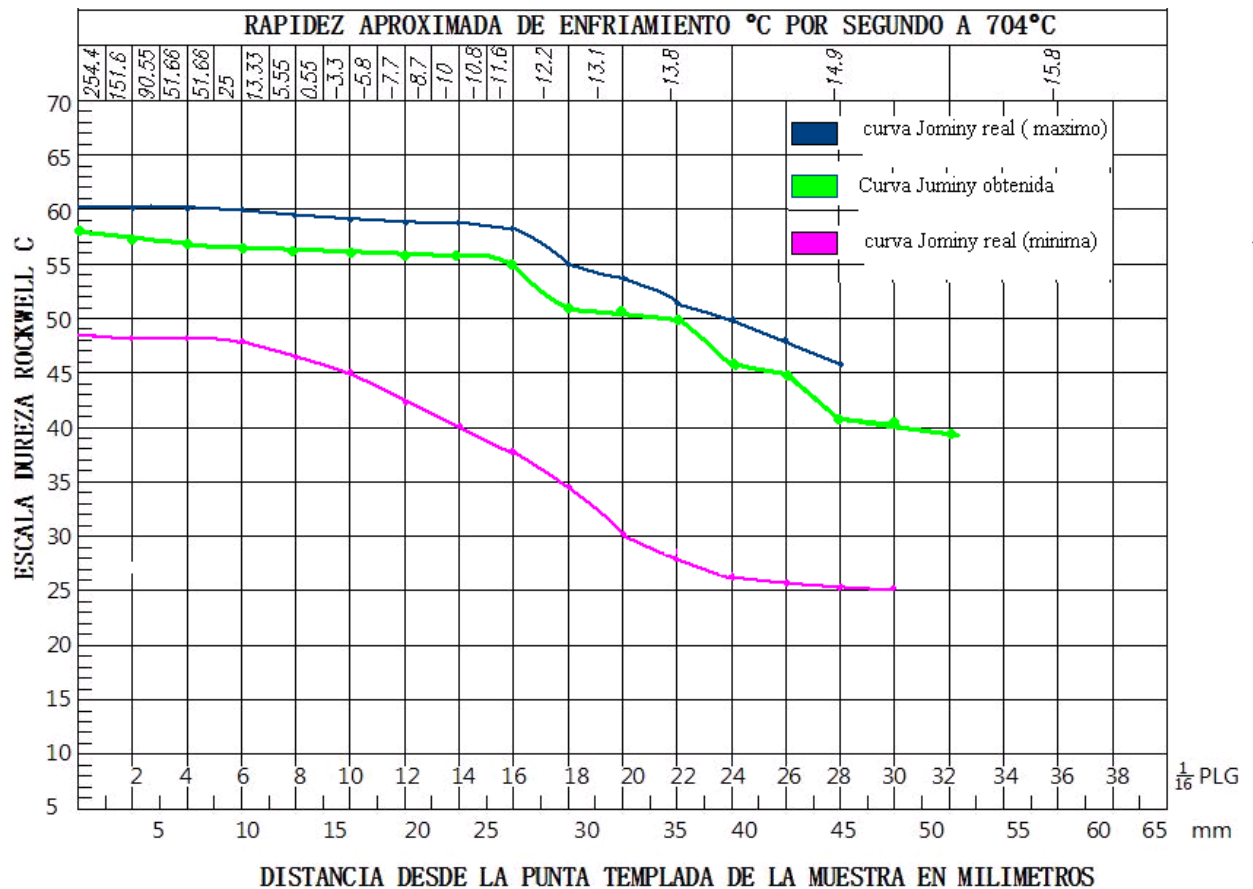


Figura 30 Curva Jominy para un acero 4140 obtenida en el laboratorio de Metalurgia y Tratamientos Térmicos.

Autor: Autores

3.7 Aplicación del Ensayo Jominy

El ensayo Jominy culmina con la obtención de las curvas de templabilidad Jominy. La aplicación directa de éste método científico en el campo industrial es la selección y reemplazo de aceros a partir de las curvas Jominy. Como se ha estudiado la velocidad de enfriamiento en condiciones de temple idénticas es la misma, incluso, para aceros de diferente composición química, es decir, aceros de diferente designación. A continuación se presenta un ejemplo:

3.7.1 Problema Tipo.- Un engranaje fabricado de acero AISI 10 40, que en un punto crítico tiene una dureza después del temple de 40 HRC y éste se está desgastando con

demasiada rapidez. Las pruebas han mostrado que éste punto crítico se necesita una dureza de por lo menos 50 HRC. Seleccione un acero que resulte apropiado.

3.7.2.- Solución.- Como se menciono anteriormente en condiciones idénticas de temple las velocidades de enfriamiento para distintos aceros son iguales. En la Figura 31 se presenta las dos curvas de templabilidad Jominy obtenidas en este trabajo de graduación producto.

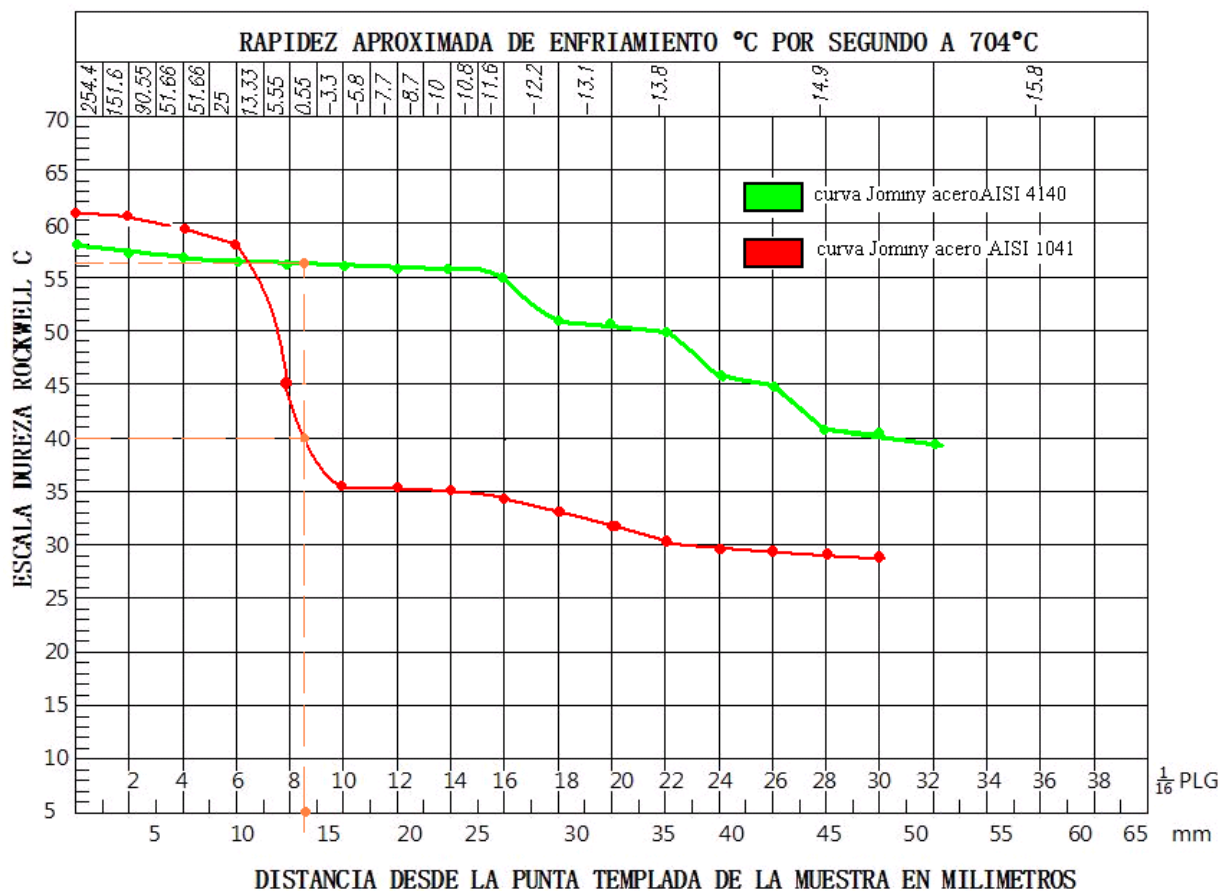


Figura 31. Curvas de templabilidad Jominy para aceros AISI 1041 Y 4140
Fuente: Vega/ Rivera

