



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA**

Mantenimiento del Horno Eléctrico de Tratamiento Térmico Heraeus K1251 y Puesta en Marcha del Equipo de Ensayo de Templabilidad Jominy del Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios.

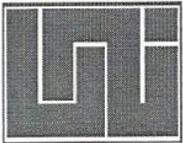
AUTORES

Br. Anabel Aburto Rodríguez.
Br. Ronaldo Antonio Silva Rojas.

TUTOR

MSc. Ing. Jorge Rodríguez García.

Managua, 21 de Agosto de 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

ABURTO RODRIGUEZ ANABEL

Carne: **2010-32921** Turno **Diurno** Plan de Estudios **972A** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y uno días del mes de agosto del año dos mil quince.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

SILVA ROJAS RONALDO ANTONIO

Carne: **2010-32966** Turno **Diurno** Plan de Estudios **972A** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y uno días del mes de agosto del año dos mil quince.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad



DECANATURA

A: Brs. Anabel Aburto Rodríguez
Ronaldo Antonio Silva Rojas

DE: Facultad de Tecnología de la Industria

FECHA: 13 de abril del 2015

Por este medio hago constar que su trabajo de Investigación Titulado "Mantenimiento del Horno Eléctrico de Tratamiento Térmico Heraeus K1251 y Puesta en Marcha del Equipo de Ensayo de Templabilidad Jominy del Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios" Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, y que contara con el MSc. Ing. Jorge Rodríguez García, Como profesor guía, ha sido aprobado por esta Decanatura por lo que puede proceder a su realización.

Cordialmente,

Ing. Daniel Cuadra Horney
Decano



C/c Expediente

DEDICATORIA:

A Dios Padre Celestial por haberme dado la Fortaleza e Inteligencia necesaria para Terminar sin Ningún Contratiempo mis Estudios Universitarios.

A mis Amados *Hermanos y Hermana* y muy especialmente a mis Padres: *Miguel Aburto Zuniga y María de Jesús Rodríguez Calderón* por brindarme su apoyo incondicional aun en los momentos en los que la vida nos puso duros obstáculos y la situación nos hacía más difícil las cosas, Gracias por Priorizar Siempre mis Estudios.

A mis *Queridas Tías Maternas* por acogerme en sus hogares y brindarme su comprensión, cariño y sustento durante todos estos cinco largos años de estudios.

A nuestro Apreciado Tutor, el Excelentísimo *MSc. Ing. Jorge Rodríguez García* por haber aceptado Guiarnos durante todo el proceso Monográfico, Gracias por su Aprecio y Amistad.

Al *Br. Ronaldo Antonio Silva Rojas*, mi Querido Compañero de Trabajo y Amigo Incondicional, Gracias por Creer en Mí y Aceptarme como Complemento para Realizar Juntos el Desarrollo y Defensa de nuestro Proyecto de Culminación de Estudios y poder optar así al Título de Ingenieros.

A todo el *Gremio de Maestros* en especial al *Ing. Mec. Pablo Mota* de los cuales tuve el honor de conocer y aprender de ellos los conceptos y anécdotas que sin duda alguna me serán útiles en la vida, Gracias por su Tolerancia y Paciencia, por su Vocación. Y les insto sigan instruyéndose para que cada día de sus vidas traten de forjar mejor a las futuras generaciones del país.

A todos aquellos que me *Tendieron una Mano Amiga* a lo largo estos años de estudio y durante el desarrollo de este trabajo, Gracias por Compartir las Penas y Alegrías.

Y por último pero no menos importante a Mí: *Br. Anabel Aburto Rodríguez* ya que aun teniendo el apoyo económico, moral y social de aquellos antes mencionados, sin mi disposición y ganas de sacar a delante a mi familia, llegar hasta este punto de mi vida no hubiese sido posible sino Gracias a mi Deseo de Superación.

DEDICATORIA:

La presente Tesis está dedicada primeramente a Dios todo poderoso por brindarme salud, vida y sabiduría para poder culminar mis estudios superiores.

A mis padres *Ronaldo Antonio Silva* y *Sedy Urania Rojas Burgos* por su sacrificio, dedicación, consejo y apoyo para formarme como un hombre de buenos valores y principios.

A mi compañera *Br. Anabel Aburto Rodríguez*, por su amistad, disponibilidad, confianza, paciencia y por la oportunidad de trabajar en conjunto para poder realizar nuestro Proyecto de Culminación de Estudios.

Al cuerpo de docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería, por transmitirnos sus conocimientos. En especial al *Ing. Pablo Mota* y al *MSc Ing Jorge Rodríguez* por sus consejos, amistad, ayuda y confianza brindada por este largo periodo de tiempo dentro de esta institución. Gracias por confiar en nosotros, por su paciencia, insistencia y dedicación para poder formar líderes.

Y por último pero no menos importante; a mis compañeros de la Universidad, que siempre estuvieron dando apoyo de alguna forma en este largo camino hacia este preciado momento. Mis mejores deseos para todos y que siempre tengan éxito en todo lo que se propongan en el transcurso de sus vidas.

Muchas Gracias.

RESUMEN:

El laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Ingeniería es una entidad interna la cual realiza estudios de las propiedades mecánicas de los metales. Para ello cuenta con una serie de equipos los cuales se describen brevemente a continuación:

1. El Horno Eléctrico Heraeus K1251, empleado para realizar tratamiento térmico a las probetas a examinar.
2. El equipo de ensayo de Templabilidad Jominy, el cual enfría las probetas tratadas térmicamente mediante un chorro de agua que golpea la pieza en la cara inferior.
3. El durómetro, el cual se encarga de determinar las durezas de las probetas a lo largo de una serie de longitudes para así conocer el rango de dureza que posee la probeta.

La construcción y utilización de estos dos últimos equipos brevemente descritos deben cumplir una serie de aspectos estipulados en la Norma Española UNE 7-279-78, la cual detalla todos los pasos a seguir y las características que deben cumplir las muestras, al igual que las condiciones en que se deben realizar los ensayos.

Previo a la realización de Ensayos Experimentales de la Templabilidad Jominy alcanzada en las muestra elaboradas de los Aceros al Carbono 1020 y 1045 y el Acero Aleado 4140, fue necesaria la implementación de Mantenimiento Correctivo al Horno de Tratamiento Térmico Hereus K1251; Así también como el mantenimiento preventivo, montaje y puesta en marcha del equipo Jominy ya que esta es una actividad primordial, cuyo fin es preservar los equipos y mediante el seguimiento de las horas huso y desempeño de estos se puede alargar la vida útil de los aparatos manteniéndolos en óptimas condiciones.

Analizando los datos iniciales de las probetas y los datos generados en el Ensayo Jominy sobre los aceros estudiados (1020, 1045 y 4140), se puede afirmar que el la dureza obtenida depende fundamentalmente de la velocidad de enfriamiento, produciéndose la mayor dureza en la superficie en contacto directo con el chorro de agua. Esto se debe a que la velocidad de enfriamiento es bastante rápida creándose así una estructura tetragonal centrada en el cuerpo, conocida como Martensita, la cual provoca el aumento de dureza.

Es decir, mientras mayor sea la distancia que existe entre el contacto directo de la pieza con el chorro de agua, menor será la dureza obtenida. Esto se logró comprobar en el desarrollo del trabajo con el diseño de experimento propuesto, ratificando las condiciones de templabilidad de los aceros seleccionados.

Como aporte científico se deja instalado y de manera funcional el equipo Jominy: así también como la elaboración de una propuesta de Guía de Laboratorio para su implementación y anexo al Pensum Académico de los alumnos que reciban las prácticas de Tratamiento Térmico (Temple) y la realización de ensayos de Dureza en las asignaturas Correspondientes.

Índice de Contenido

I. Introducción.....	1
II. Objetivos General y Específicos	4
III. Justificación	5
Capitulo No.1: Mantenimiento Correctivo del Horno Eléctrico de Tratamiento Térmico Heraeus K1251.....	6
1.1 Descripción del Horno en Estudio.....	6
1.2. Generalidades	7
1.2.1. Hornos Eléctricos.....	8
1.2.1.1. Hornos de Cámara o Mufla.....	9
1.2.1.2. Eficiencia de Hornos Eléctricos	16
1.3. Tratamiento Térmico del Acero.....	16
1.3.1. Generalidades sobre los Tratamientos Térmico....	16
1.3.2. Tratamientos Termofísicos.....	23
1.3.2.1. Aspectos estructurales de los Aceros en los Procesos de Tratamiento Termofísicos.....	23
1.3.2.2. Transformación de Fase en el Equilibrio..	28
1.3.2.3. Transformación de Fase en Estado de no Equilibrio.....	33
1.3.3. Definición de Tratamiento Térmico.....	40
1.3.3.1. Tipos de Tratamiento Térmico.....	40
1.4. Mantenimiento	44
1.4.1. Tipos de Mantenimientos.....	44
1.5. Mantenimiento al Horno Heraeus K1251.....	46
1.5.1. Limpieza Interna y Externa del Horno Eléctrico	46
1.5.2. Fijación de los Controles para Operar el Equipo..	47
1.5.3. Cambio del Ladrillo Refractario en mal Estado	47
1.6. Plan de Mantenimiento Predictivo del Horno de Tratamiento Térmico.....	48

Capítulo No. 2: Puesta en Marcha del Equipo de Templabilidad

Jominy	50
2.1. Descripción del Equipo de Templabilidad Jominy.....	50
2.1.1. Fundamentos del Método.....	51
2.1.2. Forma y Preparación de Probetas.....	52
2.1.3. Dispositivo de Temple	56
2.1.4. Procedimiento Operativo.....	59
2.1.5. Expresión de los Resultados	63
2.1.6. Acta de Ensayo.....	67
2.1.7. Observaciones.....	68
2.2 Dureza.....	70
2.2.1. Generalidades sobre las Mediciones de Dureza.....	70
2.2.2. Escala de dureza Rockwell.....	72
2.2.2.1. Generalidades sobre el Ensayo de Dureza Rockwell.....	72
2.2.2.2. Tipos de Ensayos Rockwell.....	73
2.2.2.2.1. Ensayo Rockwell C.....	74
2.2.3. Escala de Dureza Vickers.....	77
2.2.3.1. Generalidades sobre el Ensayo de Dureza Vickers.....	77
2.2.4. Tablas de Equivalencias de Dureza entre Escalas.....	81
2.3. Puesta en marcha del Equipo de Templabilidad Jominy.....	83
2.3.1. Prueba del Equipo en su Estado Actual.....	83
2.3.2. Ampliación del Espacio para Ubicación.....	83
2.3.3. Mantenimiento y Actualización.....	84
2.3.4. Comprobación del Funcionamiento Óptimo del Equipo Jominy.....	84
2.4. Plan de Mantenimiento Predictivo del Equipo de Templabilidad Jominy.....	85

Capitulo No.3: Prácticas de Templabilidad.....	87
3.1. Análisis Metalográfico.....	87
3.2. Clasificación de los Aceros (Actos para Realizar el Ensayo Jominy) Según Normas SAE/AISI.....	92
3.3. Generalidades sobre los Aceros en Estudio.....	96
3.3.1. Acero al Carbono 1020.....	97
3.3.1.1. Actas de Ensayo Acero 1020.....	98
3.3.2. Acero al Carbono 1045.....	103
3.3.2.1. Actas de Ensayo Acero 4140.....	105
3.3.3. Acero Aleado 4140.....	110
3.3.3.1. Actas de Ensayo Acero Aleado 4140.....	111
 Capitulo No.4: Guía Metodológica de Práctica de Laboratorio....	 116
 V. Conclusión.....	 122
VI. Recomendaciones.....	124
VII. Bibliografía.....	125
ANEXOS	

Lista de Tablas.

Tabla No. 1: Tabla de Especificaciones.....	52
Tabla No. 2: Escalas de Dureza Rockwell.....	61
Tabla No. 3: Tabla de conversión de durezas aproximadas.....	81
Tabla No. 4: Tabla de Conversión de Durezas Aproximadas (Continuación).....	82
Tabla No. 5: Clasificación y Composición de los Aceros SAE.....	93
Tabla No. 6: Clasificación y Composición de los Aceros SAE (Continuación).....	93
Tabla No. 7: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI. Barras Laminadas en Caliente.....	94
Tabla No. 8: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI. Barras Laminadas en Caliente (Continuación).....	94
Tabla No. 9: Equivalencia de los aceros aleados SAE/AISI.....	95

Lista de Esquemas:

Esquema No.1. Tipos de Hornos.....	7
Esquema No 2: Propiedades de los Materiales.....	19
Esquema No 3: Proceso de Manufactura.....	20
Esquema No 4: Procesos de Tratamientos Térmicos.....	23
Esquema No 5. Etapas del Tratamiento Térmico.....	40
Esquema No. 6. Mantenimiento.....	44

Lista de Graficas:

Grafica A. Haz de curvas de la relación θ/θ_A en función del tiempo.....	69
Grafica B. Variación de la velocidad de enfriamiento de la superficie de la probeta Jominy, en el entorno de 700° C, en función de la distancia del extremo templado.....	70

Lista de Figuras:

Figura No. 1: Partes Constructivas de los Hornos.....	10
Figura No. 2: Horno de Cámara o Mufla.....	11
Figura No. 3: Elementos de un Sistema de Control de Temperatura....	12
Figura No. 4: Termopar.....	13
Figura No. 5: Tubo de Protección o Termocupla.....	13
Figura No. 6: Pirómetro Termoeléctrico Simple.....	14
Figura No. 7: Pirómetro Termoeléctrico Automático.....	15
Figura No. 8: Relación Estructura- Propiedad- Proceso.....	17
Figura No. 9: Niveles de Estructura de los Materiales.....	18
Figura No. 10: Relación Estructura – Propiedad – Proceso para Temple, Revenido, Recocido y Normalizado.....	21
Figura No. 11: Diagrama Hierro Carbono.....	26
Figura No. 12: Región de aceros del diagrama de hierro carbono.....	27
Figura No. 13: Principales estructuras cristalinas formadas en el acero durante solidificación.....	28
Figura No. 14: Estructuras en la que se aprecian las diferentes fases en equilibrio del acero.....	30
Figura No. 15: Fases en Estado de no Equilibrio.....	35
Figura No. 16: Gráfica de las 3 T o Curva s.....	36
Figura No. 17: Estructuras en estado de equilibrio y no equilibrio.....	38
Figura No. 18: Localización de la Probeta en Barra de Gran Diámetro.	54
Figura No. 19a: Medidas de la probeta con resalto.....	55
Figura No. 19b: Medidas de la probeta con acanaladuras.....	55
Figura No. 20: Esquema del dispositivo de temple Jominy.....	57
Figura No. 21: Tobera de proyección.....	58
Figura No. 22: Tobera de Proyección.....	59
Figura No. 23: Preparación de la probeta para la medida de la dureza y emplazamiento de los puntos de medida.....	62
Figura No. 24: Especificación por la banda de templabilidad limitada por dos curvas Jominy.....	65

Figura No. 25: Especificación por una dureza alcanzada para una distancia dada.....	66
Figura No. 26: Especificación por una dureza dada entre dos límites de distancias.....	66
Figura No. 27: Especificación por un intervalo de dureza a una distancia dada.....	67
Figura No. 28: Ensayo Rockwell C.....	74
Figura No. 29: Indentador Cónico Esferoidal de Rockwell.....	74
Figura No. 30: Escalas de Ensayo Rockwell.....	75
Figura No. 31: Ensayo Vickers (HV).....	77
Figura No. 32: Indentador piramidal Vickers e Impronta piramidal de Dureza Vickers.....	78
Figura No. 33: Sobre el ensayo Vickers-Huella impresa con este tipo de ensayo.....	78
Figura No. 34: Relación entre espesores mínimos-dureza y carga aplicada.....	80
Figura No. 35: Cortadora Metalográfica.....	87
Figura No. 36: Incluidora metalográfica.....	88
Figura No. 37: Pulidora metalográfica.....	89
Figura No. 38: Medida de la probeta con resalto.....	96
Figura No. 39: Composición y clasificación del acero 1020.....	97
Figura No. 40: Composición química acero 1020.....	97
Figura No. 41: Propiedades mecánicas acero 1020.....	97
Figura No. 42: Composición y clasificación del Acero 1045.....	103
Figura No. 43: Composición química Acero 1045.....	104
Figura No. 44: Composición y clasificación del acero aleado 4140.....	110

I. INTRODUCCION

Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga. Los Tratamientos Térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales en su estado sólido unas características mecánicas concretas, mediante procesos de calentamientos y enfriamientos sucesivos que cambian sus propiedades físicas hasta conseguir la estructura cristalina deseada.

El Tratamiento Térmico en un material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Con el Tratamiento Térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los Tratamientos Térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material. Los principales Tratamientos Térmicos son: Temple, Revenido, Recocido y Normalizado.

La actual investigación se pretende sea una herramienta para que tanto las presentes como las futuras generaciones se interesen más por desarrollar temas monográficos que sean útiles para mejorar día a día la calidad en la Educación Universitaria. El tema a desarrollar será **Mantenimiento del Horno Eléctrico de Tratamiento Térmico Heraeus K1251 y Puesta en Marcha del Equipo de Ensayo de Templabilidad Jominy del Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Tecnología de la Industria de la Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios.**

Para realizar los diferentes tipos de Tratamientos Térmicos se utilizan Hornos de diseño especial que permiten calentar los materiales a las temperaturas requeridas para cada tratamiento, la fuente de calor está alimentada con energía Eléctrica o por Combustible. Por lo general un horno de Tratamiento Térmico

consta de una estructura parecida a una caja con envolvente de acero y una puerta de acceso, un revestimiento refractario y controles e indicadores de temperatura. Pueden faltar algunas de estas características o ser diferentes en ciertos casos. Utilizan grandes cantidades de energía. En años recientes las mejoras en el diseño de hornos se han dirigido hacia el proceso más eficiente, aislamiento mejorado, control más efectivo de la combustión y recuperación del calor de los gases del combustible que en otra forma se desperdiciarían.

Los principales tipos de hornos son: Eléctricos, de Combustión y los Especiales. Los Hornos Eléctricos tienen apariencia similar a la de las otras clases. Un tipo común, en cuyo caso es el nuestro, tiene elementos de calefacción por resistencia en las paredes refractarias de la cámara. Estos son de más costos en la compra y en la operación que los hornos de gas, pero tienen la ventaja en cuanto a limpieza, conveniencia, facilidad de control y pocas restricciones ambientales.

El templado o temple es un tratamiento térmico que consiste en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener determinadas propiedades de los materiales. En metalurgia, es comúnmente utilizado para endurecer el acero mediante la introducción de martensita, en cuyo caso el acero debe ser enfriado rápidamente a través de su punto eutectoide, es decir, la temperatura a la que la austenita se vuelve inestable.

El ensayo Jominy adoptado por la S.A.E. (Society of Automotive Engineers) Sociedad de Ingenieros Automotores y la A.I.S.I. (American Iron and Steel Institute) Instituto Americano del Hierro y el Acero permite determinar características de suma importancia, sobre todo en estos momentos, en que se exige mayor justeza en la fijación de los límites entre las que varían las propiedades de los aceros normalizados. Mediante su empleo se puede conocer, con mucha aproximación, la dureza máxima y mínima que alcanzará un determinado tipo de aceros con tratamientos térmicos adecuados, la

templabilidad, la influencia de los elementos de aleación según su porcentaje, los posibles resultados con distintos medios refrigerantes, etc.

Así tenemos como **problema científico garantizar la restauración de los parámetros del horno K1251 y puesta en marcha del equipo Jominy.**

Como hipótesis se establece que con la puesta en marcha del Dispositivo de Ensayo de Templabilidad Jominy y el mantenimiento del horno Heraeus k1251 se garantiza una mayor disponibilidad de estos agregados para las actividades docentes y de apoyo a la industria mejorando la eficiencia en estas importantes actividades.

II. Objetivos General y Específicos

Objetivo General

- Mejorar la calidad del servicio prestado por el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Tecnología de la Industria en la realización de un análisis más detallado de las propiedades mecánicas de los metales.

Objetivos Específicos

- Realizar mantenimiento correctivo al horno eléctrico de tratamiento térmico Heraeus K1251.
- Implementar el dispositivo de ensayo de templabilidad Jominy para desarrollar la capacidad de evaluar la templabilidad de los aceros al carbono 1020, 1045 y el acero aleado 4140 utilizados en la industria.
- Obtener datos, acerca de la templabilidad de los aceros al carbono 1020, 1045 y el acero aleado 4140, confiables, aptos para ser utilizados como parámetros en la construcción de elementos de máquinas.
- Apoyar mediante la utilización óptima del Horno Heraeus K1251 y el Dispositivo de Templabilidad Jominy, a la docencia directa en temas relacionados a la mejora de las propiedades mecánicas, con énfasis en la Dureza, de los aceros mediante la aplicación de Tratamiento Térmico.
- Obtener la dureza de los aceros al carbono 1020, 1045 y el acero aleado 4140, tanto antes como después del Tratamiento Térmico.

III. Justificación

El Laboratorio de Metales imparte prácticas a estudiantes de Ingeniería Industrial y Mecánica, atendiendo aproximadamente a 400 estudiantes al año en los turnos Matutino y vespertino. También brinda apoyo en trabajos de análisis de materiales a empresas que solicitan el servicio, capacitación de docentes y apoyo en temas monográficos a estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería. Por ende, es necesario poseer en óptimas condiciones los equipos utilizados para dar respuesta a las exigencias presentadas.

El presente estudio se enfocará únicamente en los temas o conceptos de relevancia esenciales para el posterior desarrollo de este proyecto monográfico, iniciando con la descripción del Horno en cuestión seguidamente con las generalidades de mayor importancia pero cuyo contenido no tendrá un enfoque profundo debido a que dicho tema de estudio está íntimamente relacionado con otros temas en sí que en conjunto encierran un amplio y complejo universo difícil de abordar en su totalidad; también se abordaran temas respecto a su mantenimiento y procedimientos a seguir para su preservación. Siguiendo con los conceptos acordes al ensayo de templabilidad Jominy, características del mismo, conceptos sobre dureza y plan de mantenimiento predictivo. Por último se abordará el diseño experimental y la guía metodológica de práctica de laboratorio.