Si se observa la curva Jominy establecida para el acero AISI 1040; ésta posee una dureza de 40 HRC y corresponde a una distancia Jominy aproximada de 8/16 de pulgada. Si la distancia Jominy está relacionada directamente con la velocidad de enfriamiento, la distancia Jominy será la misma para los demás aceros. La curva del

acero AISI 4140 a una distancia de 8/16 muestra una dureza de aproximadamente 55 HRC. De tal manera que el acero AISI 4140 es apropiado y puede sustituir al deficiente acero en cuestión.

3.8 Conclusiones

Se puede observar una diferencia entre las curvas Jominy obtenidas en los aceros AISI 4140 y 1040, si bien los dos tienen un parecido porcentaje de carbono (0.37 – 0.44) el acero AISI 4140 posee en su composición química mayor cantidad de elementos aleantes como son el magnesio, cromo, níquel y otros, dando a este acero una mayor capacidad de temple o dureza en comparación con el acero AISI 1041, dicha diferencia es evidente al comparar las curvas obtenidas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La obtención de curvas de templabilidad mediante el ensayo Jominy facilita la selección o el reemplazo de aceros, dependiendo de la dureza deseada para la aplicación que se pretenda dar a los mismos.
- Para asegurar la validez del método Jominy se deben tener en cuenta las condiciones que lista la norma ASTM A 255-67 tanto en la construcción como en uso de la misma.
- Los aceros con mayor cantidad de elementos aleantes brindan la propiedad de poseer una mayor capacidad de temple, por lo tanto, mayor dureza.
- Los aceros que son de consumo local no difieren en gran medida de las curvas de templabilidad descritas en los manuales ASTM.
- Se recomienda una adecuada ubicación de la máquina Jominy al momento del ensayo, esta deberá estar colocada lo más cerca posible del horno, ya que se cuenta con solo 5 segundos para trasladar la probeta desde el horno hacia la máquina.
- Al momento del ensayo, el aire en el ambiente deberá ser lo más estable posible de manera que éste no influya en el proceso de temple y en sus resultados.
- Se debe tener mucho cuidado con la manipulación de la probeta al momento de ser extraída del horno, así como una correcta ubicación de la misma en la base del durómetro para evitar una lectura errónea al momento de efectuar las mediciones de dureza.
- Para un completo equipamiento del Laboratorio de Metalurgia y Tratamientos Térmicos se recomienda que, con futuros trabajos de graduación se desarrolle

el equipo necesario para poder realizar ensayos que sumados entre si puedan determinar la mayoría de propiedades en los aceros, como por ejemplo: el ensayo de tensión, el ensayo de flexión y el ensayo al impacto, entre otros.

BIBLIOGRAFIA

Referencias Bibliográficas

- ACOSTA, Alonso. “Introducción a la física”. México. Cultural. 1953
- ADDISON, Herbert. “Tratado de Hidráulica Aplicada” Italia. Ed. Gustavo Gili, 1954
- ASKELAND, Donald R. PRADEEP, Phulé. “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”. Cuarta Edición. México. Ed. Thomson. 2004
- AVNER, “Introducción a la Metalurgia física”, 2 ed, México, Ed. Mc.Graw-Hill, 1979.
- AXELROD, Burgitardt. “Manejo de las Máquinas y Herramientas”. New York. McGraw Hill. Parte 2. 1965
- BARREIRO, Apraiz. “Tratamientos Térmicos”, 8 ed, Madrid, Ed. Dossat, 1974
- C.H.P.Lupis and J.F. Elliott, “Acta Metallurgica”, Vol. 14, U.S. 529-538, Pergamon Press., 1966.
- COLLAZO, Javier L. “Diccionario Enciclopédico de Términos” New York. McGraw Hill, 1980
- GOMEZ, José y ARACIA, José Juan. “Saltos de agua y presas de embalse”. Tomo 1. Madrid, Ed. S.N. 1952
- HICKS, Tyler G. “Bombas, su selección y aplicación” 12 impresión.CECSA. México. Compañía Editorial Continental, 1981
- KALPAKJIAN, Serope. R, Steven. “Manufactura, Ingeniería y tecnología”. U.S. Pearson Educación, 2002
- KRAUSS, G. “STEELS: Heat Treatment and Processing Principles” U.S.A. Ed. ASM International, 1990.
- LARBURO, Nicolás. “Técnica del dibujo Elementos de Máquinas aplicaciones tecnológicas” Tomo 3 Madrid. Paraninfo. 1980
- MATAIX, Claudio “Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas” 4 Ed.

España. Harper y Row. 1976

- MEMMLER, Prof. K. “Introducción a la técnica moderna de ensayo de Materiales” Edit. LABOR S.A Barcelona – Buenos Aires
- Norma ASTM A 255- 67
- REBOLLERO, P. Coca J. JIMENEZ, Rosique.”Ciencia de Materiales teoría- ensayos- tratamientos” Edit. Pirámide. Madrid
- SCHICHT, Jonatan Walter. “Tesis de Ingeniería Mecánica. Modelo termo-metalúrgico aplicado al enfriamiento de aceros”. Universidad de Buenos Aires.
- TRINKS y MAWHINNEY. “Hornos Industriales” España. URMO ediciones. Vol 1. 1998
- WULFF, J. “Introducción a la Ciencia de los Materiales”, Vol II: propiedades termoquímicas, Mexico. ed Limusa - Wiley, 1968.

Referencia Electrónicas

- FLINN, R.A., and TROJAN, P.K., Engineering Materials and Their Applications, 4th ed. (Boston, Mass: Houghton Mifflin Co., 1995)
- CALLISTER, William D. Jr., Materials Science and Engineering: An Introduction, 7th ed. (USA, John Wiley & Sons, Inc. 2007)

ANEXOS

ANEXO 1: TEMPERATURAS DE AUSTENIZACION PARA DIFERENTES ACEROS

Table 2 (Continued). Typical Heat Treatments for SAE Alloy Steels

Directly Hardenable Grades					
SAE No.	Normalize Deg. F.	Anneal Deg. F.	Harden Deg. F.	Quench *	Temper Deg. F.
1330	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
1335 & 1340	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
2130	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
2140 & 2145	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
3130	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
3140 & 3145	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
3145 & 3150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4030 & 4040	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4040 & 4050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4050 & 4060	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4130	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4137 & 4140	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4140 & 4150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4340	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
4640	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5045 & 5050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5130 & 5140	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5145 & 5150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5155 & 5160	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5245 & 5250	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5345 & 5350	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5445 & 5450	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5545 & 5550	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5645 & 5650	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5745 & 5750	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5845 & 5850	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
5945 & 5950	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6045 & 6050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6145 & 6150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6245 & 6250	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6345 & 6350	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6445 & 6450	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6545 & 6550	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6645 & 6650	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6745 & 6750	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6845 & 6850	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
6945 & 6950	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7045 & 7050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7145 & 7150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7245 & 7250	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7345 & 7350	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7445 & 7450	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7545 & 7550	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7645 & 7650	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7745 & 7750	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7845 & 7850	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
7945 & 7950	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8045 & 8050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8145 & 8150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8245 & 8250	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8345 & 8350	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8445 & 8450	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8545 & 8550	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8645 & 8650	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8745 & 8750	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8845 & 8850	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
8945 & 8950	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9045 & 9050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9145 & 9150	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9245 & 9250	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9345 & 9350	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9445 & 9450	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9545 & 9550	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9645 & 9650	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9745 & 9750	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9845 & 9850	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
9945 & 9950	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
10045 & 10050	1600-1700 and/or	1500-1600	1525-1575	A	To desired hardness
Heat Treating Grades — Chromium-Nickel Austenitic Steels					
SAE No.	Normalize	Anneal*	Harden Deg. F.	Quenching Medium	Temper
3030 to 3040	.....	1800-2100	.....	Water or Air	.....

* For grades 3030 to 3040, normalize at 1600-1700 F. and temper at 1000-1100 F.

Continuación. ANEXO 1

Table 1. Typical Heat Treatments for SAE Carbon Steels

Carburizing Grades								
SAE No.	Normalize Deg. F.	Carburize Deg. F.	Cool *	Reheat Deg. F.	Cool *	2nd Reheat Deg. F.	Cool *	Temper Deg. F.
1010 to 1022	.....	1650-1700	A	.....	..	.....	..	250-400
	.....	1650-1700	B	1400-1450	A	.....	..	250-400
	.....	1650-1700	C	1400-1450	A	.....	..	250-400
	.....	1650-1700	C	1650-1700	B	1400-1450	A	250-400
	.....	1500-1650 ¹	E	.....	..	.....	..	Optional
1024	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
	.....	1650-1700	E	.....	..	.....	..	250-400
	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
1025	.....	1650-1700	A	.....	..	.....	..	250-400
1026	.....	1500-1650 ¹	B	.....	..	.....	..	Optional
1027	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
1030	.....	1500-1650 ¹	B	.....	..	.....	..	Optional
	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
1111	.....	1500-1650 ¹	B	.....	..	.....	..	Optional
1112	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
1113	.....	1650-1700	A	.....	..	.....	..	250-400
1109 to 1120	.....	1650-1700	B	1400-1450	A	.....	..	250-400
	.....	1650-1700	C	1400-1450	A	.....	..	250-400
	.....	1650-1700	C	1650-1700	B	1400-1450	A	250-400
	.....	1500-1650 ¹	E	.....	..	.....	..	Optional
	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
1126	.....	1500-1650 ¹	E	.....	..	.....	..	Optional
	.....	1350-1575 ¹	D	.....	..	.....	..	Optional
Heat Treating Grades								
SAE Number	Normalize Deg. F.	Anneal	Harden Deg. F.	Quench *	Temper Deg. F.			
1025 & 1026	.....	.....	1575-1650	A	To Desired Hardness			
1011 to 1035	.....	.....	1525-1575	B				
1036	1600-1700	.....	1525-1575	B				
	.....	.....	1525-1575	B				
1037 to 1040	1600-1700	.....	1525-1575	B				
	.....	.....	1525-1575	B				
1041	1600-1700 and/or 1400-1500	.....	1475-1550	E				
1042 to 1050	1600-1700	.....	1475-1550	E				
1051 & 1055	1550-1650 and/or 1400-1500	.....	1475-1550	E				
1060 to 1074	1550-1650 and/or 1400-1500	.....	1475-1550	E				
1075	.....	1400-1500 ²	1450-1500	A				
1080 to 1090	1550-1650 and/or 1400-1500 ²	.....	1450-1500	E ³				
1095	.....	1400-1500 ⁴	1450-1500	P				
	.....	1400-1500 ⁵	1500-1600	E				
1132 & 1137	1600-1700 and/or 1400-1500	.....	1525-1575	B				
1138 & 1140	.....	.....	1500-1550	B				
	1600-1700	.....	1500-1550	B				
1141 & 1144	.....	1400-1500	1475-1550	E				
	1600-1700	1400-1500	1475-1550	E				
1145 to 1151	.....	.....	1475-1550	B				
	1600-1700	.....	1475-1550	B				

* Symbols: A = Water or Brine; B = Water or oil; C = Cool slowly; D = Air or

ANEXO 2: NORMA JOMINY

Nota: Traducido del idioma inglés al español por la Ing. Adriana Díaz

Esta prueba se rige a la norma que otorga la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) por sus siglas en inglés. Y específicamente por su código A255 - 67 para el ensayo Jominy como se detalla a continuación en la Norma original traducido al idioma Español.

APROBADO COMO
NORMA DE EE UU G58.1-1968
POR EL INSTITUTO DE NORMALIZACION DE EE UU

Método Estándar de
**ENSAYO DE TEMPLABILIDAD PARA DETERMINAR LA DUREZA
DEL ACERO**



Designación ASTM: A 255 – 67

Esta Norma de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales se emite bajo la designación fijada A 255; el número final indica el año de adopción original como estándar o, en el caso de revisión, el año de la última revisión.

Ámbito

1. (a) Este método cubre el procedimiento para determinar la dureza del acero por medio del ensayo de enfriamiento o Método Jominy. La prueba consiste en

enfriamiento con agua a un extremo de la probeta cilíndrica de 1 pulgada de diámetro y midiendo hasta el punto en que se endurezca el extremo enfriado del acero.

(b) La dureza es una medida de la profundidad en la que el acero se endurecerá al ser enfriado desde su temperatura de austenización. Se mide cuantitativamente, usualmente al notar hasta qué grado o profundidad del endurecimiento de un tamaño y forma estándar de la probeta en un enfriamiento estandarizado. En la prueba de enfriamiento la profundidad de la dureza es la distancia a lo largo de la probeta desde el extremo enfriado para un grado dado de endurecimiento.

Aparato

2. **(a) Soporte para la Probeta.-** Un aparato que sostenga verticalmente la probeta para que la parte inferior de la probeta quede a una distancia de $\frac{1}{2}$ pulgada encima del orificio del aparato de enfriamiento con agua. Un tipo de soporte satisfactorio para la probeta estándar de 1 pulg. se muestra en Fig. 1.

NOTA: 1.- Un soporte adecuado para otros tamaños y formas de probetas se muestra en la Fig. 6, Apéndice II.

(b) Aparato de enfriamiento con agua.- Un aparato de enfriamiento con agua de una adecuada capacidad que permita un flujo de agua que pueda ser controlada a una altura de $2\frac{1}{2}$ pulg. y pase a través de un orificio de $\frac{1}{2}$ pulg de diámetro.

Se considera satisfactorio un tanque de capacidad suficiente con una pequeña bomba y válvulas de control. La línea de abastecimiento de agua deberá también ser suministrada con una válvula de apertura rápida.