Capitulo No. 1: Mantenimiento Correctivo del Horno Eléctrico de Tratamiento Térmico Heraeus K1251

1.1. Descripción del Horno en Estudio

El Horno Eléctrico Heraeus para Tratamiento Térmico K1251 fue fabricado en Hanau, Alemania, dicho horno llegó a Nicaragua en 1994 como donativo de parte de la Republica de Italia para equipar al Laboratorio de Metales de la UNIRUPAP con equipos modernos.

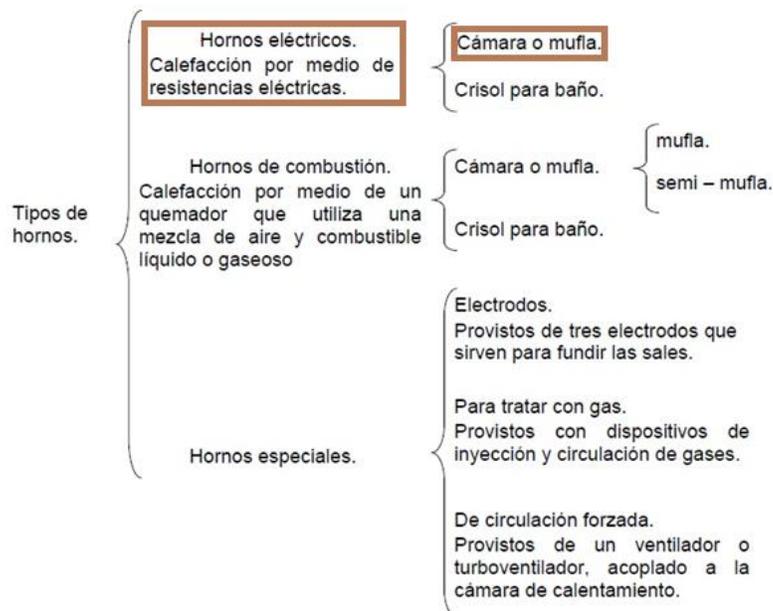
El Horno K1251 trabaja con una tensión trifásica de 220V y una frecuencia de 60Hz, alcanza una temperatura máxima de 1100 °C. Este dispositivo ha estado en funcionamiento desde su llegada al laboratorio (1994), periodo durante el cual nunca se le ha dado Mantenimiento Preventivo y únicamente se le registra un Mantenimiento Correctivo. En la actualidad presenta desperfectos en el revestimiento refractario el cual se encuentra fracturado y a desnivel. También presenta flojedad en los controles y carece de uno de los paneles metálicos frontales exteriores.

En dicho horno, el sistema de calefacción se da por resistencias, las cuales se encuentran ubicadas internamente en las paredes laterales y pared superior de la Cámara de Horno. Los tipos de Tratamientos Térmicos que pueden realizarse son: Temple, Revenido, Recocido y Normalizado.

1.2. Generalidades.

Los Hornos de Tratamiento Térmico “son equipos destinados a procesos en los que la temperatura a utilizar es muy elevada” (López y Ramírez, 2011, p. 47); utilizan grandes cantidades de energía; por ello es necesario, para optimizar el proceso, contar con buenos aislamientos, controles más efectivos de la combustión y recuperación del calor que se libera.

Hay diversos tipos de hornos para realizar tratamientos térmicos, los mismos que se diferencian entre sí ya que dependerán básicamente del tratamiento térmico específico a realizarse.



Esquema No. 1: Tipos de Hornos.

Tome Marincovich, 2006, p. 23.

En la industria el tipo de horno de combustión se emplea mucho más que el de horno eléctrico, sin embargo, para muchas aplicaciones se prefiere el horno eléctrico, ya que ofrece ventajas que no pueden ser medidas por el costo del combustible.

1.2.1. Hornos Eléctricos.

En la actualidad este tipo de hornos son de uso muy extendido y con los sistemas de programación que se incorporan son muy útiles y fiables por su comodidad y fácil manejo.

La electricidad es un agente calefactor que permite el control más preciso en los hornos de tratamiento térmico, además de ello, los Hornos Eléctricos presentan otras ventajas citadas a continuación:

- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500 °C.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.
- La carga (pieza) queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los otros tipos de hornos (López y Ramírez, Pág. 50 – 51).

Estos hornos están provistos de un sistema de calefacción incorporado a la cámara de calentamiento (donde se colocan las piezas que van a tratarse), alrededor de la cual se hallan instaladas varias resistencias eléctricas que suministran el calor necesario para realizar los tratamientos térmicos. Son muy usados en los talleres, debido a la facilidad de su manejo, a la uniformidad de

calentamiento, a la precisión de las temperaturas que se desean alcanzar y el mantenimiento constante de las mismas.

Del Esquema No. 1, se sabe que los hornos eléctricos más comunes son los denominados hornos de cámara o de mufla y el horno de crisol para fundir baño de sales. A continuación se aborda el referente a nuestro Tema Monográfico.

1.2.1.1. Hornos de Cámara o Mufla.

En los hornos de cámara las piezas se colocan directamente dentro de esta. Generalmente, la cámara o mufla es rectangular o abovedada y está construida con material refractario altamente resistente al fuego, estos materiales pueden ser de grafito, carburo de silicio, y otros tipos de cerámico, los cuales se conocen como cerámicos de alta calidad.

Se emplean principalmente para realizar las operaciones de recocido, normalizado, temple y revenido. Siendo necesario proteger las piezas contra la descarburación, usando cajas especiales.

Constitución de los Hornos.

Los hornos eléctricos están constituidos por los siguientes elementos:

- Carcasa.
- Fuente de calor.
- Cámara de calentamiento.
- Controladores de temperatura.

En la Figura No 1 se muestran estos elementos de constitución de los hornos.

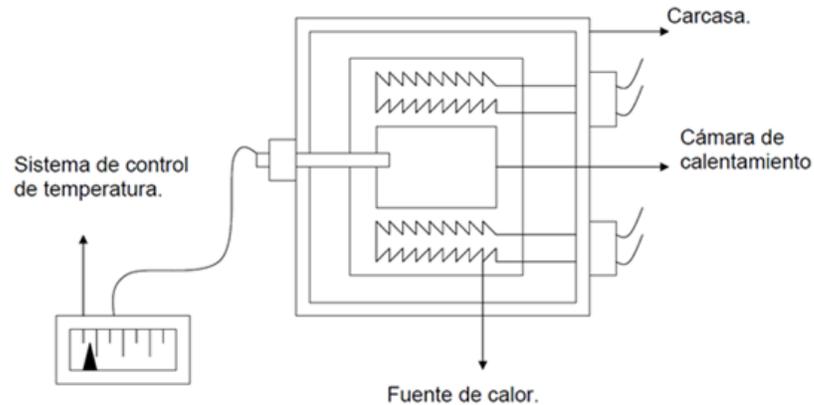


Figura No. 1: Partes Constructivas de los Hornos

Tome Marinovich, 2006, p. 24.

Carcasa.

Es la parte exterior del horno que está construida en chapa de acero, interiormente lleva un revestimiento del material refractario que sirve para evitar pérdidas de calor en el medio ambiente.

Fuentes de Calor.

En los hornos de cámara y en los de baño, la fuente de calor está constituida por una resistencia alimentada por energía eléctrica. Es el más usado para los hornos de Tratamiento Térmico que aprovecha el calor generado según la ley de Joule.

Las resistencias se construyen en alambre, o cinta con una aleación de Nicrom (Níquel 80%, Cromo 20%), resistente a altas temperaturas (1200°C), o de varillas refractarias a base de carburo de silicio (que alcanza temperaturas de hasta 1300°C) y se hallan ubicadas en el interior de la carcasa, cubriendo la superficie interna de la cámara. Para lograr temperaturas superiores se utilizan

resistencias de Molibdeno ($1800\text{ }^{\circ}\text{C}$), de Tungsteno ($2500\text{ }^{\circ}\text{C}$), y de Grafito ($2700\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Cámara de Calentamiento.

Es el lugar donde se colocan las piezas que van a tratarse térmicamente, a la cámara suele denominársele mufla y se fabrica de material refractario; las resistencias eléctricas están instaladas en las paredes laterales.

Las muflas, generalmente, tienen forma rectangular y frecuentemente, tienen el techo abovedado, sus dimensiones son variables, según la capacidad del horno y la finalidad para la que fue construida (figura 2).

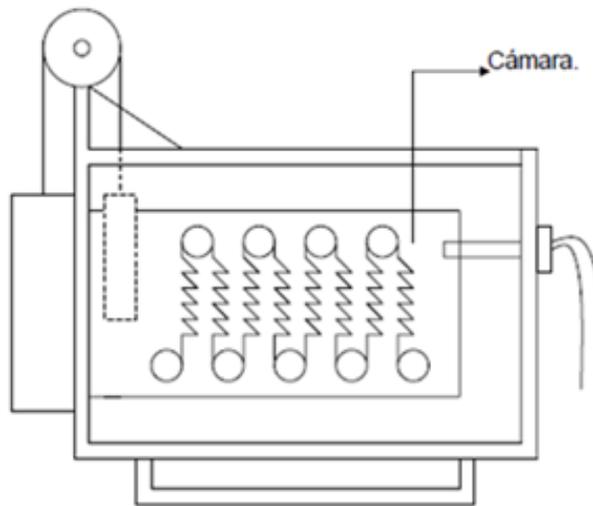


Figura No. 2: Horno de Cámara o Mufla

Tome Marinovich, 2006, p. 26.

Sistema de Control de Temperaturas.

Para controlar la temperatura de la cámara de calentamiento, se utiliza un pirómetro. El termopar de éste, está situado dentro de la mufla o crisol.

En los hornos de cámara es fijo y se halla ubicado en la parte posterior o superior de la mufla, en un alojamiento especial; cuando el horno es de gran longitud, puede tener más de un termopar.

Los pirómetros termoeléctricos son aparatos que se usan para medir y controlar las temperaturas generalmente comprendidas entre 100 °C y 1200 °C. Se utilizan en todo tipo de hornos así como en los hornos para tratamientos térmicos, en calderas y otros dispositivos intercambiadores de calor industrial.

Constitución de los Sistemas de Control de Temperatura

Los sistemas de control de temperaturas se componen de los siguientes elementos:

- El termopar.
- El tubo de protección o termocupla.
- Hilos de compensación.
- Aparato indicador o pirómetro.

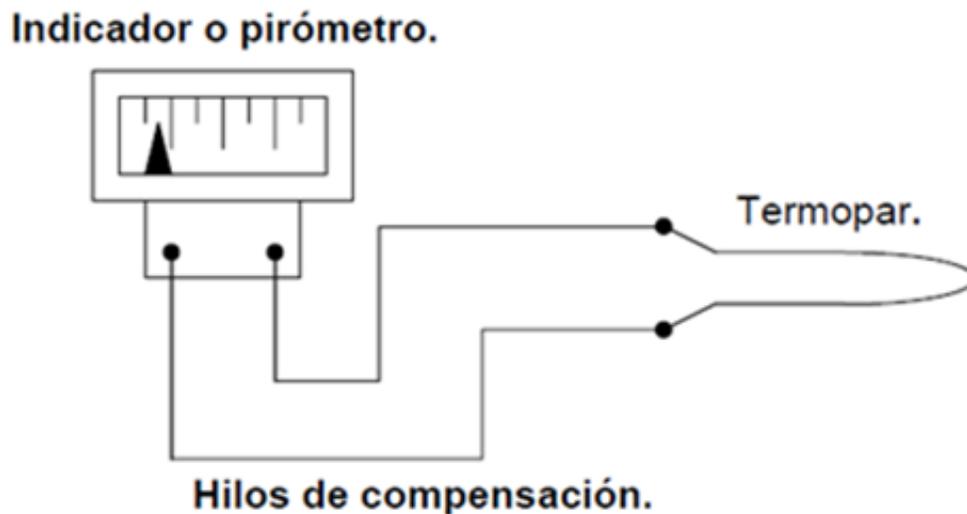


Figura No. 3: Elementos de un Sistema de Control de Temperatura. Tome Marincovich, 2006, p. 27.

El Termopar.

Este elemento, está compuesto por dos alambres metálicos de composición química diferente, soldados en uno de sus extremos y unidos en el otro extremo, a los hilos de compensación como puede observarse en la siguiente figura.

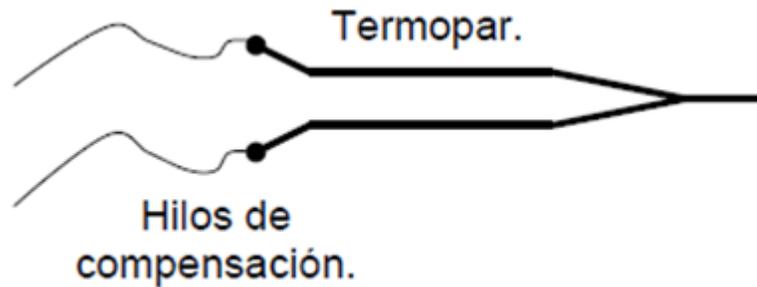


Figura No. 4: Termopar

Tome Marincovich, 2006, p. 28.

Tubo de Protección o Termocupla.

Usualmente, se protege al termopar contra roturas y ataques de gases u otras materias destructivas, colocándolos dentro de un tubo de protección (figura 5) llamado tubo de protección o termocupla, el cual está construido con materiales metálicos o refractarios.

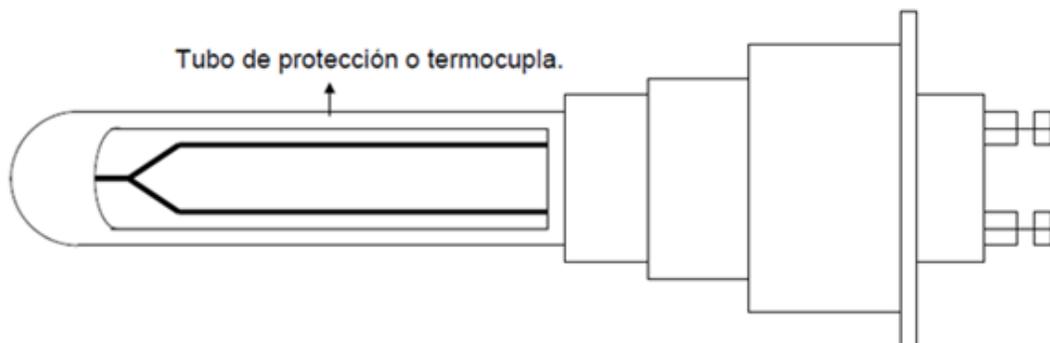


Figura No. 5: Tubo de Protección o Termocupla.

Tome Marincovich, 2006, p. 28.

Hilos de Compensación.

Son los alambres que sirven para conectar el termopar con el aparato indicador o pirómetro, estos están hechos de materiales especiales que evitan errores y variaciones en la medición de temperatura; en las figuras 3 y 4 se pueden apreciar cuales son los hilos compensadores.

Aparato Indicador o Pirómetro.

Esencialmente, están constituidos por un instrumento eléctrico de medición que sirve para registrar la temperatura. Las lecturas se hacen observando una aguja indicadora móvil que se desplaza sobre una escala graduada. Los tipos de pirómetros que podemos encontrar son:

- Pirómetro termoeléctrico simple.
- Pirómetro termoeléctrico automático.

La diferencia entre estos tipos de pirómetros es el aparato medidor, esto se puede observar con más claridad en las figuras 6 y 7.

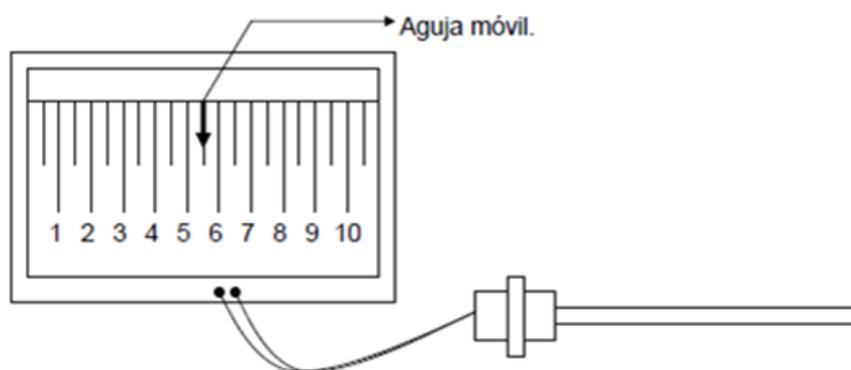


Figura No. 6: Pirómetro Termoeléctrico Simple.

Tome Marincovich, 2006, p. 29.

Nota: tiene un indicador que únicamente registra las temperaturas.

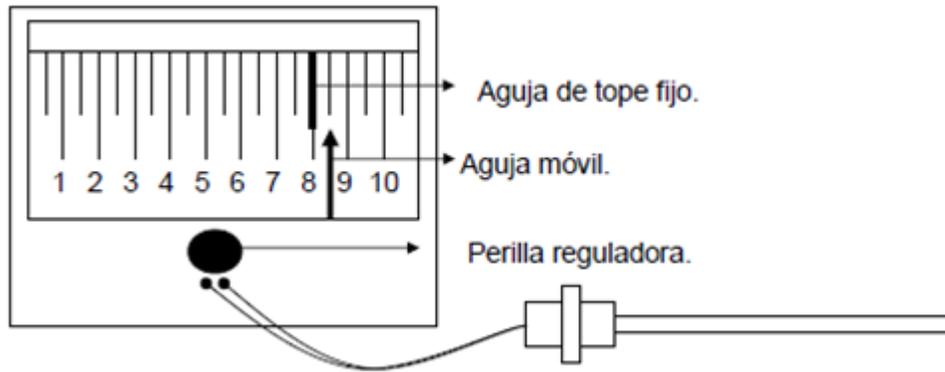


Figura No. 7: Pirómetro Termoeléctrico Automático.
Tome Marincovich, 2006, p. 30.

Notas:

1. Estos pirómetros tienen incorporados un regulador de temperatura al aparato indicador. Este aparato tiene dos agujas móviles, una de ellas señala la temperatura y la otra sirve como limitador de la misma.
2. El control de temperatura es automático y la selección de valores en la escala graduada, se hace accionando la perilla de regulación que desplaza a la aguja limitadora, este tipo de indicador también se denomina regulador automático de temperatura.

Principio de Funcionamiento

Cuando los extremos soldados del termopar se calientan al ponerse en contacto con una fuente de calor, se crea una corriente eléctrica entre los dos alambres soldados. Esta corriente eléctrica se transmite por medio del hilo de compensación hasta el aparato indicador, donde se acciona la aguja móvil la cual se desplaza sobre una escala de temperaturas.

El desplazamiento de la aguja sobre la escala de temperaturas es mayor, cuando mayor es la temperatura de la fuente calorífica medida, la corriente eléctrica generada, es directamente proporcional a la temperatura del termopar.

Condiciones de Uso.

Los pirómetros se deben montar en un lugar que no pueda ser afectado ni por vibraciones, ni por el calor del horno o de piezas calientes. Además se debe comprobar que los terminales de los hilos de compensación, estén firmemente conectados a los bornes del indicador de temperatura.

Observación:

Existen pirómetros termoelectricos automaticos con registrador grafico. Los más utilizados en los talleres de tratamientos térmicos son los automáticos, debido a que con los mismos se obtienen un control y regulación permanente de la temperatura (Tome Marincovich, 2006, p. 24-31).

1.2.1.2. Eficiencia de los Hornos Eléctricos.

El coeficiente de conversión de electricidad en calor es prácticamente 100%, lo que no ocurre con el uso de combustibles comunes, donde parte de la energía es consumida en el calentamiento del aire y de los gases calientes que son expulsados a la atmósfera (López y Ramírez, 2011, p. 51).

1.3. Tratamiento Térmico del Acero.

1.3.1. Generalidades sobre los Tratamientos Térmicos.

La ciencia e ingeniería de materiales basa sus estudios principalmente en tres aspectos, la estructura interna (o estructura cristalina), las propiedades y los procesos con los que se fabrican los materiales, esto se ilustra bien en la figura No. 8:

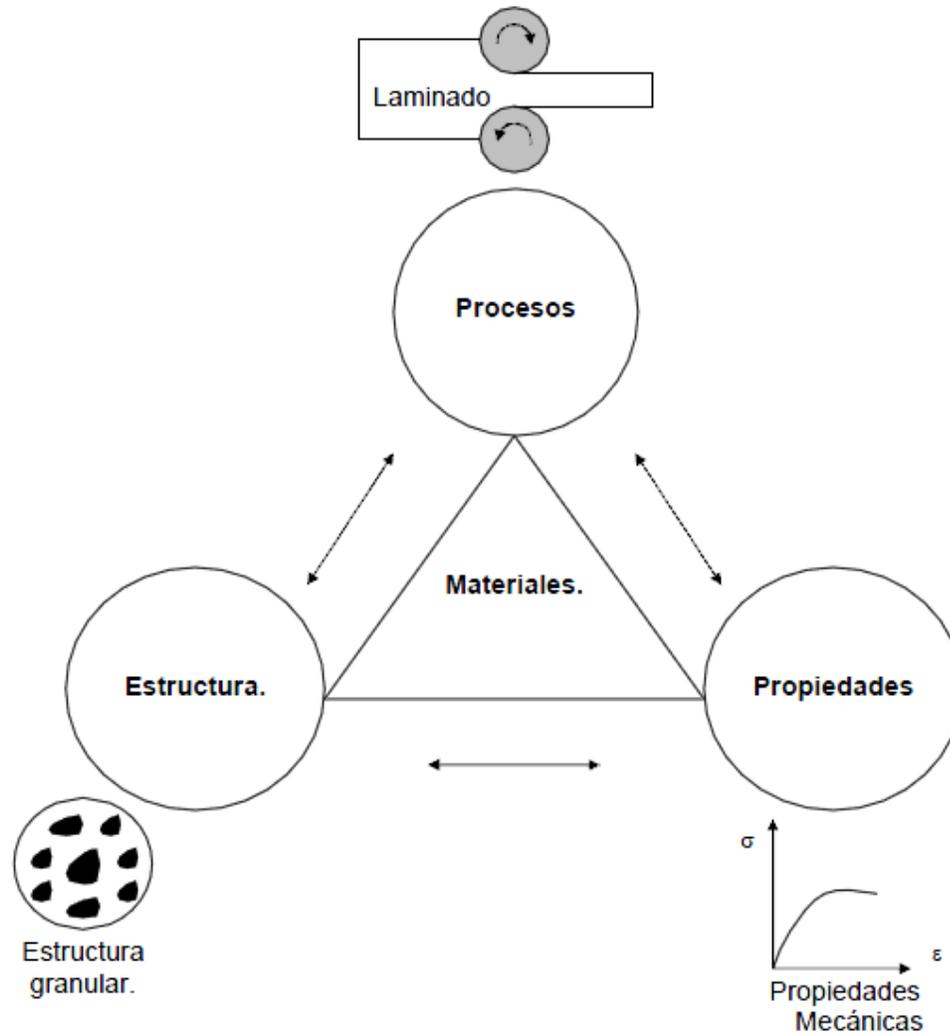


Figura No. 8. Relación Estructura- Propiedad- Proceso.