Probetas

a) Probetas forjadas.- La probeta deberá ser de aproximadamente 1 pulgadas de diámetro por 3 o 4 pulgadas de longitud, con los medios para colgarlo en posición vertical para el enfriamiento. Las dimensiones de probetas preferidos y de las dos

probetas opcionales (Nota 2) se muestran en las Figs. 2, 3, y 4. La probeta deberá ser mecanizada desde una barra previamente normalizada y de tal tamaño como para permitir el retiro completo de la descarburación en el mecanizado hasta que esté de 1 pulgada de diámetro. El extremo de la probeta que será enfriado con agua deberá tener un terminado razonablemente liso, preferiblemente producido al pulirlo. La normalización puede aplazarse por medio de un acuerdo entre el proveedor y el comprador. La historia térmica previa de la probeta ensayada siempre debe ser registrada.

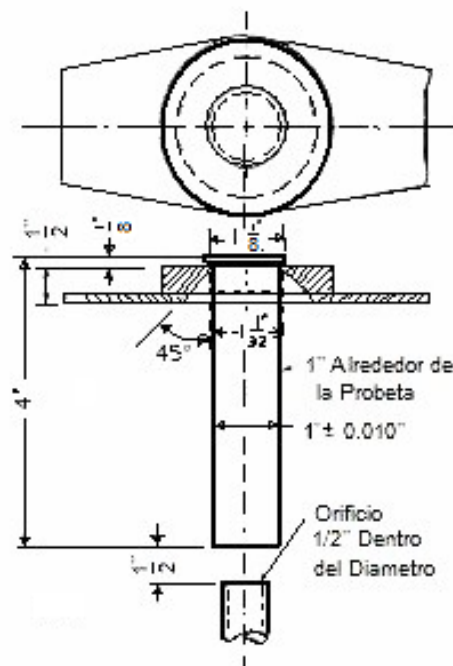


FIG 1.- Probeta de Ensayo en el Soporte De Enfriamiento con agua.



FIG 2.- Probeta de Preferencia para el Ensayo.

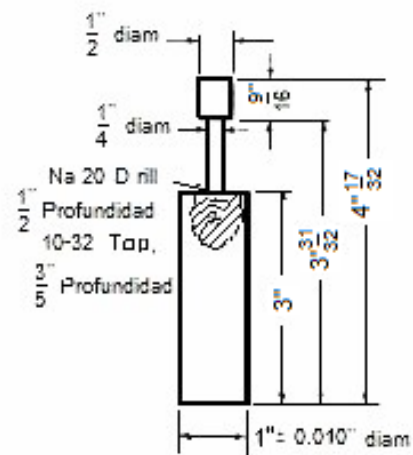


FIG 3.- Probeta Opcional.

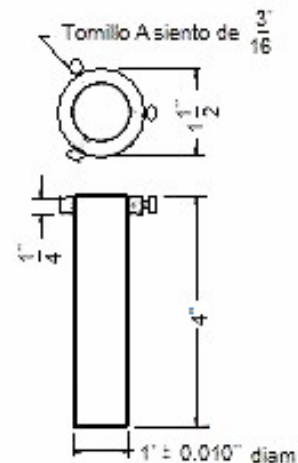


FIG 4.- Probeta Opcional.

Procedimiento

3(a) Calentamiento.- Coloque la probeta en un horno que esté en la temperatura de austenización y manténgalo en esta temperatura durante 30 minutos. La producción de la prueba podrá alargarse hasta los 35 minutos sin apreciarse resultados alterados. Es importante calentar la probeta en un ambiente en el que prácticamente no se produzca carbonilla y que produzca una mínima cantidad de descarburación.

De presentarse carbonilla en exceso se deberá calentar la probeta en una posición vertical en un recipiente que tenga una tapa fácilmente removible y que contenga una capa de carbón natural con el fondo de la probeta apoyado sobre el carbon.

Como un método alternativo, coloque la probeta en un tubo perpendicular adherida a una base plana, ambos de un metal resistente al calor, con el cuello proyectándose a una tenaza. Coloque un disco de grafito o carbón, o una capa de material carbonoso como es el carbón de coque, en el fondo del tubo para prevenir carbonilla.

Para un accesorio particular y el horno, determine el tiempo para calentar la probeta a la temperatura de apagado al insertar una termocupla en un agujero perforado axialmente en la parte superior de la probeta. Repita éste procedimiento periódicamente, por ejemplo, una vez al mes, para cada combinación de accesorio y horno.

(b) *Enfriado*.- Ajuste el aparato de enfriamiento con agua para que el flujo de agua suba a una altura libre de 2½ pulgadas por encima del orificio de ½ pulgadas sin que la probeta esté en posición. El soporte de la probeta debe estar seco al comienzo de cada prueba.

Luego coloque la probeta calentada en el soporte para que el fondo sea de ½ pulgadas por encima del orificio, y abra el agua por medio de la válvula de rápida apertura.

El tiempo que transcurre entre el retiro de la probeta del horno y el inicio del enfriamiento no debe excederse de 5 segundos. Dirija el flujo de agua, a una temperatura de 40 a 85 F (4.5 a 29.5 C), contra la cara inferior de la probeta durante no menos de 10 minutos. Hasta donde sea posible, mantenga una condición de aire sin alteración de movimiento alrededor de la probeta durante el enfriamiento. Si es que la probeta no está fría cuando es removida del accesorio inmediatamente enfríelo en agua.

(c) Medición de dureza. Realice las lecturas de dureza en términos de Rockwell C en la probeta en pasos de 1/10 pulg. en la primera pulgada desde el extremo enfriado y en los escalones a discreción del operador desde ese punto. Enumere la serie de lecturas de dureza desde el extremo enfriado de la probeta. Realice las lecturas de dureza sobre superficies planas que estén mutuamente paralelas, 180 grados aparte, en sentido desde la base de la probeta. Desbaste las superficies planas hasta una profundidad mínima de 0.015 pulg. para que una superficie plana se utiliza como base, retire abolladuras previas al pulir. Se puede omitir pulir el acabado superficial si es que la base del accesorio para la prueba es rugosa para que encaje con las abolladuras.

Tiene que conocerse la posición exacta de cada lectura de dureza con respecto al extremo enfriado de la probeta. Es imperativo el uso del accesorio para poder localizar abolladuras con precisión y para asegurar la exactitud de las comparaciones entre pruebas. Tenga cautela en asegurar que no exista ningún movimiento vertical en el ensamblaje de la probeta, el yunque, y el tornillo elevador, cuando la carga principal sea ejercida

ANEXO 3: PLANOS:

Lamina 1 : Sistema hidráulico de la Máquina Jominy

Lamina 2: Cilindros utilizados como tanques de alimentación y porta-probeta.