Tome Marinovich, 2006, p. 63.

A continuación, veremos en forma breve, los detalles de cada uno de estos aspectos de la relación enfocados a los tratamientos térmicos.

Estructura: La estructura interna de un material se puede ver desde varios niveles, estos niveles son: estructura atómica, estructura cristalina, estructura granular y diagrama de fases.

Ejemplo de Cada Nivel:

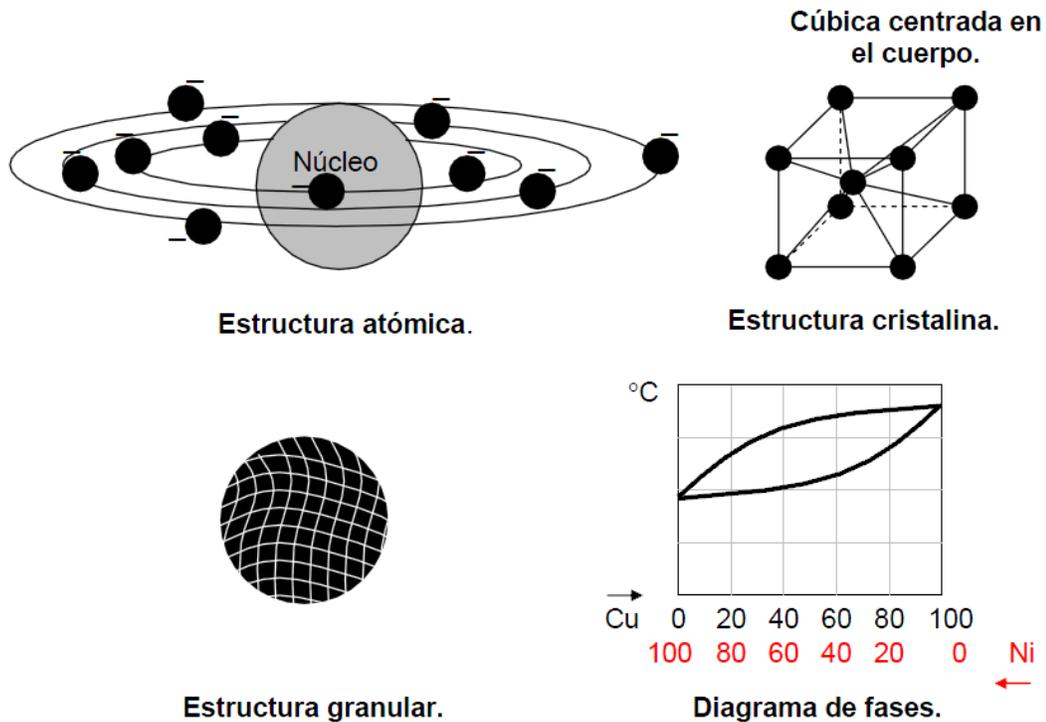


Figura No. 9: Niveles de Estructura de los Materiales.

Tome Marinovich, 2006, p. 61.

Propiedades: son las características que presenta un material bajo ciertas condiciones de operación, las propiedades pueden ser físicas, químicas y tecnológicas. Dos ejemplos de propiedades químicas pueden ser la solubilidad y la corrosividad o degradabilidad de los materiales, las propiedades físicas son las mecánicas, térmicas, eléctricas, magnéticas y ópticas.

Las propiedades tecnológicas son la soldabilidad, maquinabilidad y la conformabilidad, la cual es llamada según el proceso que se realiza, por ejemplo, para la extrusión, a la conformabilidad se le suele llamar extrusibilidad, o bien; para el embutido se llama embutibilidad, en el Esquema No. 2 se resumen bien las propiedades de los materiales.



Esquema No. 1: Propiedades de los Materiales.

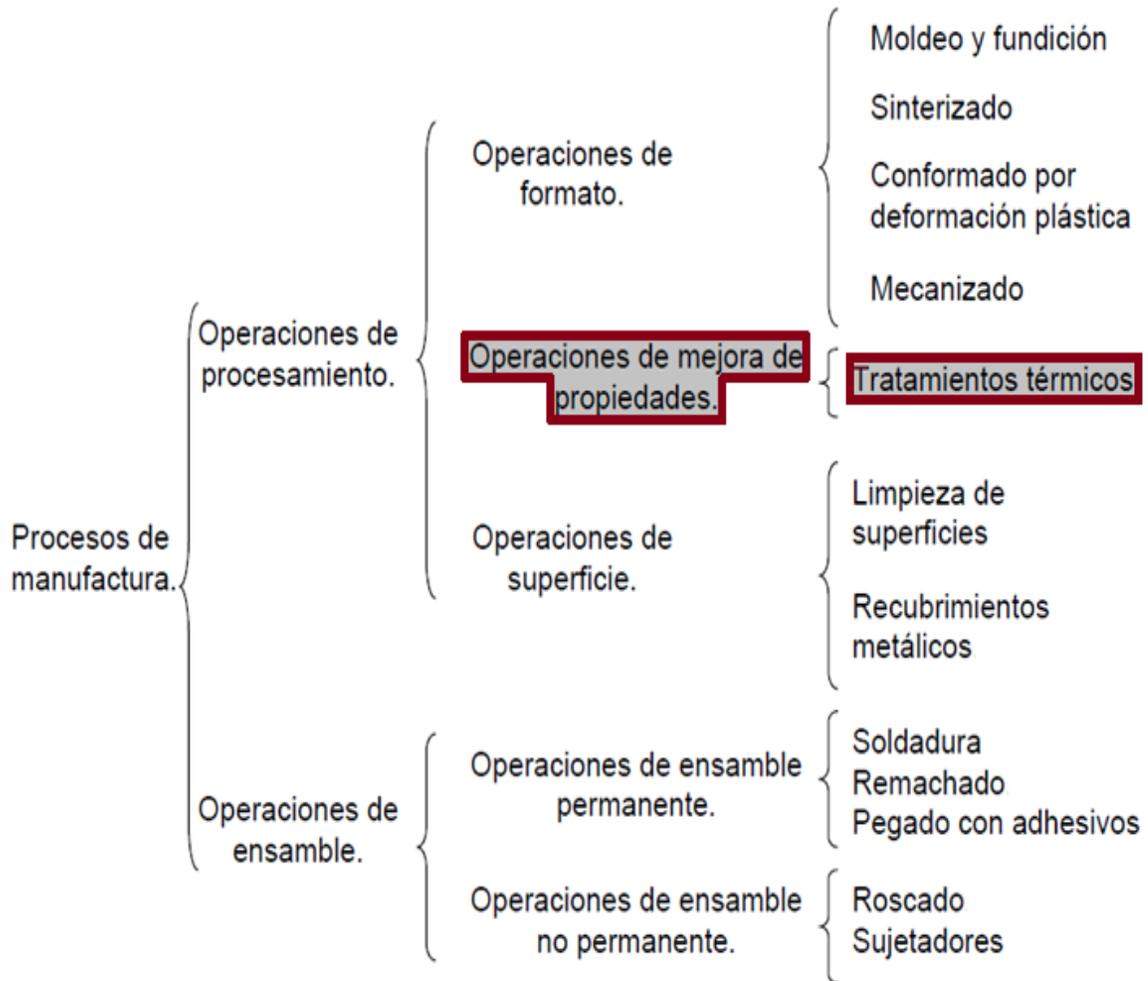
Tome Marinovich, 2006, p. 62.

De todas las propiedades hasta ahora mostradas, solo nos concentraremos en las propiedades físicas, específicamente las mecánicas con un especial énfasis en la dureza.

Procesamiento: Con los procesamientos se producen la forma deseada en el material.

Dentro del campo de los materiales, encontramos dos tipos principales de procesos de manufactura, estos son las operaciones de procesamiento y las de ensamble, dentro de las operaciones de procesamiento encontramos también; las operaciones de formato, mejora de propiedades y las operaciones de superficie.

Dentro de las operaciones de ensamble encontramos a su vez, las operaciones de unión permanente y las operaciones de unión no permanente, el esquema siguiente muestra los diferentes tipos de procesos de manufactura que se pueden encontrar en el campo de los materiales.



Esquema No. 3: Proceso de Manufactura.

Tome Marinovich, 2006, p. 63.

De todos los procesos que hemos mencionado el proceso del que se hablará en este proyecto será el proceso de manufactura que involucra la operación de mejora de propiedades, es decir que los procesos que aquí vamos a exponer serán los procesos de tratamientos térmicos, específicamente los tratamientos Temple, Revenido, Recocido y Normalizado los cuales expondremos a detalle

más adelante. Del diagrama de relación estructura – propiedad – procesos, se puede afirmar que si se modifica uno de los tres aspectos, se modificarán automáticamente los otros dos aspectos, esto debido a que los cambios que sufre un material en su estructura, genera un cambio en las propiedades, esto porque ambos aspectos de los materiales están muy relacionados entre sí, lo mismo sucede a la inversa, si se cambian las propiedades en un material, automáticamente cambiará su estructura.

Todo material en su fabricación involucra un proceso el cual al trabajar sobre el mismo, genera cambios en su estructura por ende los genera también en sus propiedades, por lo que para cada tipo de proceso hay una estructura asociada con sus respectivas propiedades, para cada proceso, estructura y propiedad se puede hacer un diagrama que contenga su relación de estructura – propiedad – proceso. Por ejemplo, para el caso de este proyecto el diagrama que puede hacerse para el proceso de temple y revenido puede ser el mostrado en la figura No 10:

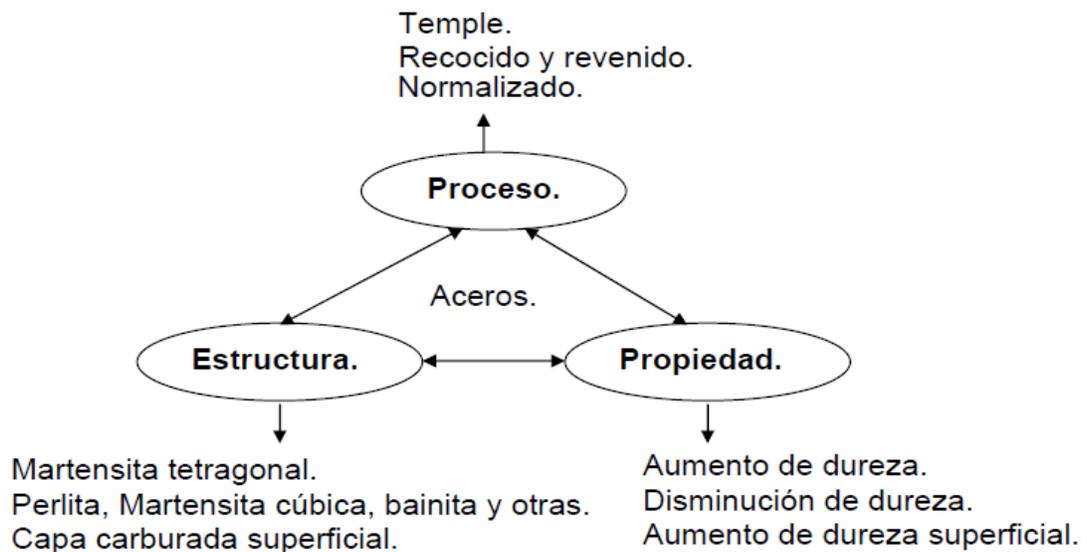


Figura No 10. Relación Estructura – Propiedad – Proceso para Temple, Revenido, Recocido y Normalizado.

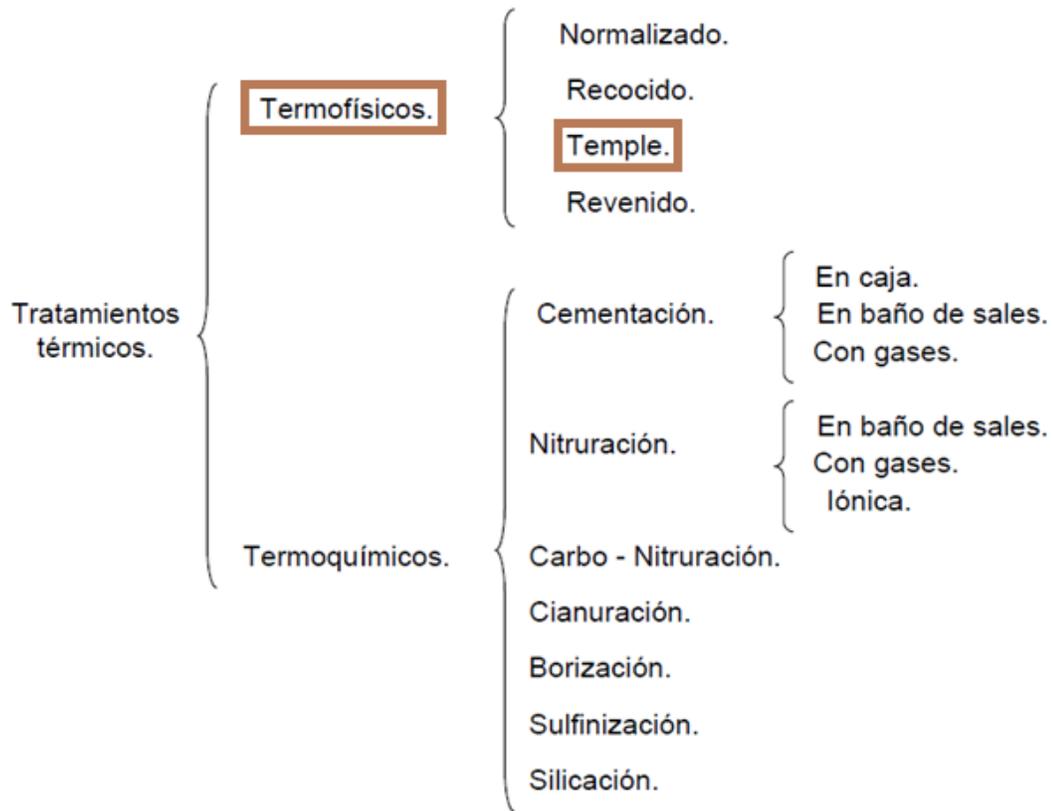
Tome Marinovich, 2006, p. 64.

Y así sucesivamente se puede hacer un diagrama para cada tipo de proceso, a continuación estudiaremos los aspectos estructurales de los aceros.

Por tratamientos térmicos se entiende que son un conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento que persiguen el fin de conferirle a las piezas tratadas, las propiedades deseadas, que generalmente; en el caso del acero, es el endurecimiento o ablandamiento del mismo, esto para mejorar las propiedades mecánicas de las piezas para que puedan tener un buen desempeño bajo condiciones de servicio.

La forma de clasificar los diferentes tipos de tratamientos térmicos es muy variada, pero una forma válida es clasificarlos según su mecanismo de endurecimiento, con esta forma de clasificación se encuentran dos tipos principales de Tratamientos Térmicos, al primer tipo se les llama Tratamientos Termofísicos, que son aquellos en los que el acero se endurece por una transformación de fase en estado sólido, dentro de este tipo de tratamientos encontramos cuatro tipos más, los cuales son: Normalizado, Recocido, Temple y Revenido. De todos estos procesos solo nos concentraremos en el Temple (Especialmente en sus Propiedades de Dureza).

El segundo tipo de tratamiento, se les llama Tratamientos Termoquímicos, que son aquellos que generan un endurecimiento en la superficie de las piezas como consecuencia de una reacción de difusión entre la superficie de la misma y el medio en que esté inmersa, dentro de estos tratamientos hay una gran variedad de tipos, pero los más conocidos en la industria del acero son la cementación, la cual puede ser sólida, líquida y gaseosa, la nitruración que puede ser líquida y gaseosa, la cianuración que es líquida, la borización, la sulfinitización y la silicación. En el presente trabajo este tipo de Tratamiento Térmico no será abordado (Tome Marincovich, 2006, p. 60-66).



Esquema No. 4: Procesos de Tratamientos Térmicos
Tome Marincovich, 2006, p. 66.

1.3.2. Tratamientos Termofísicos.

1.3.2.1. Aspectos Estructurales de los Aceros en los Procesos de Tratamientos Termofísicos.

Los tratamientos termofísicos son aquellos en los que se producen las propiedades deseadas mediante operaciones de calentamiento y enfriamiento, para este caso el calentamiento y el enfriamiento genera transformaciones de fases sólidas que generan una estructura que contiene propiedades tales como la dureza. La dureza de estas fases sólidas puede ser alta o baja según sea la transformación resultante que se genere como consecuencia de las operaciones de calentamiento y enfriamiento.

Para comprender mejor esto, definiremos primero que es una fase. Se conoce como fase a la porción de masa físicamente homogénea (con la misma composición química) y que tiene las mismas propiedades a lo largo de su masa. Las fases en la materia pueden ser plasma, gaseosa, líquida y sólida, en metalurgia, se estudia con mucha frecuencia las fases sólidas y su transformaciones durante ciclos de calentamiento y enfriamiento. Los estudios sobre las transformaciones sólidas de las aleaciones se pueden comprender de forma adecuada a través de los diagramas de fases, estos en realidad son un “mapa” que nos guía para encontrar respuestas a preguntas tales como ¿Qué microestructura existe a una temperatura dada en una aleación de acero? ¿Qué tan rápido se forma una microestructura a una temperatura dada? o ¿Qué temperatura con respecto al tiempo pasado, dará una microestructura óptima?, preguntas como estas encuentran respuesta en estos mapas denominados diagramas de fases.

Para cada aleación hay un diagrama de fase, por lo que se puede afirmar que hay una gran variedad de ellos, entre esa gran variedad de diagramas, se encuentra el Diagrama de Fases de Hierro – Carbono, que es el que estudia y describe los detalles de transformación de fases de las aleaciones ferrosas, como se sabe el acero se encuentra dentro de esta familia de aleaciones, si se observa el diagrama de fases de la figura 11, las aleaciones ferrosas se dividen en dos tipos, los aceros y los hierros fundidos, estos se pueden apreciar en la escala de las abscisas (eje x) que es representada por el contenido de carbono, se puede observar que los aceros van del 0.01 al 2% de carbono y los hierros fundidos van del 2% al 6.67% de carbono, para este proyecto , de este diagrama, sólo mencionaremos las transformaciones de fases de los aceros, es decir; solo se trabajará con la región de los acero que se muestra en la figura 12.

Dentro de los aceros, por el contenido de carbono se puede ver en el diagrama que hay tres tipos, el acero eutectoide (el cual contiene 0.8% de carbono), el hipoeutectoide (que contiene menos del 0.8 % de carbono, su intervalo es de 0.01% al 0.8% de C), y el hipereutectoide (que contiene más del 0.8% de carbono, su intervalo va del 0.8% al 2% de C).

El termino eutectoide proviene del nombre de un tipo de reacción invariante llamada reacción eutectoide y la cual se caracteriza en los diagramas de fases por tener la transformación de una fase sólida en otras dos fases sólidas diferentes como se puede apreciar en el diagrama 11 y 12, la transformación de fases sólidas del eutectoide en este caso es que la Austenita al enfriar lentamente se transforma en ferrita alfa más perlita cuando el acero es hipoeutectoide y, en perlita más cementita secundaria cuando el acero es hipereutectoide, cuando el acero es eutectoide se puede apreciar que la fase formada es perlita pura.

A continuación se presenta el Diagrama de Fases Hierro Carbono.

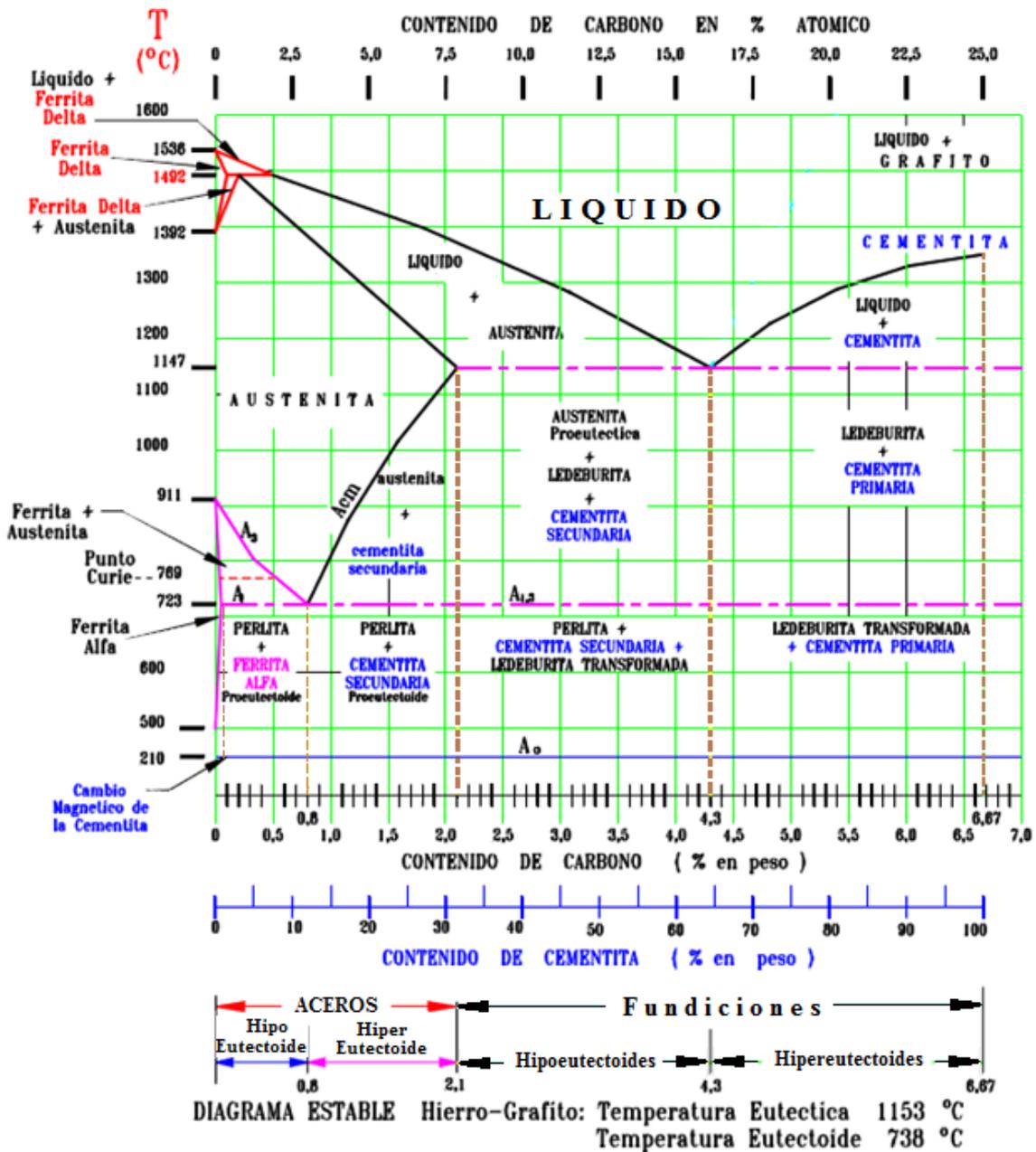


Figura No. 11: Diagrama Hierro Carbono.