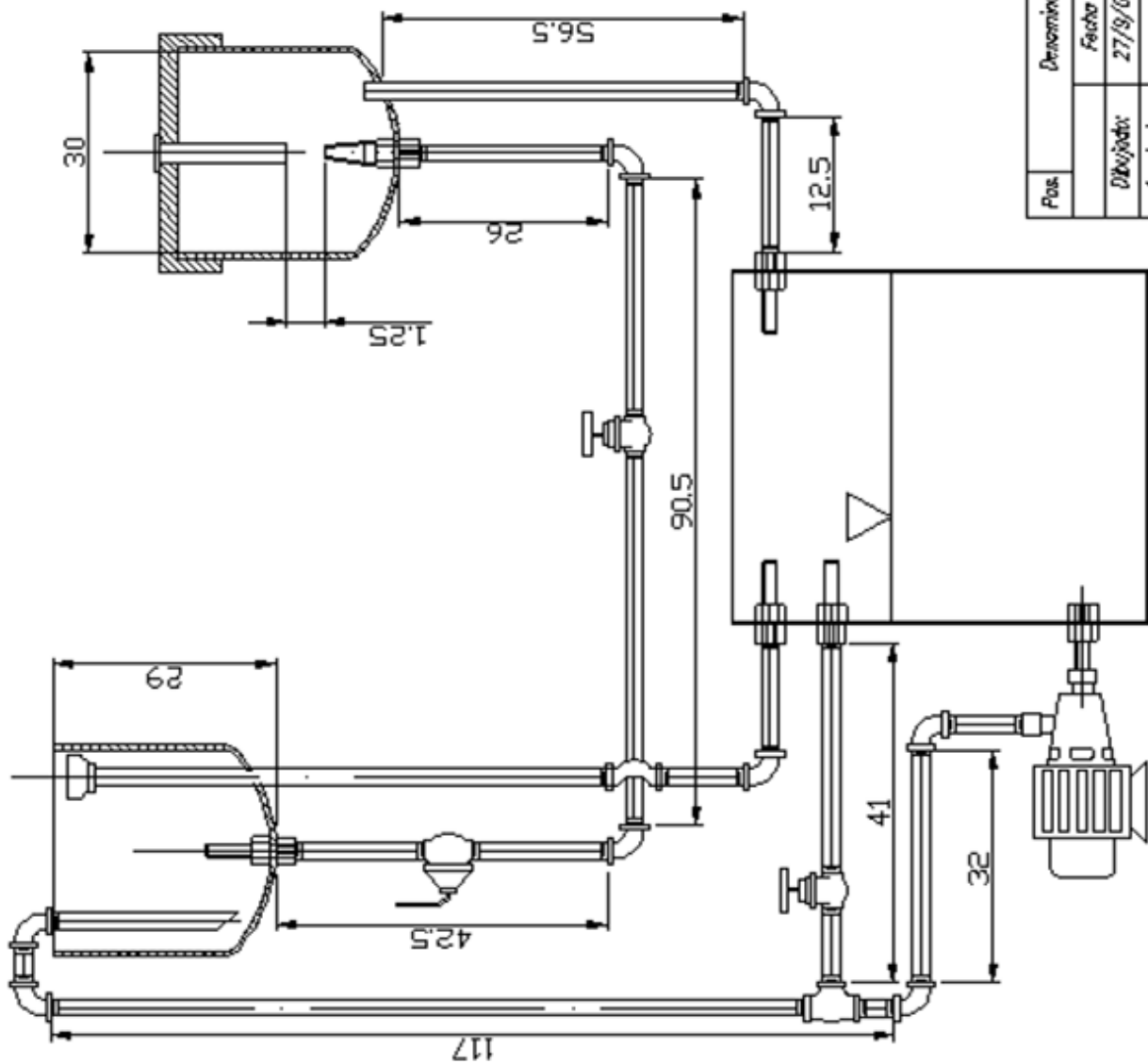
Lamina 3: Estructura y disposición de elementos del Ensayo Jominy.

Lamina 4: Boquilla con reducción de $\frac{3}{4}$ plg a $\frac{1}{2}$ plg.

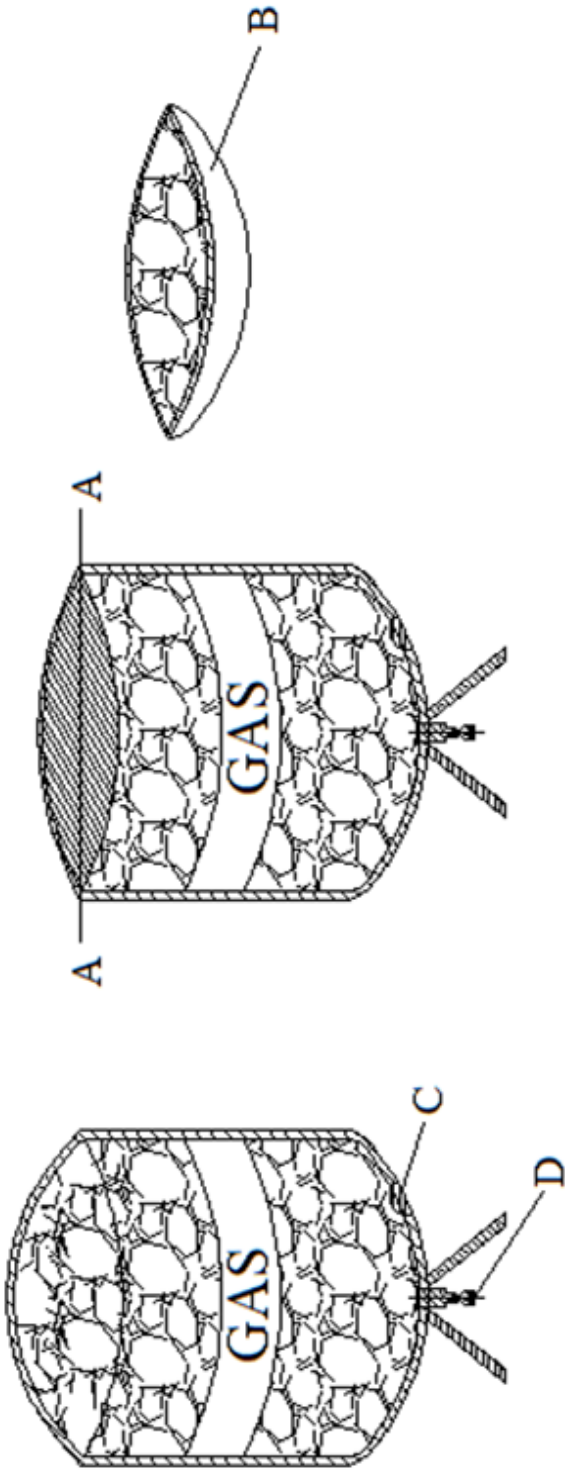
Lamina 5: Proceso de trabajo para el mecanizado de la boquilla.

Lamina 6: Probeta normalizada de 1plg de diámetro.