Tome Marincovich, 2006, p. 75.

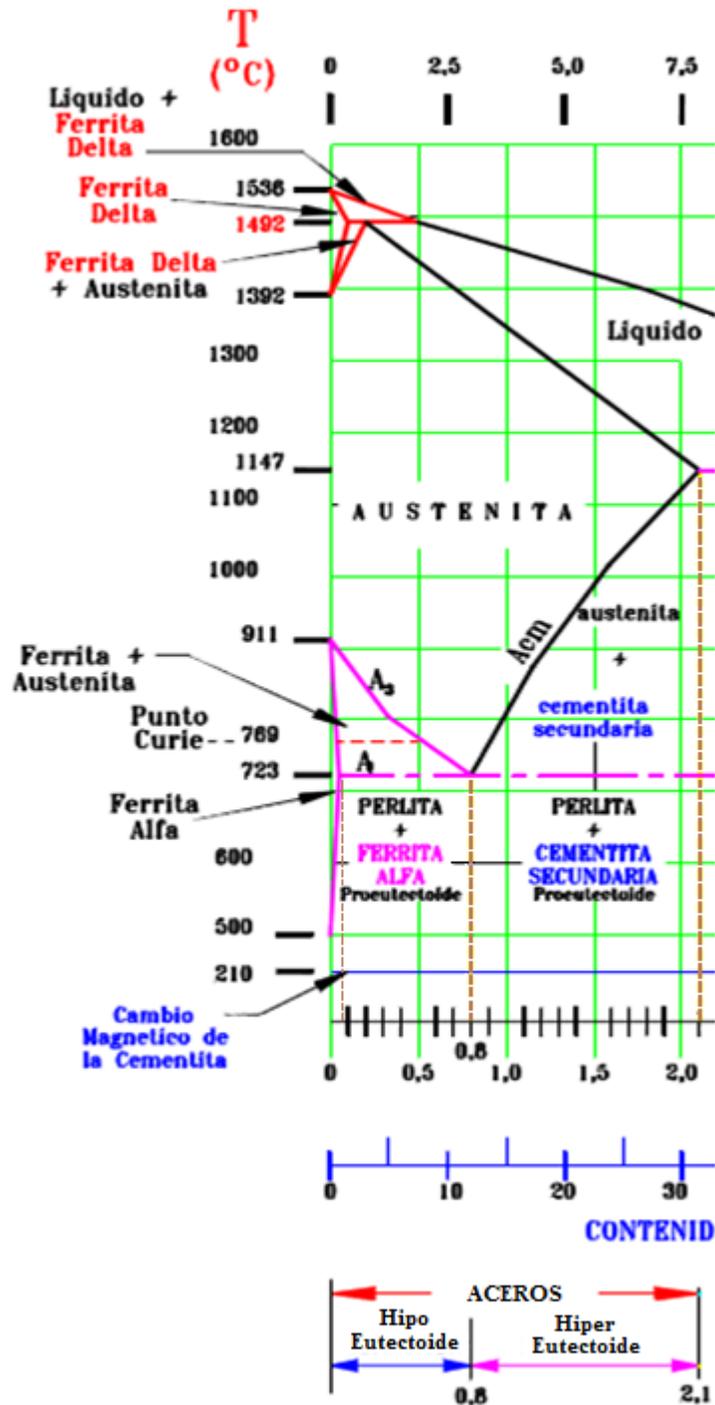


Figura No. 12: Región de Aceros del Diagrama de Hierro Carbono. Tome Marincovich, 2006, p. 76.

1.3.2.2. Transformaciones de Fase en el Equilibrio.

Cuando se habla de equilibrio en diagramas de fase, se habla de que la velocidad de enfriamiento es muy lenta, las transformaciones de fase sólida que se pueden ver en la figura 12 se producen bajo estas condiciones, todos los aceros cuando solidifican forman estructuras cristalinas, estas estructuras forman las famosas redes de Bravais, que tiene siete tipos diferentes de redes atómicas y catorce tipos diferentes de arreglos atómicos, de los cuales en el acero los principales son cuatro arreglos atómicos:

- Cúbica centrada en el cuerpo.
- Cúbica centrada en las caras.
- Tetragonal centrada en el cuerpo.
- Ortorrómbica centrada en el cuerpo.

A continuación se muestran estas estructuras en la figura 13.

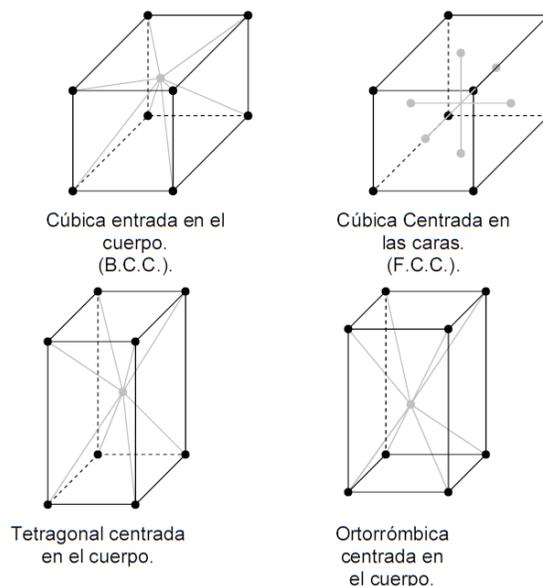


Figura No. 12: Principales Estructuras Cristalinas Formadas en el Acero Durante Solidificación. Tome Marinovich, 2006,

p. 77.

Las fases ferrita más perlita y perlita más cementita tienen una estructura cúbica centrada en el cuerpo y, la fase austenita, tiene una estructura cúbica centrada en las caras, a esta propiedad que tienen algunos materiales de subsistir con diferentes estructuras, se le llama **polimorfismo**.

La estructura ortorrómbica se presenta en la cementita y la tetragonal se presenta en una fase de no equilibrio (enfriamiento rápido) llamada Martensita que veremos más adelante, Ahora se explica que son las fases sólidas del acero, por lo que procedemos a definir cada una de estas fases en equilibrio.

Ferrita: Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en el cuerpo, en general se supone que el carbono es el soluto (elemento en menor proporción) el hierro es el disolvente (elemento en mayor proporción) se le llama también como hierro alfa (Solución Sólida).

Cementita: Compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro, con fórmula química aproximada Fe_3C . Se caracteriza por tener una estructura ortorrómbica (Compuesto químico).

Perlita: Agregado laminar de ferrita y cementita que a menudo se presenta en el hierro y el acero fundido (Mezcla mecánica)

Austenita: Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en las caras, en general se supone que el carbono es el soluto y el hierro es el disolvente, se le llama también como hierro gamma. En la figura 14 se muestran unas estructuras donde pueden apreciarse estas fases (Solución. Solida).



Figura No. 134: Estructuras en la que se aprecian las diferentes fases en equilibrio del acero.
Tome Marincovich, 2006, p. 78.

Se puede observar en la figura 14 que en la estructura perlita, las regiones blancas corresponden a la fase ferrita y las regiones oscuras corresponden a la fase cementita. Las posibles fases de transformación del acero se pueden clasificar según la temperatura crítica de transformación de fase del acero eutectoide (723 °C), según esta forma las transformaciones de fase son:

- Transformación por Debajo de 723 °C.
- Transformación a 723 °C.
- Transformación por Encima de 723 °C.

Transformación por Debajo de 723 °C.

Cuando el acero es hipoeutectoide, si la concentración de acero es muy baja, aproximada al 0.01% en masa de carbono, las partículas de hierro forman cristales cúbicos centrado en el cuerpo, (hierro α), cada cristal está formado por nueve iones de hierro y electrones libres, estos cristales forman granos de **ferrita**, a medida que se incrementa la cantidad de carbono, este hierro y el carbono forman cristales de carburo de hierro (Fe₃C) llamado comúnmente **cementita**, cuanto más carbono contenga el acero, mayor será la proporción de cementita en la estructura, entonces los cristales de ferrita y cementita forman

un conglomerado (mezcla de cristales) que, en muchos casos aparece en forma de bandas, a este conglomerado se le llama **perlita**.

Al aumentar el contenido de carbono en la estructura del acero se encuentran cristales puros de ferrita y un conglomerado de cristales de ferrita y cementita mezclados que son perlita, es así como se forma la fase ferrita más perlita de un acero hipoeutectoide, la cual se puede ver en la figura 12 al lado izquierdo del punto eutectoide. Si se sigue incrementando el contenido de carbono hasta llegar a 0,8% en masa de carbono, todos los cristales de ferrita se mezclan con los de cementita, formando así una composición eutectoide que tiene la temperatura de transformación más baja de todas las aleaciones de hierro – carbono (723 °C), esta estructura está formada por laminas finamente superpuestas, se alternan una capa de cristales de hierro (ferrita α) con una capa de carburo de hierro Fe_3C (cementita), esta estructura se llama **perlita**.

Es así como se forma la fase sólida de un acero eutectoide (**Perlita**) que se puede apreciar en la figura 12 justo en el punto eutectoide. Cuando la concentración de carbono sobrepasa el 0.8% de masa en carbono se producen cristales sobrantes de carburo de hierro Fe_3C que no encuentran cristales de hierro para formar granos de perlita, entonces estos cristales de carburo de hierro se acumulan para la formación de granos de perlita y se denominan carburos de cáscara o cementita secundaria, es así como se forma la fase perlita más cementita secundaria de un acero hipereutectoide que se puede ver en la figura 12 al lado derecho del punto eutectoide.

Transformación a 723 °C.

Cuando el acero es eutectoide, todos los granos de perlita se convierten en asutenita, si el acero es hipoeutectoide, solo se convierte en austenita la perlita, la ferrita permanece como al principio, como cristales de hierro, obteniéndose así una mezcla de Austenita más ferrita, tal y como se aprecia en la figura 12 en

la región que está por encima de la línea isoterma que pasa por 723 °C y la frontera de fase con la austenita (la curva A_3). Si el acero es hipereutectoide, los cristales han formado cáscaras duras de carburo de hierro, por lo que la perlita se convierte en austenita y queda una mezcla de cementita y austenita; tal y como se aprecia en la figura 12 en la región que está por encima de la línea isoterma que pasa por 723 °C y la frontera de fase con la austenita (la curva A_{cm}).

Transformaciones por Encima de 723 °C.

Por encima los 723 °C, al calentar un acero, se produce una modificación en su estructura, en este caso los átomos de carbono se desprenden de los cristales de carburo de hierro y se distribuyen uniformemente entre todos los cristales, al mismo tiempo se modifica la forma de la red cristalina la cual se convierte de cúbica centrada en el cuerpo a cúbica centrada en las caras con 14 iones de hierro, esta estructura con solución sólida se denomina, **Austenita**.

Si se sigue calentando más el acero los granos se hacen cada vez más gruesos, al proceso de transformación de una fase sólida cualquiera de acero (hipo, hiper o eutectoide) a austenita se le llama austenización y al punto de la curva de la frontera de fase (líneas A_3 y A_{cm}) donde ocurre la transformación, se le llama punto de austenización. Este punto de austenización tiene asociada una temperatura como punto de ordenada (eje y) y una concentración de carbono como punto de abscisa (eje x), por ejemplo; el punto de austenización de un acero eutectoide, tiene como punto de ordenada una temperatura de 723 °C, y como punto de abscisa tiene una concentración de carbono de 0.8% en masa, esto se puede apreciar en la figura 12, justo en el punto eutectoide, solo se debe trazar una línea recta desde el punto a los ejes para determinar cada uno de estos puntos.

Se puede observar que para cada acero con cierta concentración de carbono, el punto de transformación a austenita es distinto, por ejemplo; el acero eutectoide se transforma a $723\text{ }^{\circ}\text{C}$, y para los aceros hipo e hipereutectoides, su punto de austenización depende de la concentración de carbono, se puede ver claramente que el punto de austenización de un acero hipoeutectoide con 0.5% de carbono, la temperatura de austenización es alrededor de $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que para el acero hipereutectoide con 1% de carbono el punto de austenización es alrededor de $760\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En resumen, eso es todo lo que se puede decir de las transformaciones de fase sólida en estado de equilibrio de los aceros, al menos lo necesario en lo referente a los procesos de tratamientos térmicos. Por último, se mencionan sólo los ciclos de calentamiento pero no se menciona nada sobre el enfriamiento, cuando el enfriamiento se da bajo condiciones de equilibrio, el resultado será el mismo que al inicio del calentamiento, por ejemplo; si un acero hipoeutectoide es calentado hasta transformarlo en austenita, al enfriarse en equilibrio (lentamente), su estado final será el mismo inicial, es decir, Ferrita más perlita, lo mismo ocurre con el acero eutectoide y el hipereutectoide. Ahora se explicará que pasa cuando la transformación de fase se produce en estado de no equilibrio.

1.3.2.3. Transformaciones de Fase en Estado de no Equilibrio.

Estas transformaciones se producen cuando las condiciones de enfriamiento son rápidas o a velocidades intermedias entre lenta y rápida, también estas transformaciones se producen en los tratamientos posteriores a la formación de martensita, la estructura formada es la fase conocida como martensita revenida la cual tiene diferentes formas, estas son martensita negra, trostita y sorbita, también se encuentra otra fase sólida llamada bainita, a continuación definiremos cada una de estas fases.

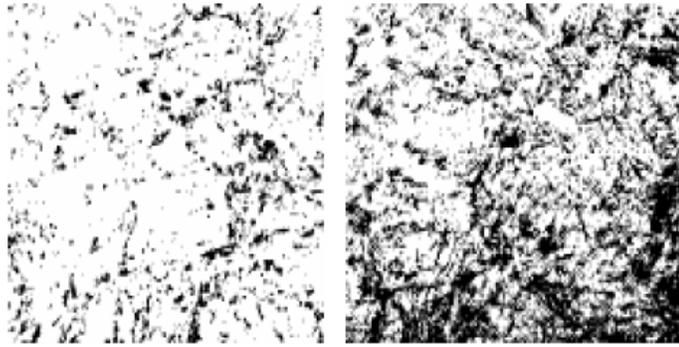
Martensita: Esta fase corresponde a una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro, con estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Su microestructura se caracteriza por una forma acicular o tipo agujas.

Martensita Negra: Esta fase se forma durante el revenido a las más bajas temperaturas y se caracteriza por la formación de carburo de hierro (Epsilon).

Trostita: Denominación en desuso de un agregado fino previamente indeterminable, atacable en forma rápida y química, de carburo y ferrita producido ya sea al revenir martensita a bajas temperaturas o al temple un acero a una velocidad de enfriamiento menor que la velocidad crítica de enfriamiento de temple, cuando la trostita se forma por revenido a baja temperatura se le suele llamar Martensita revenida, y cuando la trostita se forma por un temple a menor velocidad que la velocidad crítica de temple, se le suele llamar perlita fina.

Sorbita: Denominación en desuso de una fina mezcla de ferrita y cementita (perlita) producida por regulación de la rapidez de enfriamiento del acero, o reviniendo el acero después del endurecimiento, cuando la sorbita se produce por regulación de la rapidez de enfriamiento lo que la mezcla mencionada forma una perlita muy fina, esta estructura es difícil de ver en el microscopio, cuando se produce por revenido después del endurecimiento lo que se produce es martensita revenida.

Bainita: Producto de descomposición de la austenita que consiste en un agregado de ferrita y carburo, en general; se forma a temperaturas inferiores a aquellas en que la martensita se empieza a formar durante el enfriamiento, su apariencia es plumosa si se forma en la parte superior del intervalo de temperatura y, acicular parecida a la martensita revenida cuando se forma en la parte inferior a dicho intervalo. A continuación, se presentan algunas estructuras de las fases en no equilibrio vistas.



Martensita de acero 0,5 (izq) y 1% (der) de C.



Bainita transformada.



Bainita acicular.



Bainita plumosa y perlita fina en matriz martensítica.



Perlita fina.

Figura No. 15: Fases en Estado de no Equilibrio

Tome Marincovich, 2006, p. 83.

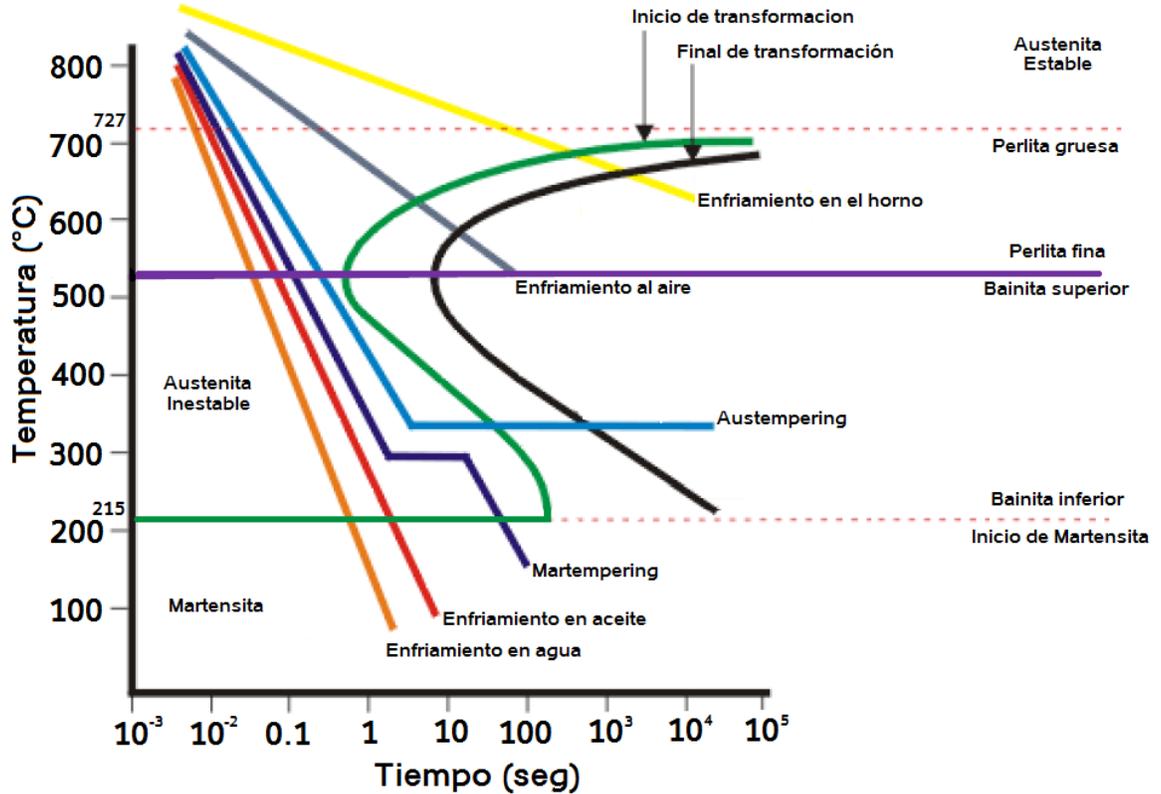


Figura No. 16: Grafica de las 3 T o curvas S.
 Curvas TTT (Transformación - Tiempo - Temperatura). Página Web. 2015.

Una vez definidas, cada una de las fases en estado de no equilibrio, se explicará cómo es la mecánica de transformación de estas estructuras, la mecánica para casi todas estas fases consiste en austenizar el acero y enfriar a cierta velocidad para conferirle las propiedades deseadas, por ejemplo, si se quiere endurecer el acero lo que se hace es llevar a la fase austenita este mismo, calentándolo hasta el punto de austenización +50 grados y luego se enfría rápidamente, esta acción genera en el acero la estructura martensita que ya definimos. Esta estructura debido a su sobresaturación de carbono es bastante dura. Si lo que se quiere es suavizar un acero, se austeniza este mismo, y se deja enfriando en horno, para que el acero enfríe lentamente de manera que se le forme perlita en su estructura la cual es suave.

También sucede que para suavizar un acero no necesariamente se debe llevar a la fase austenita, por ejemplo; si se calienta por debajo de la fase austenita y se le da un calentamiento prolongado de dos horas o más, a bajas temperaturas, se puede lograr suavizar el acero, es decir: si un acero con estructura martensítica se calienta por dos horas a bajas temperaturas forma una estructura denominada martensita revenida la cual es relativamente suave dependiendo de la temperatura que se le aplique, aquí lo que sucede es que la martensita tetragonal pasa a ser cúbica de nuevo, lo que hace que el acero se suavice.

La martensita revenida se puede encontrar en tres formas diferentes que son la martensita negra, la trustita y la sorbita, estas formas de martensita revenida le confieren tenacidad al acero a costa de la reducción de su dureza, por otro lado; también si lo que se quiere es endurecer un acero sin que pierda su tenacidad se austeniza el acero y se enfría bruscamente en forma interrumpida, esta acción forma la fase denominada bainita, la cual le confiere al acero gran tenacidad y resistencia al impacto. Como puede verse, el secreto de los tratamientos termofísicos consiste en calentar adecuadamente el acero y generarle un determinado enfriamiento para darle al acero las propiedades deseadas, en la figura 17 se muestra las diferentes transformaciones de fase para un acero eutectoide que es el que mejor describe las transformaciones de fase en estado de no equilibrio, también aparecen los valores de dureza y velocidades de enfriamiento para cada estructura.

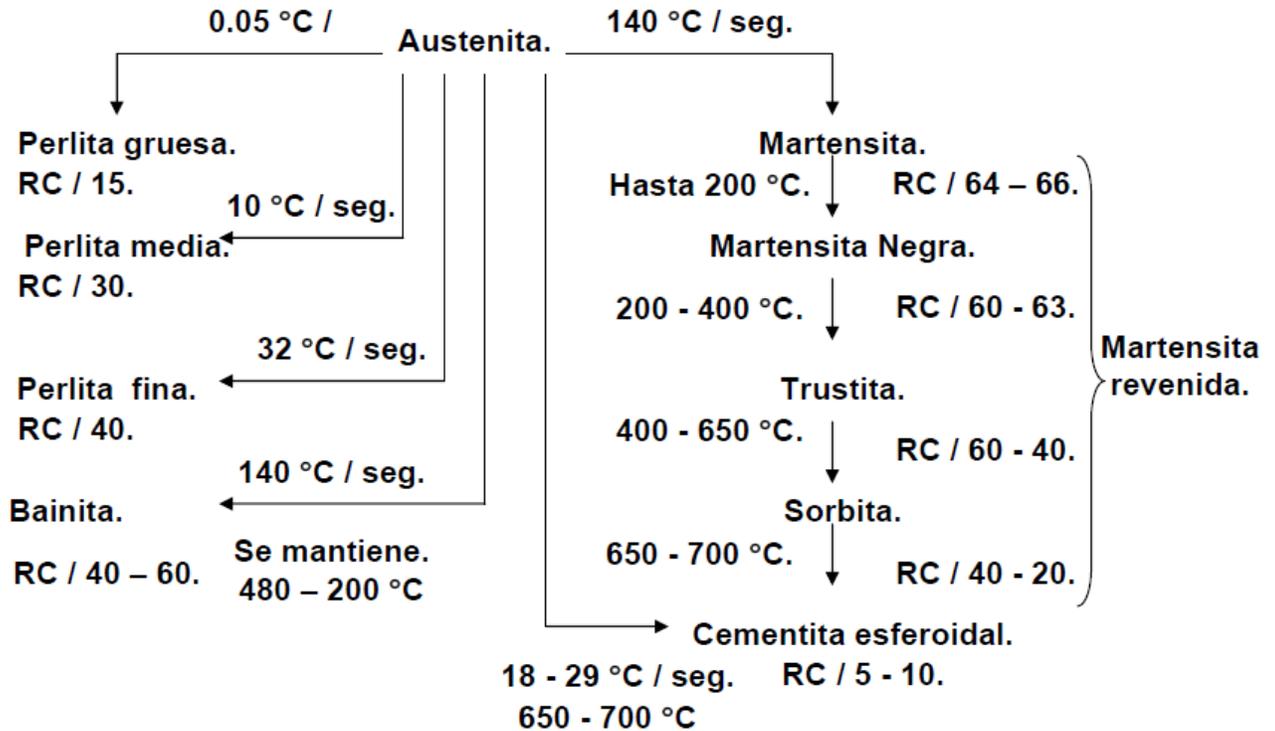


Figura No. 17: Estructuras en estado de equilibrio y no equilibrio. Tome Marinovich, 2006, p. 85.

Hasta ahora solo se ha mencionado las transformaciones de aceros al carbono, ahora se explicará que pasa con los aceros aleados. Con respecto a los aceros aleados la mecánica de transformaciones de fase es similar, la diferencia radica en el efecto que los elementos aleantes generen en la estructura del acero, ya que estos mueven el punto eutectoide o línea isoterma a $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la curva de frontera de fase con la austenita (curva A_{cm}) según sea el tipo de elemento de aleación. Hay dos tipos de elementos aleantes en el acero, estos son los elementos alfégenos y los gamágenos, los elementos alfégenos son aquellos que con su presencia pueden producir un aumento del dominio de la solución sólida alfa que consecuentemente reduce el dominio de la solución sólida gamma. Los elementos alfégenos son el Aluminio, Cromo, Molibdeno, Silicio, Titanio, Vanadio y Tungsteno.

Los elementos gamágenos son aquellos cuya presencia produce el crecimiento del dominio de solución sólida gamma y consecuentemente reduce el dominio de la solución sólida alfa. Los elementos gamágenos son Cobalto, Cobre, Manganeso y Níquel.

En resumen, la adición de elementos alfégenos produce un incremento en la línea isoterma a 723 °C, por ejemplo; si se agrega 1% de silicio y 2% de cromo la temperatura del eutectoide se incrementara a 753 °C, lo que indica que la línea isoterma de la figura 11 se corrió hacia arriba 30 °C. Por otro lado, la adición de elementos gamágenos produce una disminución en la línea isoterma a 723 °C, por ejemplo; si se agrega 1% de níquel y 2% de Manganeso la temperatura del eutectoide se disminuirá a 713 °C, lo que indica que la línea isoterma de la figura 11 se corrió hacia abajo 10 °C.

Al señalar que el corrimiento de la zona de solubilidad del carbono en hierro gamma (curva A_{cm}), siempre se hará hacia la izquierda del diagrama debido a que, al añadirle elementos aleantes al acero se produce una disminución del carbono de la perlita. Por último sólo cabe mencionar como se reduce el carbono por efecto de los elementos aleantes, el carbono se reduce hasta 0.5% cuando el níquel tiene 8.7%, ó cuando el cromo tiene 4.2%, ó cuando manganeso tiene el 2.5 % y cuando el vanadio tiene 1.5%.

El cromo es el elemento que tiene un mayor efecto en los aceros ya que si se incrementa hasta el 10% de cromo, el carbono se reduce a 0.25% y si se agrega hasta el 15% de cromo, el punto eutectoide casi pega sobre el eje de las ordenadas (eje de las temperaturas) porque el carbono se reduce hasta 0.05%, de aquí se puede deducir que el cromo en el acero aumenta el dominio de los aceros hipereutectoides y disminuye el dominio de los acero hipoeutectoides.

Por último cabe mencionar que la disolución de un acero hipereutectoide con un contenido de carbono dado (1% por ejemplo) exige una temperatura cada vez más elevada cuando el contenido de cromo aumenta, puede suceder que por esto, solo sea posible una solución parcial de carburos (Tome Marinovich, 2006, p. 73-86).

1.3.3. Definición de Tratamiento Térmico.

El Tratamiento Térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para cambiar sus propiedades mecánicas. Nunca alteran las propiedades químicas.

Las etapas básicas del tratamiento térmico son las siguientes:



Esquema No. 5: Etapas del Tratamiento Térmico.
Wikipedia-Tratamiento Térmico.

1.3.3.1. Tipos de Tratamiento Térmico.

Los principales tipos de tratamiento térmico son:

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

A continuación se describe de forma breve cada uno de estos tipos de tratamiento térmico a excepción del Temple, ya que este es el que se pretende realizar a las probetas de Acero al Carbono una vez construido el Equipo de Ensayo de Templabilidad Jominy, por lo cual se hace necesario conocer más sobre este.

Revenido: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.

Recocido: Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenización (800 – 925 °C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud (aspereza) que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

Normalizado: Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido (Wikipedia).

Valderrama, Luna, Gómez y Soto, (2001) acopian información sobre:

Temple: es un Tratamiento Térmico sin cambio de composición, el cual tiene como finalidad aumentar la dureza, la resistencia mecánica y el límite elástico del acero. Por lo tanto disminuyen la estricción y el alargamiento, y generalmente desaparece el periodo plástico.

Para ello, se calienta el acero a una temperatura entre (900 – 950) °C ligeramente más elevada que la crítica superior para transformar toda la masa en austenita y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) para transformar la austenita en martensita en un medio como agua, aceite, etc.

Factores que influyen en la práctica del Temple:

- El tamaño de la pieza: cuando más espesor tenga la pieza más hay que aumentar el ciclo de duración del proceso de Calentamiento y de enfriamiento.
- La composición química del acero: en general los elementos de aleación facilitan el temple.
- El tamaño del grano: influye principalmente en la velocidad crítica del temple, tiene mayor templeabilidad el de grano grueso.
- El medio de enfriamiento: el más adecuado para templar un acero es aquel que consigue una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica. Los medios más utilizados son: aire, aceite, agua, baño de plomo, baño de mercurio, baño de sales fundidas y polímeros hidrosolubles (p. 11).

Los Tipos de Temple son:

- Temple Continuo de Austenización Completa
- Temple Continuo de Austenización Incompleta
- Temple Superficial
- Temple Escalonado (Martempering)
- Temple Isotérmico (Austempering)

Temple Continuo de Austenización Completa. Es aplicado a los aceros hipoeutectoides. Se calienta el material a 50 °C por encima de la temperatura crítica superior A_3 , enfriándose en el medio adecuado para obtener martensita.

Temple Continuo de Austenización Incompleta. Es aplicado a los aceros hipoeutectoides. Se calienta el material hasta $A_1 + 50$ °C transformándose la perlita en austenita y dejando la cementita intacta. Se enfría a temperatura superior a la crítica, con lo que la estructura resultante es de martensita y cementita.

Temple Superficial. Se recurre a un proceso de temple superficial cuando se desea que una pieza presente elevada dureza superficial y buena resistencia exterior al desgaste, pero que su alma siga manteniéndose con reducidas tensiones. Con el temple superficial se consigue que solamente la zona más exterior se transforme en martensita, y para ello el tiempo durante el que se mantiene el calentamiento debe ser adecuado para que solamente un reducido espesor de acero se transforme en austenita.

Temple Escalonado (Martempering). Consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para que se transforme completamente en austenita. Posteriormente se enfría en un baño de sales bruscamente hasta una temperatura próxima, pero superior a M_s , con el fin de homogeneizar la temperatura en toda la masa y se acaba reduciendo la temperatura para que toda la pieza se transforme en martensita.

Temple Isotérmico (Austempering). Consiste en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para obtener austenita. Posteriormente se enfría bruscamente en un baño de sales hasta una temperatura determinada, para igualar la temperatura en toda la masa y luego se vuelve a disminuir la temperatura para que toda la pieza se transforme en bainita (E-ducativa catedu).

1.4. Mantenimiento.

El mantenimiento es cualquier actividad (comprobación, medición, reemplazo, ajuste y reparación) necesaria para conservar o reparar una unidad funcional de manera que esta pueda cumplir con sus actividades.

1.4.1. Tipos de Mantenimiento.



Esquema No. 6: Mantenimiento. Wikipedia, 2015.

Para el desarrollo de este trabajo Monografico se abordara el tipo de mantenimiento que se describe a continuación:

- **Mantenimiento de Conservación**

Este mantenimiento está destinado a compensar el deterioro por el uso, los agentes meteorológicos, horas de uso y otras causas. En este mantenimiento se pueden diferenciar:

1. Mantenimiento Preventivo

Garantizan la fiabilidad de los equipos en funcionamiento antes de poder producirse un accidente o avería.

Entre los tipos de mantenimientos preventivos están:

a) Mantenimiento Programado

Se realiza por tiempo de funcionamiento, kilometraje, programa de revisión, etc.

b) Mantenimiento Predictivo

Se realiza prediciendo el momento en que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento.

c) Mantenimiento de Oportunidad

Se aprovecha los periodos de no uso y periodos de paro del equipo para realizar la operación de mantenimiento.

2. Mantenimiento Correctivo

Corrige los defectos o averías encontrados. Entre ellos están:

a) Mantenimiento Correctivo Inmediato

Realizado inmediatamente después de percibir la avería o defecto con los medios disponibles destinados a ese fin.

b) Mantenimiento Correctivo Diferido

Al producirse la avería, se produce un paro de la instalación o equipo para posteriormente realizar la reparación solicitando los medios (piezas de reemplazo) para ese fin.

3. Mantenimiento de Actualización

Su propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, las cuales no existían en el momento de construcción del equipo y no se tomaron en cuenta pero que en la actualidad si son necesarias (Wikipedia, Mantenimiento).

1.5. Mantenimiento del Horno Heraeus K1251.

Para realizar el mantenimiento al horno eléctrico se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Limpieza Interna y Externa del Horno Eléctrico Heraeus K1251.
2. Fijación de los Controles para Operar el Equipo.
3. Cambio del Ladrillo Refractario en mal Estado.

1.5.1. Limpieza Interna y Externa del Horno Eléctrico Heraeus K1251.

Primeramente se procedió con la limpieza interna del equipo desmontando la cubierta trasera del Horno de tratamiento térmico. Haciendo uso de una brocha seca y una pistola de aire se procedió a sopletear y eliminar el polvo y residuos de aceite que se apreciaban internamente en las conexiones eléctricas del equipo Heraeus K1251 evitando utilizar cualquier tipo de sustancias líquidas debido a que todos los componentes del sistema eléctrico se encontraban en ese lugar.

Para la limpieza externa (Carcaza del Horno) se utilizaron brochas con cerdas suaves, paste y jabón líquido, esto para remover las manchas y rayones que presentaba la carcasa externa del horno garantizando así la durabilidad de la pintura y el buen aspecto del equipo haciendo uso de productos para limpieza sin químicos.

1.5.2. Fijación de los Controles para Operar el Equipo.

A primera vista el horno carecía de algunas piezas que conforman el panel de control. Esto debido a que las piezas faltantes estaban en mal estado, y las piezas que aún permanecían en el equipo presentaban quebraduras en las uñas de agarre; esto a causa de la cantidad de años de uso que presenta el equipo sin recibir ningún tipo de mantenimiento.

Para remediar el problema se utilizó pega plástica de contacto, con el propósito de mantener fijo los controles del equipo y a la vez poder permitir el desmontaje de los controladores al momento de sustituir por unos nuevos evitando así quebrar las piezas componentes y deteriorar el panel de controles.

1.5.3. Cambio del Ladrillo Refractario en mal Estado.

El equipo presentaba un problema con el ladrillo refractario (Ladrillo de chamota) del fondo del Horno, este estaba quebrado en varias piezas y presentaba desnivel.

Se procedió a utilizar ladrillos refractarios de los hornos de fundición (Ladrillo de Dolomita) del Laboratorio de Fundición de la Universidad Nacional de Ingeniería, los cuales presentan características similares y tiene la misma función del ladrillo refractario de tratamiento térmico, y haciendo uso de una máquina de corte, se ajustaron las medidas de los ladrillos refractarios a las medidas que demandaba el horno. Se retiró el refractario en mal estado, se realizó limpieza y luego se instalaron los nuevos ladrillos refractarios en el equipo.

1.6. Plan de Mantenimiento Predictivo del Horno de Tratamiento Térmico Heraeus K1251.

**Mantenimiento Predictivo
Horno de Tratamiento Térmico Heraeus K1251**



Frecuencia de Rutina: Trimestral

Objetivo:

- Mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento.

Procedimiento:

1. Verificar que el equipo este desconectado. Si no es así, desconectarlo.
2. Si el equipo estaba en funcionamiento, esperar a que se enfrié la cámara de calentamiento.
3. Efectuar la limpieza interna del equipo haciendo uso de una brocha para retirar cualquier tipo de material suelto dentro de la cámara de calentamiento.
4. Realizar la limpieza externa del equipo utilizando líquido detergente (jabón líquido desengrasante) para preservar la pintura y el buen aspecto del Horno.
5. Revisar que la compuerta cierre correctamente para evitar fugas de calor, si se presenta el caso, ajustar la compuerta.
6. Retirar la cubierta trasera del Horno y sopletear para evacuar el polvo acumulado en los componentes eléctricos.
7. Revisar el estado de los componentes eléctricos (Fusibles, conductores, tomacorrientes, etc).
8. Revisar el buen funcionamiento de las perillas, interruptores e indicadores.
9. Verificar las temperaturas de funcionamiento del horno y realizar calibración del equipo si se requiere.

10. Medir el voltaje de alimentación del Horno y asegurarse que no exista calentamiento en el conductor (Cable de energía).
11. Asegurarse que la carcasa no esté energizada.
12. Operar el equipo para verificar su correcto funcionamiento.

Capítulo No. 2: Puesta en Marcha del Equipo de Templabilidad Jominy.

2.1. Descripción del Equipo de Templabilidad Jominy.

El ensayo de dureza Jominy consiste en templar una probeta estandarizada del acero en estudio con ciertas dimensiones específicas. Primero se calienta a temperatura de austenización, enfriándola posteriormente mediante un chorro de agua con una velocidad de flujo y a una temperatura de agua especificada, el cual solo enfría su cara inferior. Dicha cara actúa como superficie templante y enfría la probeta de forma longitudinal hacia su extremo superior por conducción, apareciendo un gradiente de velocidad de enfriamiento desde la máxima velocidad en el extremo templado inferior, a la mínima en el extremo superior.

Jominy, con el estudio y análisis de muchos y variados ensayos, comprobó la dependencia casi directa de las características mecánicas a la tracción (resistencia, límite de elasticidad, alargamiento y estricción) con la dureza del acero, que como sabemos a su vez depende de su estructura (Teoría de Ensayo Jominy, p. 1).

La **Templabilidad** es un término utilizado para describir la aptitud de una aleación para endurecerse por formación de martensita, como consecuencia de un tratamiento térmico. Este término no es dureza, que significa resistencia a la penetración, aunque se utilizan medidas de dureza para determinar la extensión de la transformación martensítica en el interior de una probeta.

Un acero aleado de alta templabilidad es aquel que endurece, o forma martensita, no solo en la superficie sino también en su interior, es decir, la templabilidad es una medida de la profundidad a la cual una aleación específica puede endurecerse.

Todos los aceros aleados tienen una relación específica entre las propiedades mecánicas y la velocidad de enfriamiento.

La templabilidad viene definida por la curva Tiempo Transformación Temperatura “TTT” y la penetración del temple por la interacción de esa curva con las de enfriamiento. Por tanto, si se compara entre si los resultados de templado de la pieza de un mismo tamaño empleando igual severidad de enfriamiento, el resultado del temple dependerá exclusivamente del acero. En ello se fundamenta el ensayo Jominy (Ensayo Jominy, p. 1).

Según la Norma Española de ensayo de Templabilidad de Acero Ensayo Jominy UNE 7-279-78 Octubre 1978 se establece lo siguiente:

2.1.1. Fundamentos del Método.

El método consiste en calentar una probeta cilíndrica a una temperatura prefijada, en el intervalo austenítico, enfriarla por medio de un chorro vertical de agua incidente sobre la cara inferior (extremo templado) y medir la dureza a lo largo de 2 generatrices, o en determinados puntos de ella, con el fin de establecer la templabilidad del acero a partir de los valores de dureza medidos.

Tabla No. 1: Tabla de Especificaciones.

Definición	Medida
Longitud de la probeta	100 ± 5 mm
Diámetro	25 + 0.5 mm / - 0 mm
Tiempo que la probeta se mantiene a temperatura de calentamiento	30 min ± 5 min
Tiempo máximo transcurrido entre la salida de la probeta del horno y el principio del temple.	5 segundos
Temperatura del agua	5 °c a 30 °c
Diámetro interior del orificio de salida del agua	12.5 ± 0.5 mm
Altura del chorro de agua en ausencia de la probeta	65 ± 10 mm
Distancia de la cara inferior de la probeta al orificio de salida	12.5 ± 0.5 mm
Profundidad del rebajo hecho por rectificado en la probeta para medida de la dureza	0.45 ± 0.05 mm

Nota: Tabla de Especificaciones, Norma UNE 7-279-78.

2.1.2. Forma y Preparación de las Probetas.

Medidas de las Probetas.

La probeta será una barra cilíndrica de 25 mm de diámetro y de 100 mm de longitud, mecanizada a partir de la muestra adquirida.

Preparación de la Probeta.

Obtención: El método de preparación de la probeta y su localización será objeto de acuerdo entre las partes, cuando no exista especificación al respecto en la norma del producto.

El método de obtención de la probeta es variable según las dimensiones de la barra.

Pueden citarse como ejemplo los siguientes:

1. Para diámetros menores o iguales a 40 mm, la probeta se obtiene centrada por mecanizado.
2. Para diámetros mayores de 150 mm, la probeta se obtendrá de forma que su eje esté situado a 20 mm de la superficie del producto y los rebajos previstos en el apartado 2.1.4. (-Procedimiento Operativo - Medición de Dureza-Preparación). Procedimientos operatorios (preparación). Se efectuará sobre las generatrices de la probeta en la forma indicada en (figura 19).
3. Para diámetros mayores a 40 mm y menores o iguales a 150 mm, se puede aplicar alguno de los métodos siguientes:
 - a) La muestra se produce por forja a 40 mm de diámetro y la probeta se obtendrá como se indica en (Figura 20a).
 - b) La probeta se obtiene directamente de la muestra, según se indica en (Figura 20b).

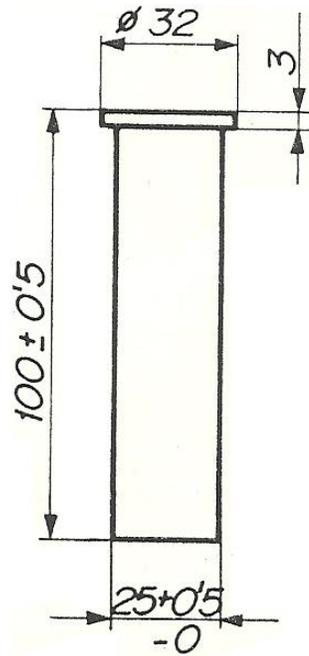


Figura No. 19a: Medidas de la Probeta con Resalto.
 Norma UNE 7-279-78.