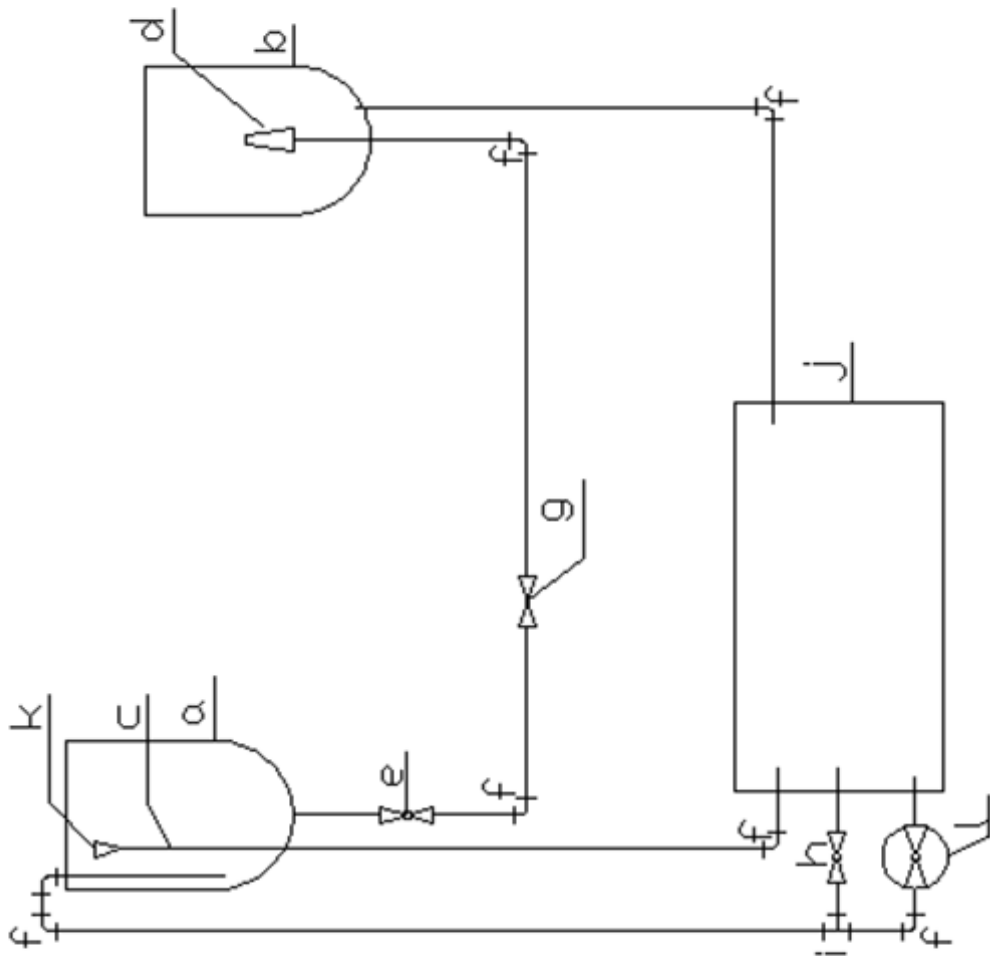
Lamina 7: Proceso de trabajo para la construcción de la probeta.



Pos.	Denominación		Normas		Material	Cont.	Notas	
		Fecha	Nombre				UNIVERSIDAD DEL AZUAY	
Dibujado:		27/9/08	Martin Rivera					
Aprobado:			Daniel Vega					
ESCALA:	SISTEMA HIDRAULICO DE LA MÁQUINA							ASCA 20 Ing. Mecánica Automotriz
1:7.25	JOMINY								Laminar ?



B. SECCIÓN DEL CORTE A-A											
C. FUSIBLE											
D. BOQUILLA DE DESCARGA											
Pro:	Denominación		Normas		Material	Cont.	Materias	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY			
	Fecha		Nombre								
	Dibujado: 1/10/08		Martin Rivera								
	Aprobado:		Daniel Vega								
ESCALA: 1:0		CILINDROS UTILIZADOS COMO TANQUES DE ALIMENTACION Y PORTAFROBETA								AREA DE: Ing. Mecánica Automotriz	
										Laminar 2	



- | | |
|----|-----------------------------------|
| a. | Tanque alimentador. |
| b. | Tanque porta - probeta. |
| c. | Revosadero. |
| d. | Boquilla Normalizada. |
| e. | Válvula de apertura rápida. |
| f. | Codo de 90 y 3/4plg |
| g. | Válvula de calibración de caudal. |
| h. | Válvula de apertura rápida. |
| i. | "T" de 3/4 plg. |
| j. | Depósito principal de agua. |
| k. | Reducción de 1.5 plg a 3/4plg. |
| 1. | Bomba eléctrica de 0.5Hp. |

Pais	Denominación		Normas	Material	Cont.	Notas
		Fecha	Nombre			UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dibujado:		25/9/08	Martin Rivera			
			Daniel Vega			
ESCALA: 1:50.5	ESTRUCTURA Y DISPOSICION DE ELEMENTOS DEL ENSAYO JOMINY			AREA DE: Ing. Mecánica Automotriz		
				Laminar: 4		



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL

Nombre: **Riviera-Vega**

Cantidad: **1**

Material: **Acero ST - 37**

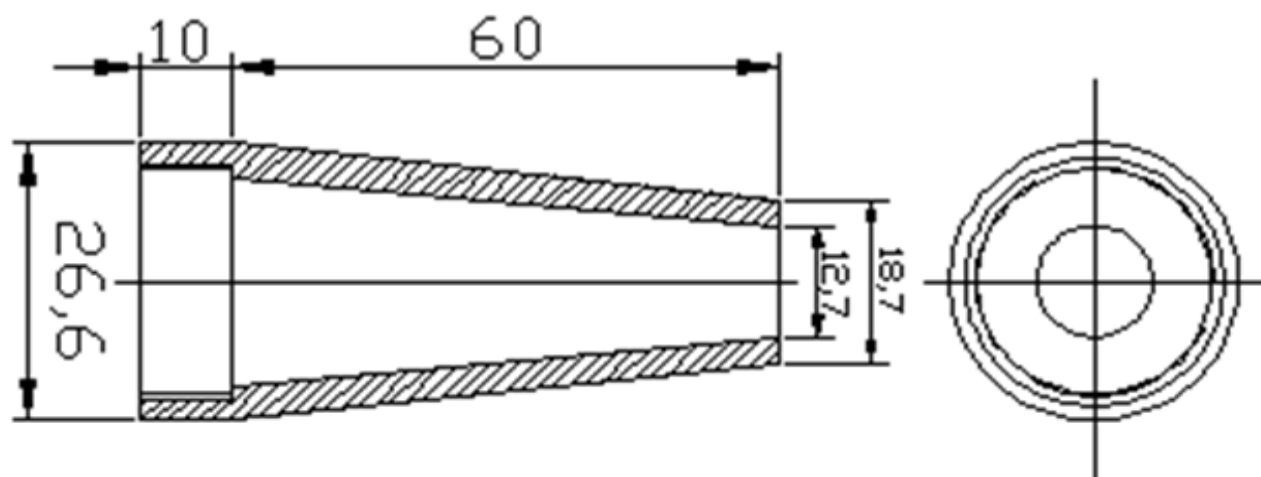
PROCESO DE TRABAJO

Especialidad: **Ing. Mecánica**

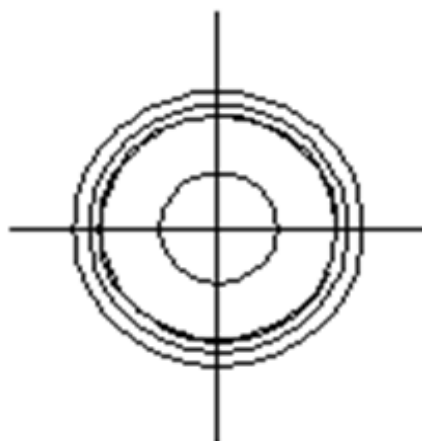
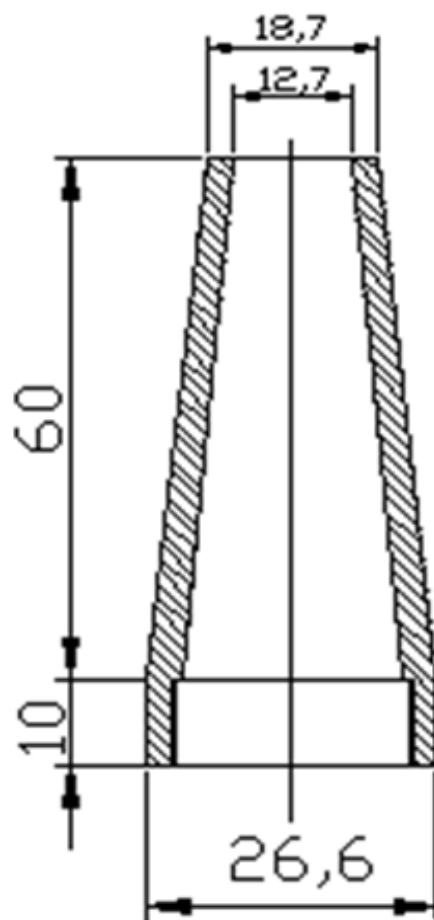
Denominación: **Boquilla**