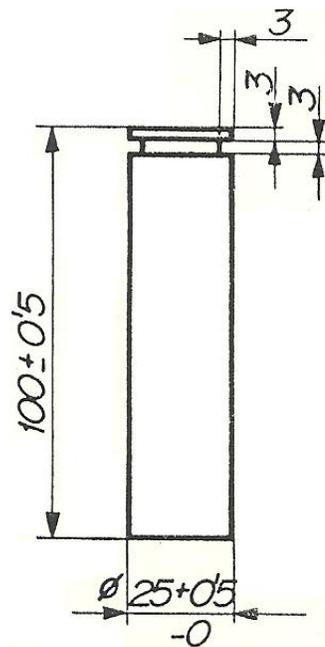


Figura No. 19b: Medidas de la Probeta con Acanaladuras.
 Norma UNE 7-279-78.

Tratamiento Térmico Previo: Las probetas forjadas, laminadas o moldeadas se someterán a un tratamiento de normalizado antes del mecanizado final.

El tratamiento de normalizado se efectuará en las condiciones establecidas según la especificación que defina el acero en estudio. La duración del mantenimiento a la temperatura del normalizado estará comprendida entre 30 y 60 minutos.

Las probetas deberán tratarse de tal modo que, después del mecanizado de acabado, no presenten trazas de descaburación.

Acabado de la Probeta: La superficie cilíndrica de la probeta se acabará por torneado fino; la superficie del extremo a temprar de la probeta tendrá también un acabado fino, obtenido preferiblemente por rectificado y no debe presentar rebabas.

2.1.3. Dispositivos de Temple.

El dispositivo de temple esquematizado en la figura 19, consistirá principalmente en un elemento de fijación y centrado de la probeta, situado en la vertical del orificio de salida del agua de $12,5 \pm 0.5$ mm de diámetro interior.

El tubo de conducción del agua deberá estar provisto de una válvula de apertura y cierres rápidos, así como de un sistema para hacer variar el caudal del agua. La tubería de agua, después de la válvula, debe de tener al menos 50 mm de longitud con el fin de garantizar una salida de agua sin perturbación.

Las posiciones relativas del orificio de salida del agua y del soporte de la probeta deberán ser tales que las distancias entre dicho orificio y el extremo de la probeta a temprar sea de $12,5 \pm 0.5$ mm (figura 21).

El soporte de la probeta permitirá el centrado preciso de la misma sobre el orificio y la fijará durante la proyección del agua.

El dispositivo de temple deberá de estar seco cuando se coloque la probeta; se evitará cualquier proyección de agua sobre la probeta durante su emplazamiento y antes de comenzar el temple.

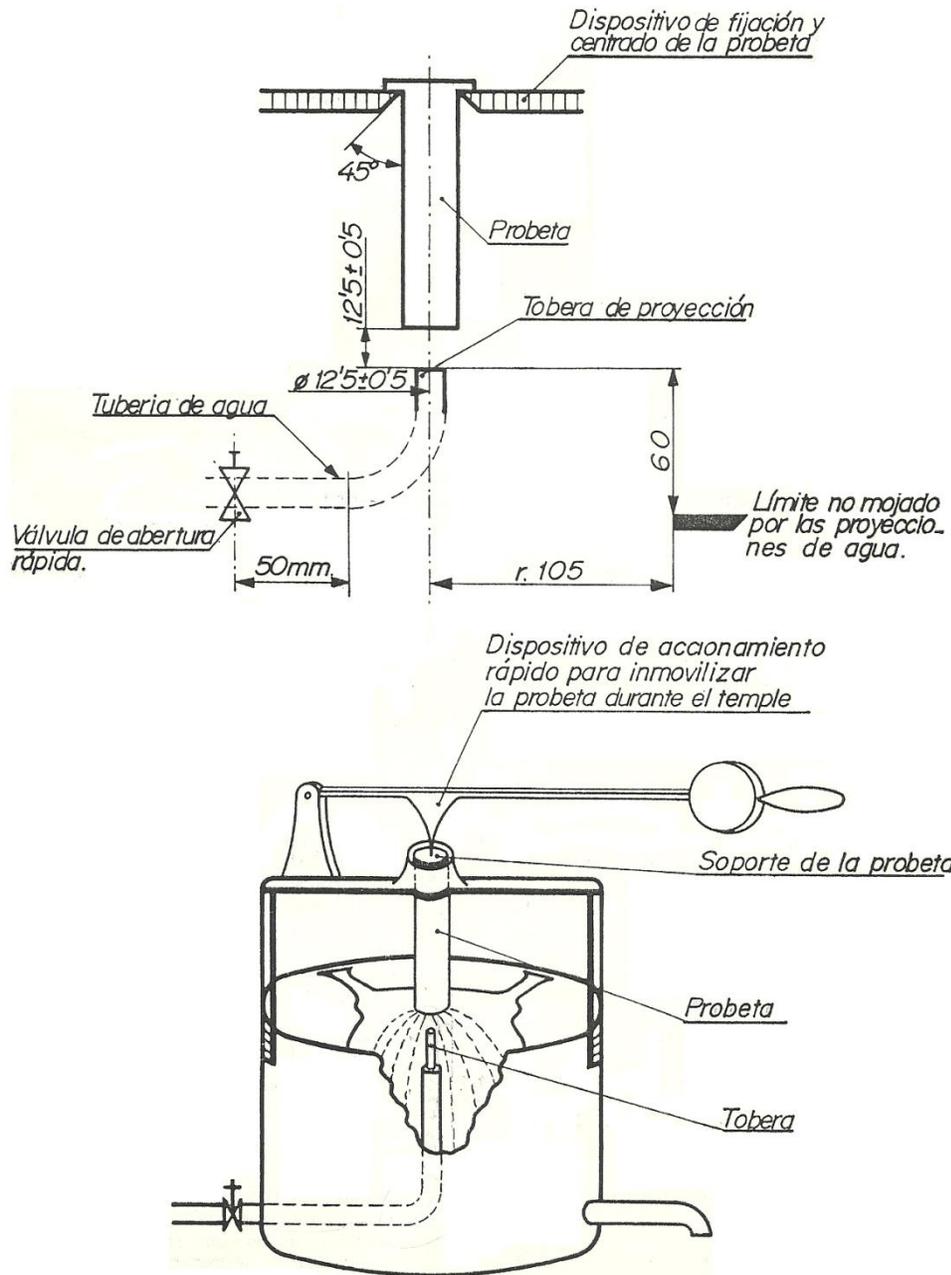


Figura No. 20: Esquema del Dispositivo de Temple Jominy.

Norma UNE 7-279-78.

La altura del chorro de agua por encima del plano del orificio, cuando no está situada la probeta, será de 65 ± 10 mm (figura 22). La temperatura del agua en el tubo estará comprendida entre 5° y 30° C.

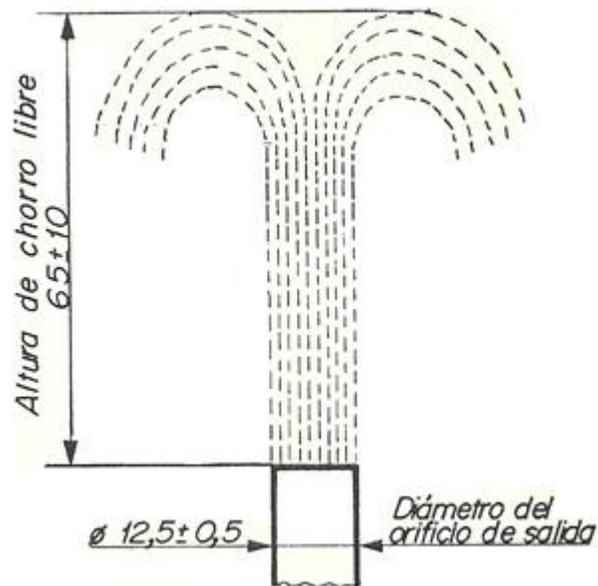


Figura No. 21: Tobera de Proyección.

Norma UNE 7-279-78.

Para comprobar la fuerza del chorro del agua, se medirá el diámetro del círculo cubierto por las proyecciones del agua desviadas por la probeta y que caen sobre un plano horizontal situado a 60 mm por debajo del orificio. El diámetro de este círculo será de 210 mm.

Durante el ensayo, el dispositivo de temple estará al abrigo de corrientes de aire.

2.1.4. Procedimiento Operativo.

Calentamiento de la Probeta

Se calienta la probeta introduciéndola en un horno adecuado que previamente este a la temperatura prescrita en la norma del producto o a la fijada de antemano. Una vez colocada a probeta en el horno, se mantiene a dicha temperatura durante unos 30 ± 5 min. Con este tiempo de permanencia se asegura, en la mayoría de los casos, que el núcleo de la probeta alcance la temperatura deseada.

El calentamiento también se puede realizar partiendo del horno frío, en cuyo caso los 30 minutos antes fijados deben contarse a partir del momento en que se estabilice el gráfico de temperatura de control del horno.

Se tomaran todas las precauciones posibles para evitar la descarburación, carburación u oxidación acentuada con formación de cascarilla. En ninguno de los casos se realizará la austenización en baño de sales. Se puede utilizar un horno de atmosfera controlada o colocar la probeta de una vaina de acero suave o refractario, tal como la probeta en la figura 23. En el fondo de este recipiente se pone grafito o limadura de fundición, sobre las que se apoya la probeta.

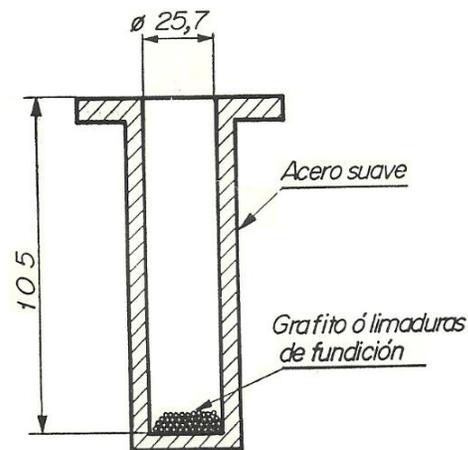


Figura No. 22: Tobera de Proyección. Norma UNE 7-279-78.

Temple de la Probeta

Calentada la probeta según se indicó anteriormente, se coloca en el dispositivo de ensayo y se acciona rápidamente la proyección del agua. El tiempo transcurrido desde la salida de la probeta del horno hasta que se inicia la proyección no debe ser superior a 5 segundos. Esta se mantiene durante un mínimo de 10 minutos; transcurrido este tiempo, se completa el enfriamiento de la probeta introduciéndola al agua fría.

Medición de Dureza

Preparación. Una vez enfriada la probeta se preparan 2 rebajos (ranuras) con superficies planas y paralelas rectificando a lo largo de 2 generatrices opuestas. En el caso de probetas no centradas obtenidas por mecanizado, los 2 rebajos deben estar a la misma distancia de la superficie del producto (ver la figura 22). La profundidad del rebajo debe de ser de 0.45 ± 0.05 mm.

Durante el rectificado, se refrigerará la probeta adecuadamente para evitar todo calentamiento que pueda producir una alteración de la estructura del acero. Para comprobar que la probeta no ha sufrido un revenido durante el rectificado se recomienda atacar aquella con una disolución acuosa de ácido Nítrico al 5% (en volumen) de ácido clorhídrico durante 2 o 3 segundos; se lava nuevamente con agua caliente y se seca en corriente de aire. La coloración resultante debe ser uniforme. En general, es suficiente el ataque por ácido Nítrico. Si se aprecian manchas que detecten la presencia de puntos blandos, estas superficies preparadas no son utilizables.

Medición. Sobre los ejes de las superficies planas de los rebajos de la probeta conveniente sujeta, se miden las durezas Rockwell C, con cargas de 150 kg/f y penetrador cónico de diamante (HRC 150), según la Norma UNE 7 053 (Ver Tabla No 2).

La medición de la dureza Rockwell C puede reemplazarse por la medición de la dureza Vickers, con carga de 30 kgf (Según Norma UNE 7 054).

Las diferencias de los valores de dureza en las superficies planas a la misma distancia del extremo templado no deben exceder de 2 HRC. En el caso de que el límite anterior sea sobrepasado, deben controlarse las condiciones del ensayo, ya que es probable que existan incorrecciones en el temple o en el calentamiento, o bien que exista una segregación acentuada en el acero.

Tabla No 2. Escalas de Dureza Rockwell.

Escalas	Indentador	Carga Total	Aplicaciones
A	Cono Diamante	60	Materiales duros, Superficies templadas, chapa fina (<0.4mm)
D	Cono Diamante	100	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono Diamante	150	Aceros templados
F	Bola de $\varnothing \frac{1}{16}$ "	60	Aleaciones cobre recocido, chapa fina metálica (>0.6mm)
B	Bola de $\varnothing \frac{1}{16}$ "	100	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de $\varnothing \frac{1}{16}$ "	150	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de $\varnothing \frac{1}{8}$ "	60	Aluminio, Zinc, plomo
E	Bola de $\varnothing \frac{1}{8}$ "	100	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales anti fricción o sintéticos
K	Bola de $\varnothing \frac{1}{8}$ "	150	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D 805-52), materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de $\varnothing \frac{1}{4}$ "	60	
M	Bola de $\varnothing \frac{1}{4}$ "	100	
P	Bola de $\varnothing \frac{1}{4}$ "	150	
R	Bola de $\varnothing \frac{1}{2}$ "	60	
S	Bola de $\varnothing \frac{1}{2}$ "	100	
V	Bola de $\varnothing \frac{1}{2}$ "	150	

Nota: Escalas de Dureza Rockwell, Norma ASTM E 18-03.

Se recomienda que, antes de realizar los ensayos de dureza en la segunda superficie plana se eliminen por mecanizado los rebordes formados por las huellas de las determinaciones de la primera superficie plana.

Situación de Puntos de Medida. El emplazamiento de los puntos de medida se debe hacer de tal forma que permita la construcción de una curva representativa de las variaciones de la dureza o de la determinación de la dureza, en uno o varios puntos prefijados.

Construcción de un Gráfico Representativo de las Variaciones de la Dureza. Para hacer esta curva, las distancias sucesivas de los 8 primeros puntos de medición a la superficie templada serán las siguientes:

1.5 – 3 – 5 – 7 – 9 – 11 – 13 – 15 mm

Los demás puntos se deben espaciar, en general, 5 mm (Figura 24). No obstante, la secuencia de los puntos de medida a partir del primero no es absoluta, y depende de las características del material y de la precisión que requiere el trazado de la curva.

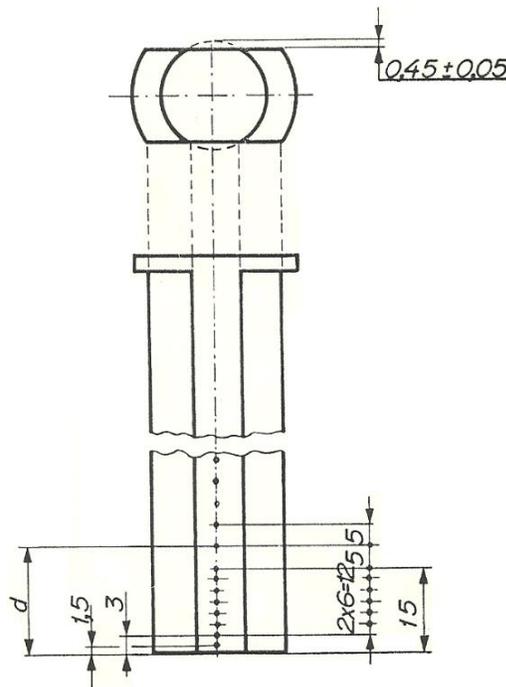


Figura No. 24: Preparación de la Probeta para la Medida de la Dureza y Emplazamiento de los Puntos de Medida.

Norma UNE 7-279-78.

En el caso del acero de baja templabilidad, las distancias sucesivas de los puntos de medición a la superficie templada serán:

1.5 – 2.25 – 3 – 3.75 – 4.50 – 5.25 – 6 – 6.75 – 7.50 – 8.25 – 9 – 9.75 – 10.50 –
11.25 – 12 – 15 – 19 – 22 – 25.

El dispositivo que asegura el apoyo y el desplazamiento de la probeta en la máquina para medir dureza, debe permitir situar exactamente las huellas y el centrado perfecto del rebajo.

Determinación de Dureza en Puntos Prefijados

La determinación de la dureza se efectúa en uno o varios puntos situados a distancias prefijadas del extremo, no siendo obligatorio que el primer punto se situé a 1.5 mm del extremo templado.

2.1.5. Expresiones de los Resultados.

Dureza de un Punto Cualquiera

Se tomará como dureza, cada distancia d , la medida de los valores obtenidos a esta misma distancia en cada una de las 2 superficies planas.

Trazado de los Gráficos de Dureza

En ejes cartesianos (Gráficas construidas manualmente), se tomarán las distancias entre abscisas y las durezas correspondientes en ordenadas, utilizando las escalas siguientes:

En ordenadas: 10 mm corresponden a 5 HRC.

En abscisas: 10 mm corresponden a una distancia de 5 mm.

En programas de computadora, no se tomará escala alguna.

La curva representada en este grafico se denomina curva de templabilidad de Jominy.

Templabilidad de un Acero Dado

La templabilidad de un acero podrá estimarse por alguno de los procedimientos siguientes:

- a) Curva Jominy.
- b) Determinación de la dureza en tres puntos, el primero de las cuales estará situado a 1.5 mm del extremo templado, fijándose los otros 2 a conveniencia propia.
- c) Determinación de la dureza de 2 puntos situados a distancias prefijadas a conveniencia propia.
- d) Determinación de la dureza a una distancia determinada del extremo templado.

Especificación de la Templabilidad de un Producto

Se utilizará uno de los dos métodos siguientes: (figura 25 a 28).

- a) Especificar en la curva Jominy del acero fijando una de las limitaciones siguientes:
 - 1. Una curva límite, por encima de la cual deben encontrarse la curva Jominy del acero.

2. Curva límite por debajo de la cual debe encontrarse la curva Jominy del acero.
 3. La banda comprendida entre la curva superior e inferior entre las cuales deben encontrarse la curva Jominy del acero.
- b) Especificar puntos particulares de la curva Jominy que pueden ser los siguientes:
1. El límite superior.
 2. El límite inferior.
 3. El intervalo acotado por estos 2 límites.

Indicando la distancia d a la cara templada para una dureza dada o la dureza para una distancia dada d a la cara templada.

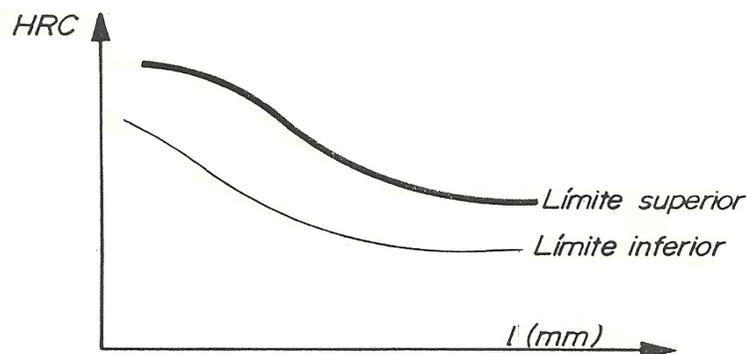


Figura No. 25: Especificación por la Banda de Templabilidad Limitada por Dos Curvas Jominy. Norma UNE 7-279-78.

En todos los casos, las características podrán expresarse bajo la forma de un índice de templabilidad. Este índice se compondrá de la letra J seguida de dos número, separados por una barra, que expresan respectivamente la dureza RC (HRC) y la distancia d .

Ejemplos:

- 1) El índice de la templabilidad de un producto cuya dureza es de 35 HRC a una distancia $d = 15$ mm de la extremidad templada (figura 26), se representa como se indica a continuación:

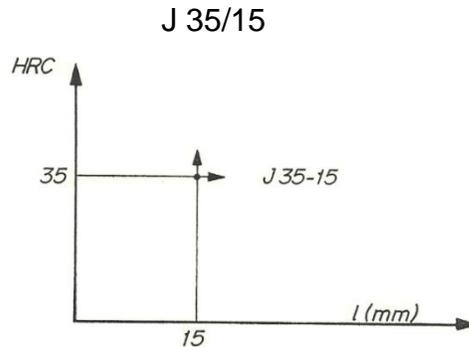


Figura No. 25: Especificación por una Dureza Alcanzada para una Distancia Dada. Norma UNE 7-279-78.

- 2) El índice de templabilidad de un producto cuya dureza es de 45 HRC en un punto situado entre 6 y 18 mm del extremo templado (figura 27) se representara como se indica a continuación:

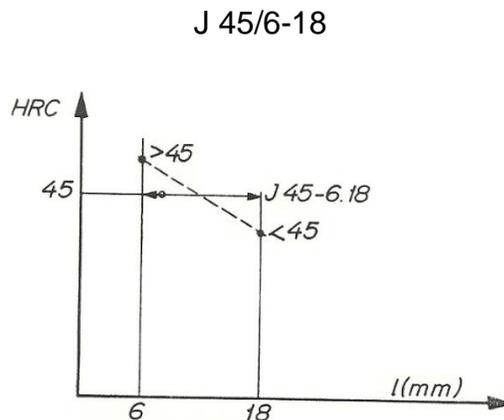


Figura No. 26: Especificación por una Dureza Dada Entre dos Límites de Distancias. Norma UNE 7-279-78.

- 3) El índice de templabilidad de un producto cuya dureza está comprendida entre 35 y 48 HRC, a una distancia $d = 15$ mm (figura 28), se representará como se indica a continuación:

J 35-48/15

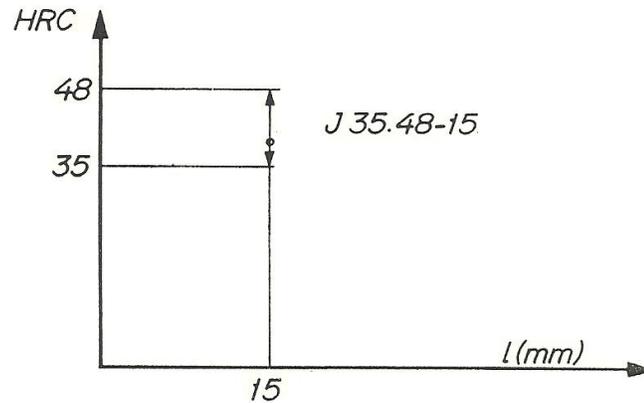


Figura No. 27: Especificación por una Dureza Dada Entre dos Límites de Distancias. Norma UNE 7-279-78.