Nro: **5**

Año: **2009**



Fase	Oper.	Designación	Draquis	Util	Herr. Verif.	Avance	Veloc. de Cor.	R.P.M	T
1		A serrado							
	1.1	Se corta la pieza 75mm		sierra	Pls de rey				
2		Refrenado							
	2.1	Se rebajan los extremos hasta 73mm		Cuchilla de refren	Pls de rey	0.9mm	25m/min	995T 1000P	
3	3.1	Taladrado interior con broca hasta Ø=12mm		Broca y mandril porta brocas	Calibrador			1326T 1000P	
4		Conicidad							
	4.1	Se trabaja la pieza dándole una conicidad interior		Cuchilla de cilindro		0.05mm	25m/min	1326T 1000P	
	4.2	Realizamos el mismo trabajo para el exterior de la pieza		Cuchilla de cilindro		0.05mm	25m/min	1326T 1000P	
5		Se realiza un trabajo de roscado en la boquilla		Cuchilla de refren	Calibrador	0.9mm	25m/min	995T 1000P	



Pos.	Denominación	Normas: ASTM A255-67	Materia: Acero	Cant: 1	Notas
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DEL AZUAY	
Dibujado:	25/9/08	Martin Rivera			
Aprobado:		Daniel Vega			
ESCALA: 1:20:1	BOQUILLA CON REDUCCION DE 2plg A 1plg			AREA DE Ing. Mecánica Automotriz	
				Laminar	+