2.1.6. Acta de Ensayo.

En el acta de ensayo deberá figurar:

- Tipo de Acero.
- Identificación de la muestra.
- Composición química.
- Método de preparación.
- Condiciones de tratamiento de Normalizado.
- Condiciones de calentamiento de la probeta.
- Resultados del ensayo.
- Tamaño del grano austenítico a la temperatura de calentamiento (cuando se considere necesario)
- Método utilizado para medir dureza.

2.1.7. Observaciones

En numerosos casos será conveniente conocer la ley de enfriamiento de la superficie de la probeta.

Admitiendo que en primera aproximación, se considera despreciable el calor que puede desprenderse durante el enfriamiento debido a las modificaciones estructurales del acero, y también las diferencias de conductibilidad térmica de las diversas clases de acero con relación a una probeta, las variaciones de temperatura, a lo largo de una determinada longitud de probeta, se pueden expresar mediante diversas formas.

A título informativo citamos las dos siguientes:

a) Grafico A

Haz de curva que representen en abscisas los tiempos en segundos (escala logarítmica) y en ordenadas la relación θ/θ_A siendo:

θ_A = Temperatura de austenización.

θ = Temperatura de los puntos de superficie situados a una cierta distancia del extremo templado en el instante considerado.

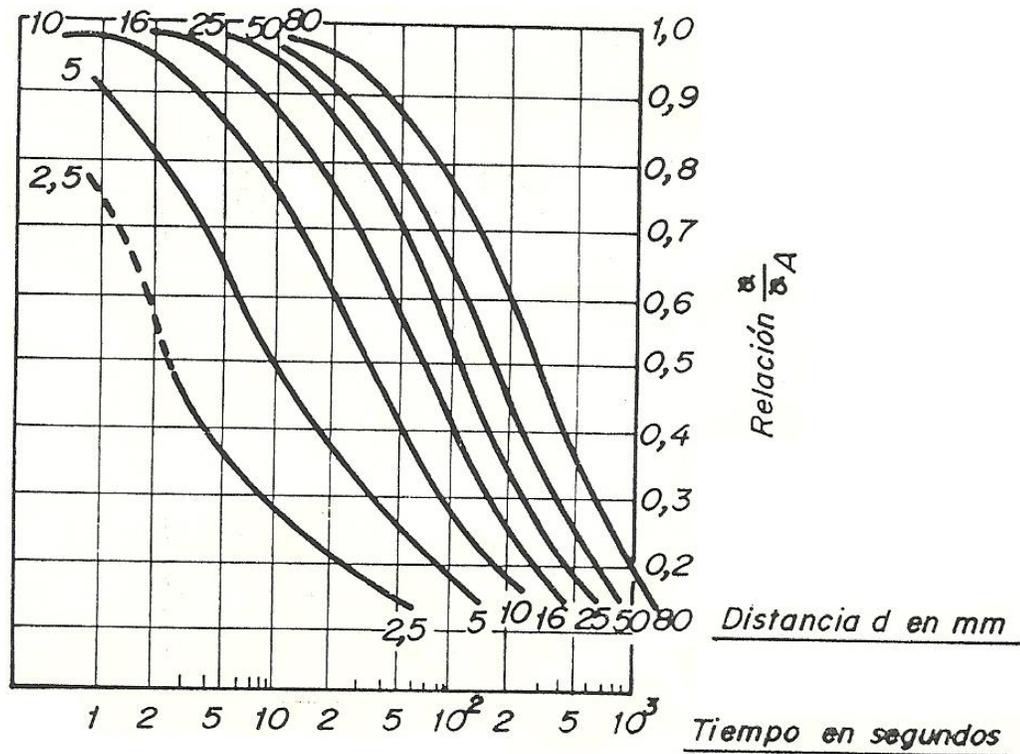


Gráfico A. Haz de Curvas de la Relación θ/θ_A en Función del tiempo.

Norma UNE 7-279-78.

El parámetro de haz de curva es la distancia d .

b) Grafico B

Curva que representa en abscisas la distancia d y en ordenadas la variación en grados Celsius por segundo de la velocidad de enfriamiento en los puntos superficiales medidos en la probeta Jominy a 700°C aproximadamente, en función de su distancia al extremo enfriado (Norma UNE 7-279-78).

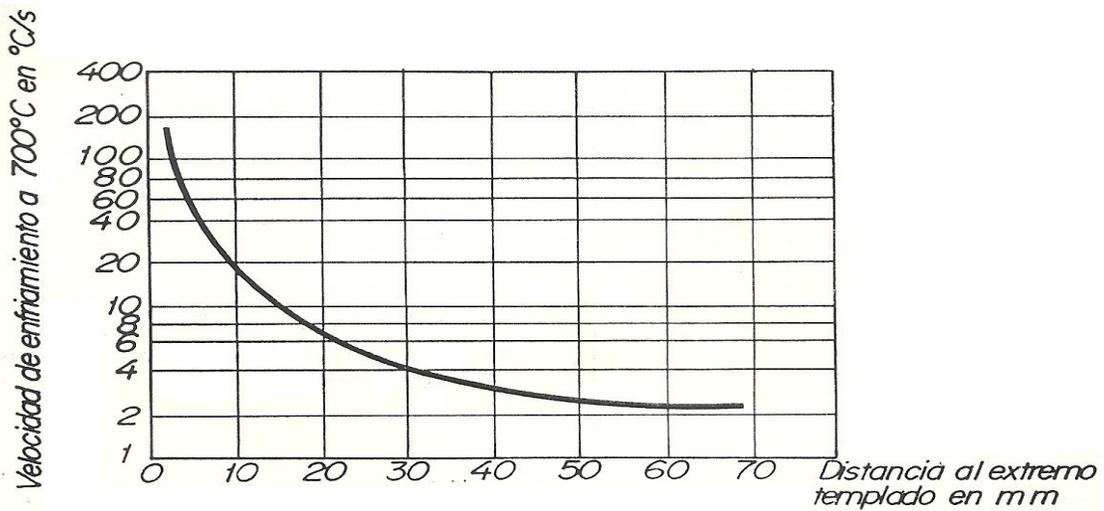


Gráfico B. Variación de la Velocidad de Enfriamiento de la Superficie de la Probeta Jominy, en el Entorno de 700° C, en Función de la Distancia del Extremo Templado.

Norma UNE 7-279-78.

2.2. Dureza.

2.2.1. Generalidades sobre las Mediciones de Dureza.

La dureza en sí es uno de los tantos ensayos mecánicos que se les puede hacer a los materiales, entre los principales ensayos de este tipo, se encuentran los siguientes:

- Ensayo de Tracción.
- Ensayo de Compresión.
- Ensayo de Flexión.
- Ensayo de Torsión.
- Ensayo de Impacto.
- Ensayo de Fatiga.
- **Ensayo de Dureza.**

La dureza es una condición de la superficie del material, no representa ninguna propiedad de la materia y está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material. Si bien, es un término que nos da idea de solidez o firmeza, no existe una definición única acerca la dureza y se la suele definir arbitrariamente en relación al método particular que se utiliza para la determinación de su valor. De esta manera algunas definiciones son:

1. Resistencia a la indentación permanente bajo cargas estáticas o dinámicas (dureza por penetración).
2. Absorción de energía bajo cargas de impacto o dinámicas (dureza por rebote).
3. Resistencia a la abrasión (dureza por desgaste).
4. Resistencia al rayado (dureza por rayado).

Independientemente de las definiciones enumeradas, en general, se entiende por dureza la propiedad que tienen los materiales de resistir la penetración de un indentador bajo carga. En este sentido definiremos dureza como la resistencia de un material a la deformación plástica localizada.

La medición de dureza se puede utilizar para:

- Evaluar la efectividad de un tratamiento térmico.
- Evaluar la resistencia al desgaste de un material.
- Evaluar la maquinabilidad del material.
- Obtener una idea de la resistencia a la tracción de un material.

En el caso de los metales, las mediciones de dureza que más se usan, son tres escalas, las cuales son:

- **La escala Rockwell.**
- **La escala Brinell.**
- **La escala Vickers.**

Hay otras escalas de dureza para medición de materiales en general tales como las escalas de Shore, Knoop y Mohs, pero para Tratamiento Térmico de Metales las escalas más usadas son la Rockwell, Brinell y Vickers. A continuación se estudian los actos para efectuar las mediciones dureza luego de haber realizado el Ensayo de Templabilidad Jominy.

2.2.2. Escala de Dureza Rockwell.

Este ensayo consiste en indentar con un cono de diamante o una esfera de acero el material que se va ensayar. La lectura de la dureza se hace en forma rápida y directa, en un reloj especial que traslada la medida en cifras unitarias de dureza Rockwell.

2.2.2.1. Generalidades sobre el Ensayo de Dureza Rockwell.

Características del Ensayo Rockwell

Las principales características de este ensayo son:

- Lectura Directa de la Dureza.
- Aplicación Simultánea de Dos Cargas.
- Medida de la Dureza por la Longitud de Identación.

Lectura Directa de Dureza

La lectura de los valores de la dureza se realiza, en las escalas del reloj que está incorporado y acoplado al dispositivo de aplicación de las cargas de la máquina de ensayo.

Aplicación Simultánea de Dos Cargas

En los ensayos Rockwell se aplican dos cargas diferentes: una inicial de 10 Kg y después una carga final mayor que la anterior, la cual varía de acuerdo al tipo de ensayo que se va a realizar.

Medida por la Longitud de Identación

La distancia indentada por el diamante o esfera es directamente proporcional a la carga, e inversamente proporcional a la dureza del material, esta proporción no es lineal.

2.2.2.2. Tipos de Ensayo Rockwell.

Los tipos de ensayo Rockwell que más se emplean son los siguientes:

- Ensayo Rockwell B.
- Ensayo Rockwell C.

De estos dos tipos de Ensayos Rockwell, el que estudiaremos es el que se describe a continuación.

2.2.2.2.1. Ensayo Rockwell C.

El indentador utilizado para este ensayo se denomina Brale, es un cono de diamante con un ángulo de 120° y con la punta esférica con un radio de 0.2 mm. La carga final empleada para realizar este ensayo es de 140 Kilogramos (ver figura 29).

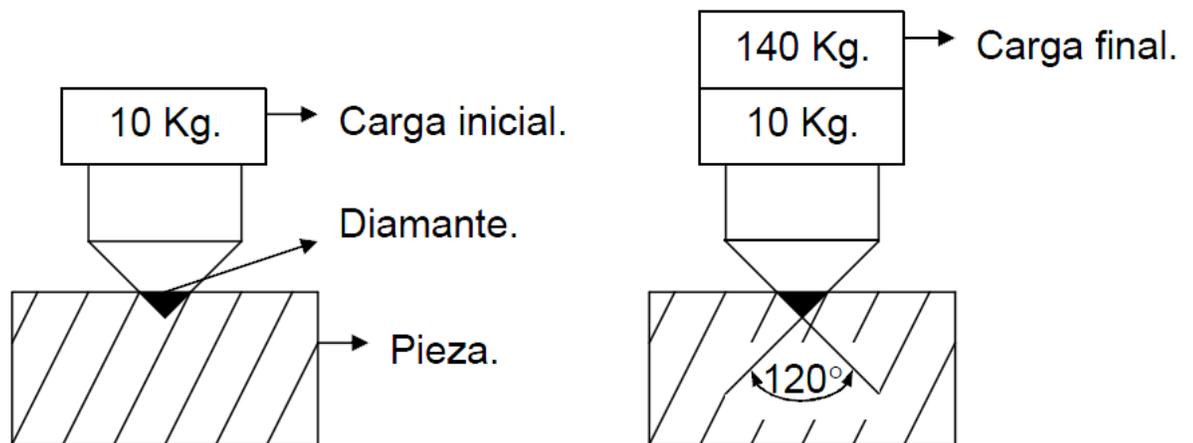


Figura No. 28: Ensayo Rockwell C.

Tome Marincovich, 2006, p. 34.

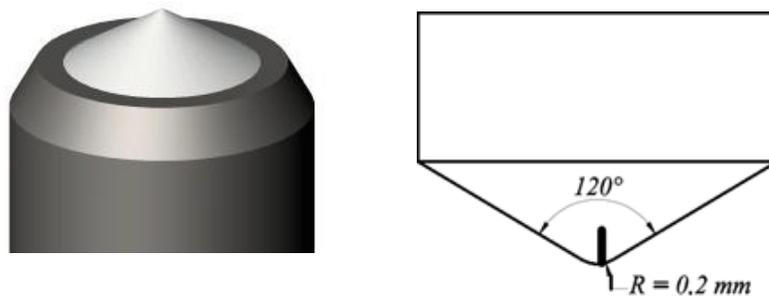


Figura No. 29: Indentador Cónico Esferoidal de Rockwell. Calle y Henao. p. 2.

Las bolas son similares a las del método Brinell y tienen los siguientes diámetros: $\varnothing 1/16''$; $\varnothing 1/8''$; $\varnothing 1/4''$; $\varnothing 1/2''$.

Las cargas a aplicar pueden ser:

Carga	Previa	P_0	10		
Carga	Principal	P_1	50	90	140
Carga	Total	P_f	60	100	150

Con respecto a los usos podemos decir que el indentador de bola de 1/16 de pulgada, es empleado para materiales cuya dureza oscile entre 0 y 100 de la escala Rockwell B. La lectura se hace en la escala roja del reloj, también denominada escala RB (ver figura 31).

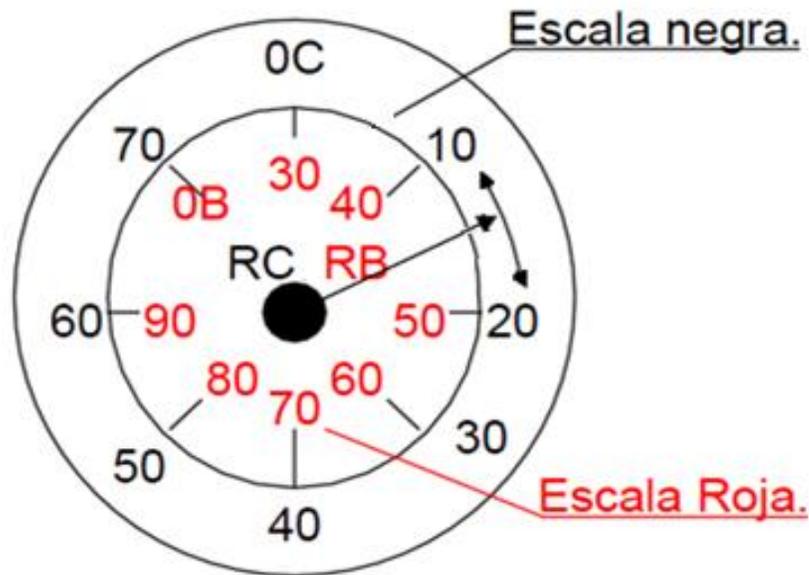


Figura No. 30: Escalas de Ensayo Rockwell.

Tome Marinovich, 2006, p. 34.

El indentador Brale se utiliza para materiales cuya dureza oscile entre 20 y 70 de la escala Rockwell C. La lectura en este caso se efectúa en la escala negra del reloj o escala C.

Condiciones para el Ensayo Rockwell C

Las condiciones para el ensayo son:

- a. Antes de determinar la dureza de un material se debe realizar por lo menos una medición previa, por cuanto la primera lectura puede ser errónea.
- b. El indentador debe quedar perpendicular a la pieza y esta no debe moverse durante el ensayo.
- c. Las piezas deben presentar una superficie plana, lisa y libre de suciedad, cascarilla o partículas duras que puedan falsear los resultados del ensayo.
- d. La superficie de la pieza no debe calentarse durante su preparación para evitar el ablandamiento de la misma, por el efecto de revenido y para no crear tensiones internas en el material.
- e. En piezas redondas menores de diez milímetros de diámetro, la curvatura falsea el resultado, se debe entonces rectificar con piedra esmeril o lima, una pequeña zona para la huella de impresión, de lo contrario; se debe acompañar el valor del diámetro de la pieza al de la dureza obtenida.
- f. El espesor debe ser suficientemente grueso con respecto a la carga y al indentador para evitar el “efecto yunque”, este puede detectarse observando la cara opuesta, para ver si aparecen señales de compresión o de la impresión del indentador.

En general, se establece un espesor de la pieza mayor o igual a diez veces la indentación del diamante (Tome Marincovich, 2006, p. 31-36).

2.2.3. Escala de Dureza Vickers.

El ensayo Vickers consiste en determinar la dureza de un material, utilizando un penetrador especial, para medir después la diagonal de la huella que este deja, sobre la superficie de la pieza.

2.2.3.1. Generalidades sobre el Ensayo de Dureza Vickers.

Identador de Cargas

El indentador de cargas Vickers, es un pequeño diamante tallado en forma de pirámide cuadrangular cuyas caras opuestas tienen un ángulo de 136° (ver figura 32).

Este ángulo fue elegido para que los números de dureza Vickers coincidan con los de Brinell, aunque esta semejanza solo se cumple hasta aproximadamente 350 unidades Brinell, debido a la deformación que sufre la bola durante el ensayo al sobre pasar esta cifra.

Las cargas más recomendadas para realizar el ensayo Vickers son las de 1 – 2.5 – 5 – 10 – 20 – 30 – 50 – 100 y 120 Kg. de las cuales la más utilizada es la de 30 Kg.

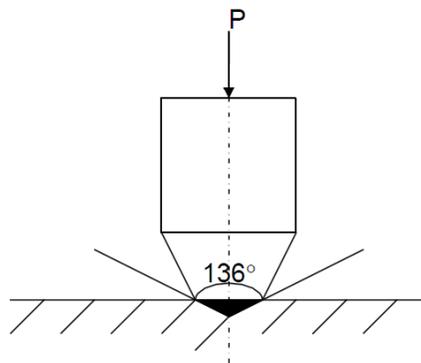


Figura No. 31: Ensayo Vickers (HV).

Tome Marinovich, 2006, p. 40.

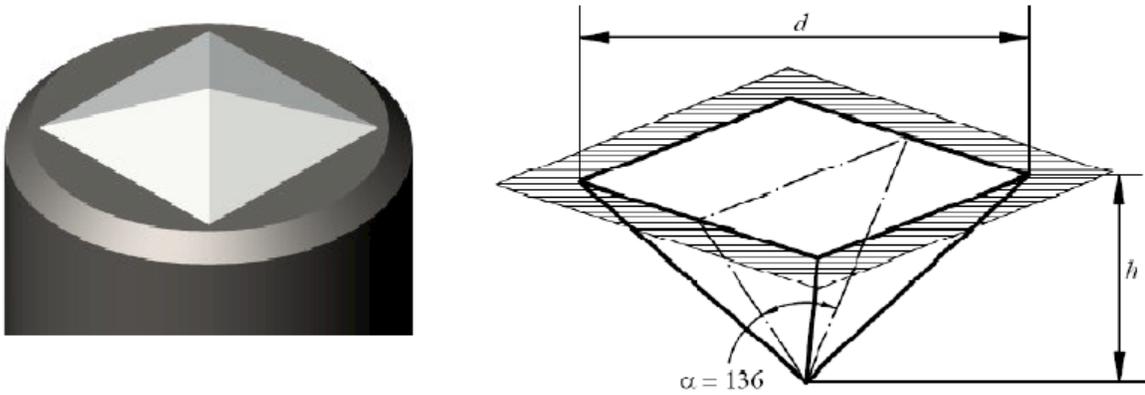


Figura No. 32: Indentador Piramidal Vickers e Impronta
Dureza Vickers, p. 1.

Determinación de la Dureza

Después de haberse aplicado la carga sobre el material, en este aparece una pequeña huella impresa (ver figura 34) para determinar la dureza, se miden las diagonales de la huella con un microscopio o un micrómetro óptico.

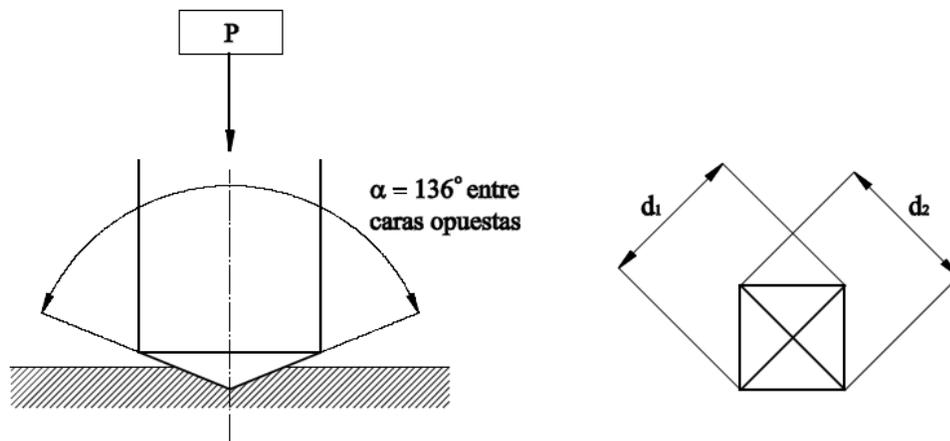


Figura No. 33: Sobre el Ensayo Vickers -Huella Impresa con este Tipo de Ensayo. Calle y Henao. p. 2.

El valor numérico se obtiene, como en el ensayo Brinell, al dividir la carga por la superficie de la huella, pero es más práctico utilizar las tablas siendo la más usual la correspondiente a la carga de 30 Kg; una fórmula para calcular la dureza Vickers es la siguiente:

$$HV = \frac{1,854 * P}{d^2}$$

Siendo:

P = La carga aplicada en Kg.

d = La diagonal de la huella impresa.

Usos del Ensayo Vickers

El ensayo Vickers se utiliza cuando se requiere precisión en la determinación de las durezas, debido a su versatilidad, se emplea para ensayar materiales blandos, **Metales Templados** y metales tratados termoquímicamente. Además como la huella impresa es muy pequeña permite ensayar láminas de poco espesor y piezas terminadas sin perjudicar las superficies de las mismas.