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL

Nombre: **Riviera-Vega**

Cantidad: **2**

Material: **Acero 1040-4140**

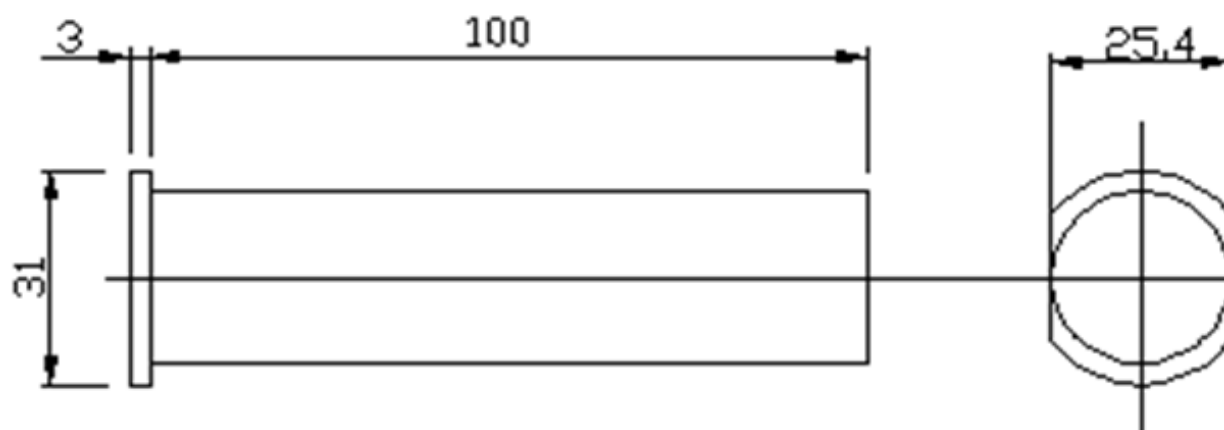
PROCESO DE TRABAJO

Especialidad: **Ing. Mecánica**

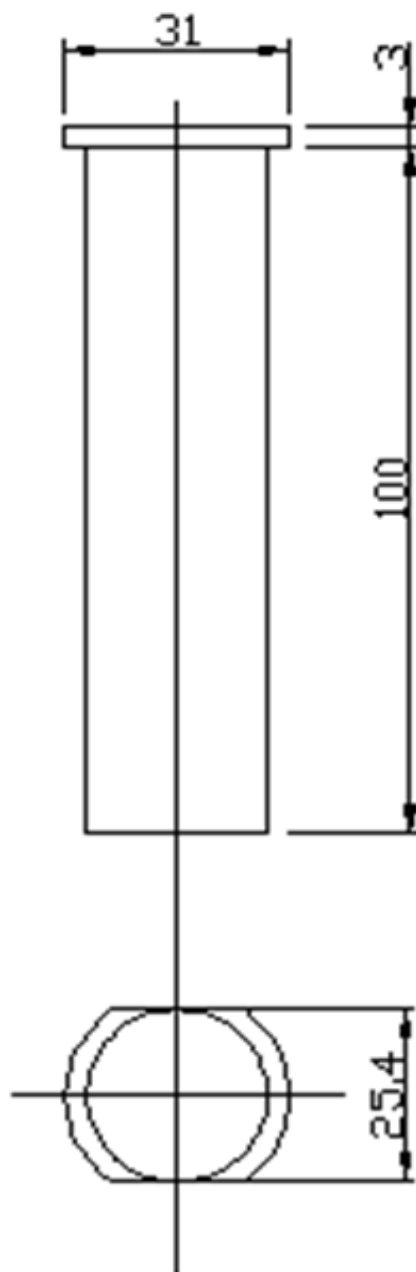
Denominación: **Probeta**

Nro: **7**

Año: **2009**

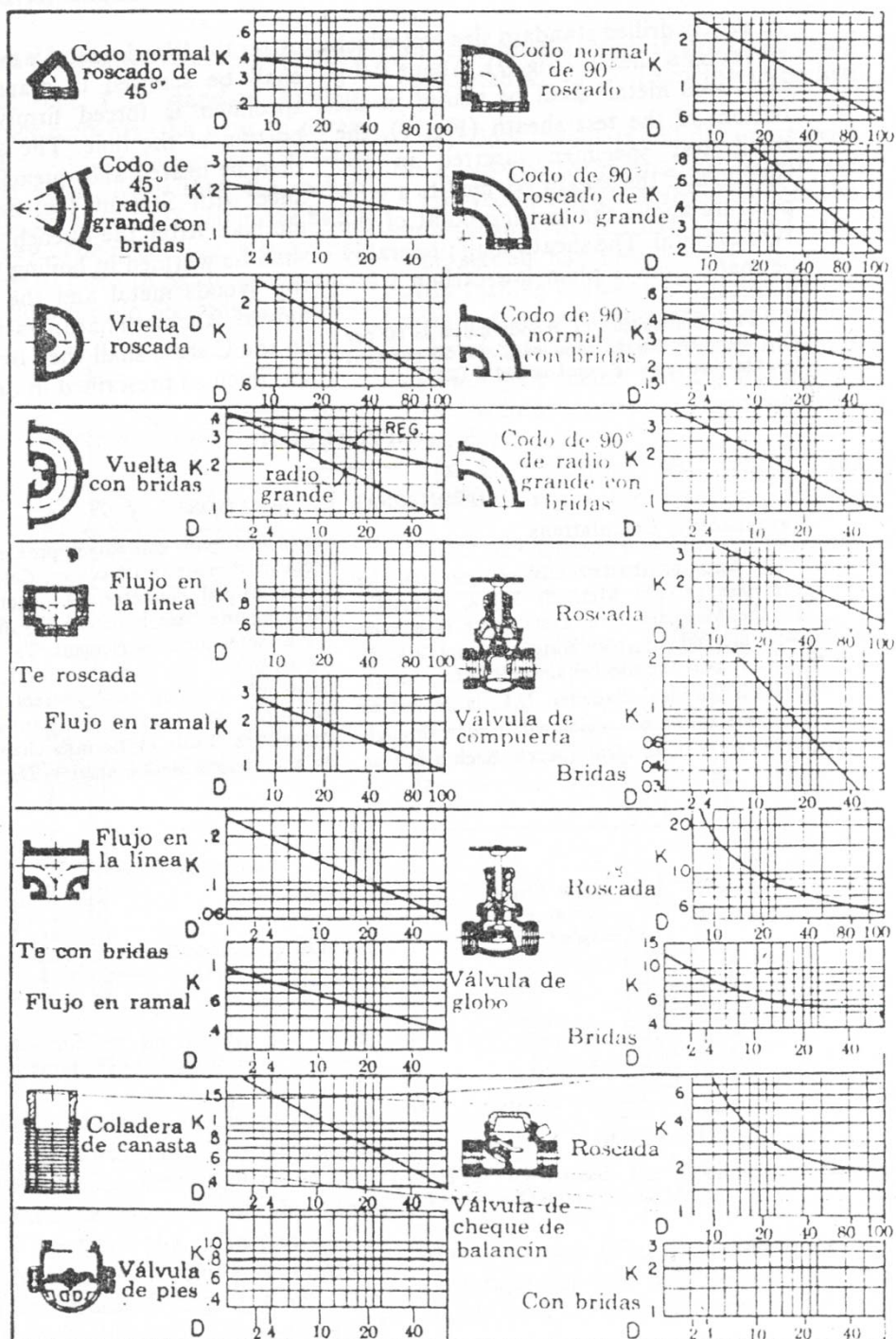


Fase	Oper.	Designación	Craquis	Utl	Herr. Verif.	Avance	Veloc. de Car.	R.P.M	T
1		Aserrado							
	1.1	Se corta la pieza a 115mm		sierra	Pie de rey				
2		Refrentado							
	2.1	Se rebajan los extremos hasta 110mm		Cuchillo de refren	Pie de rey	0.9mm	25m/min	995T 1000P	
3	3.1	Agujero de centros		Braca y mandril porta bracos	Collarador			995T 1000P	
4		Cilindrado							
	4.1	103mm de longitud a Ø25.4mm		Cuchillo de cilindro		0.05mm	25m/min	1306T 1000P	
5		Se refrenta la base de Ø30mm							
6		Se refrenta la pieza hasta obtener la longitud de 103mm		Cuchillo de refren	Collarador	0.9mm	25m/min	995T 1000P	



Pos.	Denominación	Normas: ASTM A255-67	Materia: Acero	Cant: 2	Notas
	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD DEL AZUAY	
Dibujado:	25/9/08	Martin Rivera			
Aprobado:		Daniel Vega			
ESCALA: 1:1	FROBETA NORMALIZADA DE 1plg DE DIAMETRO			AREA DE: Ing. Mecánica Automotriz	
				Lamina: 8	

ANEXO 4: COEFICIENTES DE PÉRDIDA



* Cortesía del Hidraulic Institute. $h = k \frac{v^2}{2g}$ metros de fluido.

ANEXO 5: dimensiones de tubos de acero.

Tabla 1.2.- Dimensiones de Tubos de Acero.

Tamaño nominal del tubo, plg	Diámetro exterior, plg	Cédula Núm.	Espesor de la pared, plg	Diámetro interior, plg	Area seccional del metal, plg ²	Area de sección transversal interior, pie ²
$\frac{1}{8}$	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040
		80	0.065	0.215	0.093	0.00025
$\frac{1}{4}$	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050
$\frac{3}{8}$	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133
		80	0.136	0.423	0.217	0.00098
$\frac{1}{2}$	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163
$\frac{3}{4}$	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300
1	1.315	40	0.133	1.049	0.404	0.00600
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499
$1\frac{1}{2}$	1.900	40	0.145	1.610	0.799	0.01414
		80	0.200	1.500	1.068	0.01225
		160	0.281	1.338	1.429	0.00976
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330
		80	0.215	1.939	1.477	0.02030
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587
4	4.500	40	0.237	4.026	3.173	0.08840
		80	0.337	3.826	4.407	0.07986
5	5.563	40	0.258	5.047	4.304	0.1390
		80	0.375	4.813	6.112	0.1263
		120	0.500	4.563	7.953	0.1136
		160	0.625	4.313	9.696	0.1015
6	6.625	40	0.280	6.065	5.584	0.2006
		80	0.432	5.761	8.405	0.1810
10	10.75	40	0.365	10.020	11.90	0.5475
		60	0.500	9.750	16.10	0.5185

**ANEXO 6: TABLA DE CONVERSION DE DUREZA SEGÚN ROCKWELL
C. DUREZA BRINELL**

TABLA DE CONVERSION DE DUREZA SEGÚN ROCKWELL C EN DUREZA BRINELL			
Dureza según Rockwell	Dureza según Brinell	Dureza según Rockwell	Dureza según Brinell
47	448	33	311
46	438	32	303
45	427	31	295
44	415	30	288
43	404	29	281
42	398	28	275
41	382	27	265
40	371	26	264
39	360	25	259
38	352	24	254
37	345	23	244
36	334	22	239
35	327	21	234
34	319	20	229

ANEXO 7: HOJA DE REGISTRO PARA LA TOMA DE DATOS EN EL ENSAYO JOMINY

FECHA:	
LABORATORIO:	
TIPO DE LA MUESTRA:	
ENSAYO NUMERO:	

TIPO	TRATAMIENTO TERMICO No.	TAMANO DEGRADO	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	TEMPERATURA NORMAL °C	TEMPERATURA DE TRIPLE °C

OBSERVACIONES:

RAPIDEZ APROXIMADA DE ENFRIAMIENTO °C POR SEGUNDO A 704°C

$\frac{1}{16}$ PLG

mm

DISTANCIA DESDE LA PUNTA TEMPLADA DE LA MUESTRA EN MILIMETROS

Pos.	Denominación	Normas: ASTM A255-67	Material:	Cant.	Notas
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY		
Dibujado:	11/03/09	Martin Rivera			
Aprobado:		Daniel Vega			
ESCALA: 1:1		FORMATO PARA REALIZAR EL ENSAYO JOMINY		AREA DE: Ing. Mecánica Automotriz Lamina: 8	

Fuente: Autores