Condiciones para el Ensayo

Las piezas que se van a ensayar deben presentar una superficie pulida, plana y perpendicular al eje de simetría del indentador. La carga total se aplica lentamente en especial su última fracción para evitar los efectos de inercia y descarga brusca. La impresión debe realizarse en una zona plana de la pieza y el espesor mínimo de esta debe ser aproximadamente 1,5 veces el tamaño de la diagonal de la huella, para evitar el “efecto yunque”, en la figura 35 se puede observar los espesores mínimos que deben tener las piezas a ensayar, en relación a la carga utilizada y a la dureza del material ensayado.

Así por ejemplo, para un ensayo de dureza Vickers con 30 Kg para una dureza comprendida entre 200 y 300 unidades Vickers, la pieza deberá tener un espesor igual o mayor a 0.75 mm. El tiempo que permanece aplicada la carga total varía usualmente de 10 a 30 segundos.

Esta permanencia de la carga tiene por objeto permitir que se completen las deformaciones plásticas del material, en la pequeña zona de ensayo.

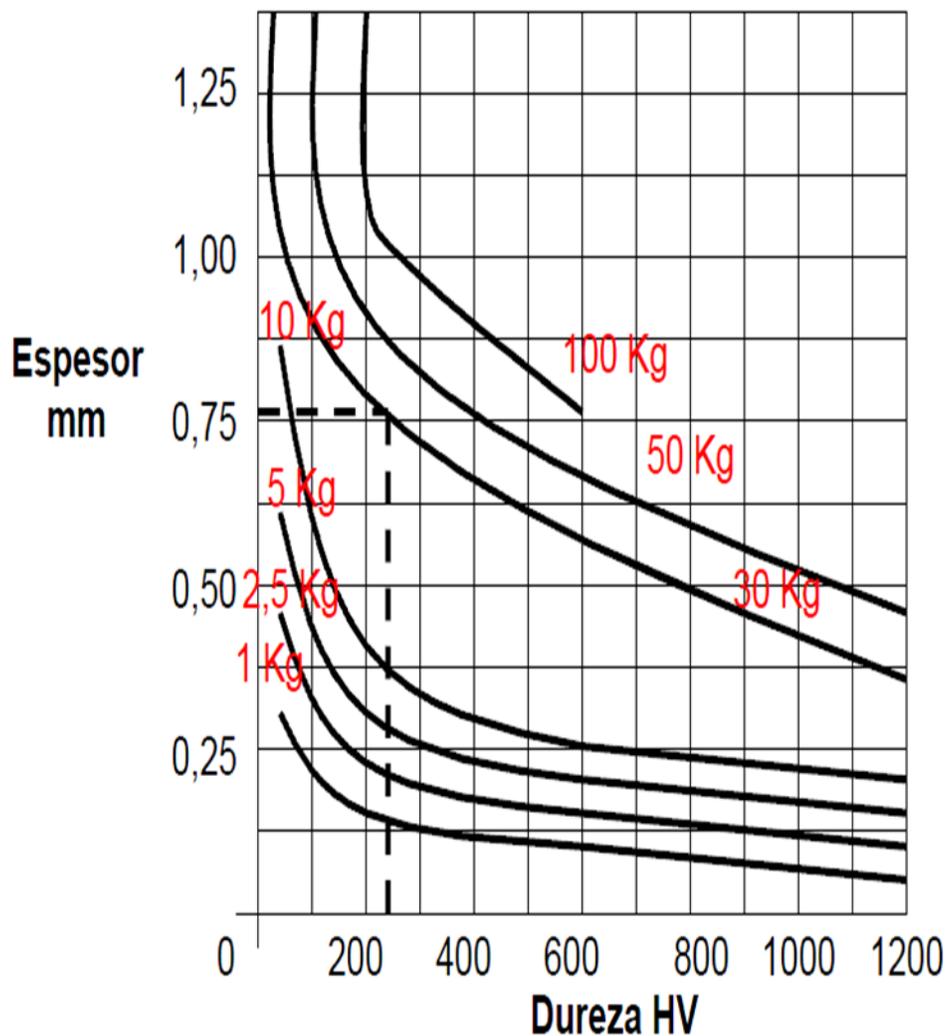


Figura No. 35: Relación entre espesores mínimos – Dureza y carga aplicada. Tome Marincovich, 2006, p. 42.

2.2.4. Tablas de Equivalencias de Dureza entre Escalas.

Entre las tres escalas de dureza, Rockwell, Brinell y vickers existen equivalencias, a continuación se muestra la tabla 3 y 4 que muestra las conversiones de dichas escalas y con los valores más útiles para los procesos de tratamientos térmicos (Tome Marincovich, 2006, p. 39-43).

Tabla No. 3: Tabla de Conversión de Durezas Aproximadas

Diámetro (mm). Carga 3000 Kg. Bola 10 mm.	Brinel	Vicker	Rockwell.	
	Durez a. N°	Durez a. N°	C Carga 150 Kg. Cono de 120°	B Carga 100 Kg Bola 1/16"
2.05	898	–	–	–
2.10	857	–	–	–
2.15	817	–	–	–
2.20	780	1,150	70	–
2.25	745	1,050	68	–
2.30	712	960	66	–
2.35	682	885	64	–

Nota: Tabla de Conversión de Durezas Aproximadas.

Tome Marincovich, 2006, p. 42.

Tabla No. 4: Tabla de Conversión de Durezas Aproximadas (Continuación)

Diámetro (mm). Carga 3000 Kg. Bola 10 mm.	Brinell.	Vickers.	Rockwell.	
	Dureza. N°	Dureza. N°	C Carga 150 Kg. Cono de 120°	B Carga 100 Kg Bola 1/16"
2.40	653	820	62	–
2.45	627	765	60	–
2.50	601	717	58	–
2.55	578	675	57	–
2.60	555	633	55	120
2.65	534	598	53	119
2.70	514	567	52	119
2.75	495	540	50	117
2.80	477	515	49	117
2.85	461	494	47	116
2.90	444	472	46	115
2.95	429	454	45	115
3.00	415	437	44	114
3.05	401	420	42	113
3.10	388	404	41	112
3.15	375	389	40	112
3.20	363	375	38	110
3.25	352	363	37	110
3.30	341	350	36	109
3.35	331	339	35	109
3.40	321	327	34	108
3.45	311	316	33	108
3.50	302	305	32	107
3.55	293	296	31	106
3.60	285	287	30	105
3.65	277	279	29	104
3.70	269	270	28	104
3.75	262	263	26	103
3.80	255	256	25	102
3.85	248	248	24	102
3.90	241	241	23	100
3.95	235	235	22	99
4.00	229	229	21	98
4.05	223	223	20	97

Nota: Tabla de Conversión de Durezas Aproximadas.

Tome Marinovich, 2006, p. 43.

2.3. Puesta en marcha del Equipo de Templabilidad Jominy.

Para la restauración del equipo Jominy, se siguieron los siguientes pasos:

1. Prueba del Equipo en su Estado Actual.
2. Ampliación del Espacio para Ubicación.
3. Mantenimiento y Actualización.
4. Comprobación del Funcionamiento Óptimo del Equipo Jominy.

2.3.1. Prueba del Equipo en su Estado Actual.

Como primer paso se realizó la inspección del equipo Jominy en su estado actual. Esto con el propósito de verificar qué partes componentes del mismo necesitaban ser reparadas o reemplazadas. El equipo presento defectos en las tuberías, fugas de agua en los sellos y ciertos rasgos de corrosión en el tanque contenedor de agua.

2.3.2. Ampliación del Espacio para Ubicación.

Para crear el espacio óptimo para la ubicación e implementación del equipo Jominy fue necesario variar la posición de ciertos equipos del laboratorio de Metalurgia, es decir, fue preciso reorganizar el lugar, al igual que modificar las dimensiones de una mesa, obteniendo así una mayor área libre de ocupación.

Debido a que el laboratorio presentaba deterioros en la infraestructura, se procedió a pintar el área de trabajo y a crear las condiciones necesarias para que el equipo Jominy abastezca y descargue agua para realizar su labor.

2.3.3. Mantenimiento y Actualización.

Para cumplir este paso se realizaron las siguientes actividades:

- Desarme del equipo Jominy.
- Lijado de los tanques.
- Instalación del sistema de nivel de agua.
- Pintado de los tanques.
- Cambio de tubería.
- Instalación del sistema de llenado y drenaje del agua.
- Ensamble del sistema.

2.3.4. Comprobación del Funcionamiento Óptimo del Equipo Jominy.

Luego de su actualización se procedió a verificar el buen funcionamiento del equipo. Esto con el fin de detectar si existían fugas de agua en la tubería nueva y en las válvulas, verificar la presión del chorro de agua, confirmar que el método de drenaje, de apertura y cierre del sistema trabajen adecuadamente, y centrar el chorro de agua para que este golpee el centro de la probeta.

2.4. Plan de Mantenimiento Preventivo del Equipo de Templabilidad Jominy.

**Rutina de Mantenimiento Predictivo del Equipo de
Ensayo de Templabilidad Jominy**



Frecuencia de Rutina: Trimestral

Objetivo:

- Mantener el equipo en óptimas condiciones de funcionamiento.

Procedimiento:

1. Verificar que el equipo no presente corrosión en los tanques contenedores de agua. Si se presenta corrosión, secar bien la superficie y lijar. Luego aplicar pintura anticorrosiva sobre la superficie afectada.
2. Asegurarse que no existan fugas en el sistema de abastecimiento y evacuación de agua. Si se presentan fugas, cerrar el flujo de agua, secar la superficie y aplicar pegamento PVC.
3. Asegurarse que las llaves de paso, de drenaje y de llenado del tanque estén en buenas condiciones para evitar fugas de agua.
4. Observar que no existan fugas en los sellos existentes entre la tubería y los tanques.
5. Revisar el estado del sistema de cierre del tanque contenedor de agua. Este se puede verificar abriendo la llave de paso de agua y moviendo la bolla de arriba hacia abajo siguiendo el giro de la misma.

Capítulo No. 3: Prácticas de Templabilidad.

3.1. Análisis Metalográfico.

La **metalografía** es la ciencia que estudia las características microestructurales o constitutivos de un metal o aleación relacionándolas con las propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Los pasos a seguir para una preparación metalográfica son los siguientes:

- Corte Metalográfico
- Incluido Metalográfico
- Pulido Metalográfico
- Ataque Químico
- Microscopio

Corte Metalográfico



Figura No. 37: Cortadora Metalográfica.

Wikipedia-Metalografía

Es un equipo capaz de cortar con un disco especial de corte por abrasión, mientras suministra un gran caudal de refrigerante, evitando así el sobrecalentamiento de la muestra. De este modo, no se alteran las condiciones microestructurales de la misma.

Incluido Metalográfico



Figura No. 36: Incluidora Metalográfica.

Wikipedia-Metalografía

La muestra cortada se incluye en resina para su mejor tratamiento posterior y almacenado. La inclusión se puede realizar mediante resina en frío: normalmente dos componentes, resina en polvo y un catalizador en líquido, o bien en caliente: mediante una incluidora, que, por medio de una resistencia interior calienta la resina (monocomponente) hasta que se deshace. La misma máquina tiene la capacidad de enfriar la muestra, por lo que es un proceso recomendado en caso de requerimientos de muchas muestras al cabo del día.

Pulido Metalográfico

Se usa el equipo suelda Metalográfica, se prepara la superficie del material, en su primera fase denominada Desbaste Grueso, se desbasta la superficie de la muestra con papel de lija, de manera uniforme y así sucesivamente disminuyendo el tamaño de grano (Nº de papel de lija) hasta llegar al papel de menor tamaño de grano.

Desbaste Fino, se requiere de una superficie plana libre de ralladuras la cual se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño para ello existen gran posibilidad de abrasivos para efectuar el último pulido.



Figura No. 37: Pulidora Metalográfica.
Wikipedia-Metalografía

La etapa del pulimento es ejecutada en general con paños macizos colocados sobre platos giratorios circulares, sobre los cuales son depositadas pequeñas cantidades de abrasivos, en general diamante industrial en polvo fino o bien en suspensión, con granulometrías como por ejemplo de 10, 6, 3, 1, y 0.25 micras.

El pulido se realiza sujetando la muestra a tratar con la mano o bien mediante un cabezal automático para pulir varias muestras a la vez. Este ejerce una presión pre-configurada hacia el disco o paño de desbaste o pulido durante un tiempo concreto. Estos parámetros deben ser configurados según el tipo de material (dureza, estado del pulido, etc...) Opcionalmente existen sistemas con dosificador automático de suspensión diamantada.

Ataque Químico

Hay una amplia gama de ataques químicos, para diferentes tipos de metales y situaciones. En general, el ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón embebido en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defecto sea revelada.

Uno de los más usados es el Nital (ácido nítrico y alcohol), para la gran mayoría de los metales ferrosos.

Microscopio

El principal instrumento para la realización de un examen metalográfico lo constituye el microscopio metalográfico, con el cual es posible examinar una muestra con aumentos que varían entre 50x y 2000x (x = medida real).

El microscopio metalográfico, debido a la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada por el metal. Por lo que para poder observar la muestra es necesario preparar una probeta y pulir a espejo la superficie (Wikipedia-Metalografía).

El Proceso de Preparación Metalográfica de los aceros estudiados se realizó de la siguiente manera:

- Durante el proceso de Corte Metalográfico este se llevó a cabo manualmente (con Sierra Metálica) obteniendo así 3 muestras: 1 Dado de $\varnothing = 31\text{mm}$ y Altura= 25mm del Acero 1020, 1 Dado de $\varnothing = 25\text{mm}$ y Altura= 24.5mm del Acero 1045 y 1 Dado de $\varnothing = 37\text{mm}$ y Altura= 19mm del Acero Aleado 4140).
- El Incluido Metalográfico no se hizo (ya que llevarlo a cabo era irrelevante).

- Para la etapa de Pulido, inicialmente se realizó a las muestras obtenidas el Desbaste Grueso con papel lija (xxxx) y posteriormente se le aplicó Desbaste Fino en la Desbastadora de Disco Abrasivo (LS1 Rement) con el objeto de dejar una superficie plana libre de ralladuras, la cual se obtuvo mediante la sustitución de varios discos giratorios húmedas cubiertos con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño (100, 380, 600, 1000) el cual consta con sistema dosificador automático humectante (Alúmina de 0.5 μm), puliendo la muestra mediante sujeción manual.
- El Ataque Químico consistió en el baño con Nital (Ácido nítrico y Alcohol Etílico al 4%), de la cara pulida de la probeta del metal a Identificar.
- El proceso de observación en el Microscopio (Equipo marca Prior) se llevó a cabo luego de haber pulido a espejo las superficies de las muestras obtenidas (en Desbastadora de Disco Abrasivo). Mediante la visualización en el microscopio de la estructura que presentaba cada acero, se procedió a comparar con el catálogo existente en el laboratorio de Metalurgia de la UNI, el cual representa las estructuras correspondientes según el porcentaje de carbono en los aceros, dando como resultado una coincidencia del 95% de la estructura correspondiente según catálogo consultado de los aceros 1020, 1045 y 4140.

3.2. Clasificación de los Aceros (Actos para Realizar el Ensayo Jominy) Según Normas SAE / AISI.

Las normas establecidas por la SAE (Society of Automotive Engineers) sociedad de ingenieros automotores, indican la composición y clasificación de los aceros. El sistema numérico de las normas SAE, está compuesto por cuatro o cinco cifras que significan lo siguiente: La primera cifra de la norma indica la clase de acero, así el número “1” significa aceros al carbono, el número “2” significa aceros aleados al níquel, el número “3” significa aceros al cromo níquel, el número “5” significa aceros al cromo...etc. (ver la tabla 1). El segundo número indica el porcentaje aproximado del elemento de aleación predominante, las últimas cifras indican el promedio del contenido de carbono en centésimos de porcentaje; cuando este último es igual o pasa del 1%, el sistema pasa a componerse por cinco cifras (Tome Marincovich, 2006, p. 67-73).

Ejemplos:

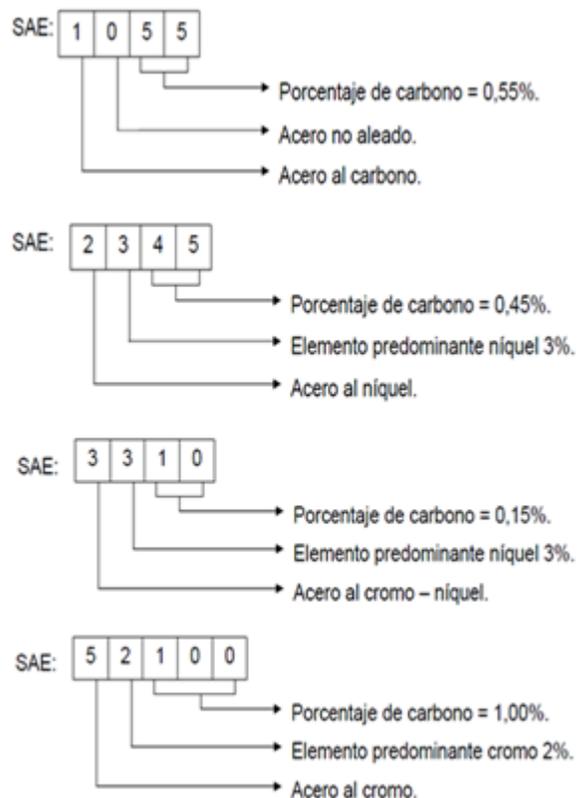


Tabla No. 5: Clasificación y Composición de los Aceros SAE

Tipo de acero.	Número SAE.
Aceros al carbono.	1...
Aceros no aleados.	10..
Aceros de viruta corta, resulturados	11..
Aceros refosforados y resulturados.	12..
Aceros al manganeso.	13..
Aceros al níquel.	2...
Aceros.	23..
Aceros al níquel	25..
Aceros al cromo – níquel.	3...
Aceros al cromo – níquel.	31..
Aceros al cromo – níquel.	32..
Aceros al cromo – níquel.	33..
Aceros inoxidables y refractarios.	30..
Aceros al molibdeno.	4...
Aceros al carbono – molibdeno.	40..

Nota: Clasificación y Composición de los Aceros SAE.

Tome Marinovich, 2006, p. 68.

Tabla No. 6: Clasificación y Composición de los Aceros SAE (Continuación)

Tipo de acero.	Número SAE.
Aceros al cromo – molibdeno.	41..
Aceros al cromo – níquel – molibdeno.	43..
Aceros al níquel – molibdeno.	46..
Aceros al níquel – molibdeno.	48..
Aceros al cromo.	5...
Aceros de bajo contenido de cromo (para rodamientos).	501..
Aceros de mediano contenido de cromo (para rodamientos).	511..
Aceros en alto contenido de cromo (para rodamientos).	521..
Aceros inoxidables.	52..
Aceros al cromo – vanadio.	6...
Aceros al silicio – manganeso.	9...
Aceros al silicio – manganeso.	92..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	86..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	87..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	93..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	94..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	97..
Aceros de triple aleación, cromo – níquel – molibdeno.	98..
Aceros de baja aleación y de alta resistencia.	9...
Aceros fundido inoxidables	60..
Aceros fundido refractario.	70..

Nota: Clasificación y Composición de los Aceros SAE.

Tome Marinovich, 2006, p. 69.

Tabla No. 7: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI.

Barras Laminadas en Caliente

	AISI.	C	Mn	P	S	SAE.
	C 1010	0,08 / 0,13	0,30 / 0,60	0,040 máx.	0,050 máx.	1010
Acero Utilizado	C 1020	0,18 / 0,23	0,30 / 0,60	0,040 máx.	0,050 máx.	1020
Exp. 1	C 1035	0,32 / 0,38	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1035
	C 1040	0,37 / 0,44	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1040
Acero Utilizado	C 1045	0,43 / 0,50	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1045
Exp. 2						

Nota: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI Barras Laminadas en Caliente. Tome Marinovich, 2006, p. 69.

Tabla No. 8: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI.

Barras Laminadas en Caliente (continuación)

AISI.	C	Mn	P	S	SAE.
C 1050	0,48 / 0,55	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1050
C 1060	0,55 / 0,65	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1060
C 1070	0,65 / 0,75	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1070
C 1085	0,80 / 0,93	0,70 / 1,00	0,040 máx.	0,050 máx.	1085
C 1090	0,85 / 0,98	0,60 / 0,90	0,040 máx.	0,050 máx.	1090

Nota: Equivalencia de los Aceros al Carbono SAE/ AISI Barras laminadas en caliente. Tome Marinovich, 2006, p. 70.

Importante: El cobre y plomo, solo cuando se requiere, se les especifica como un elemento de adición de un acero normalizado.

Simbología:

B = Indica acero Bessemer ácido.

C = Indica acero de horno abierto.

E = Indica acero de horno eléctrico.

TS = Indica grados de ensayo normalizados para economizar materiales escasos, sustituyéndolos por sus equivalentes.

Tabla No. 9: Equivalencia de los Aceros Aleados SAE/AISI

	AISI	C	Mn	Ni	Cr	Mo	SAE
	1330	0,28 / 0,33	1,60 / 1,90	-	-	-	1330
	1345	0,43 / 0,48	1,60 / 1,90	-	-	-	1345
	E 2517	0,15 / 0,20	0,45 / 0,60	4,75 / 5,25	-	-	2517
	3140	0,38 / 0,43	0,70 / 0,90	1,10 / 1,40	0,55 / 0,75	-	3140
	E 3310	0,08 / 0,13	0,45 / 0,60	3,25 / 3,75	1,40 / 1,75	-	3310
	4012	0,09 / 0,14	0,75 / 1,00	-	-	0,15 / 0,25	4012
	4037	0,35 / 0,40	0,70 / 0,90	-	-	0,20 / 0,30	4037
	4063	0,60 / 0,67	0,75 / 1,00	-	-	0,20 / 0,30	4063
	4118	0,18 / 0,23	0,70 / 0,90	-	0,40 / 0,60	0,08 / 0,15	4118
	4135	0,33 / 0,38	0,70 / 0,90	-	0,80 / 1,10	0,15 / 0,25	4135
Acero Utilizado	TS 4140	0,38 / 0,43	0,80 / 1,05	-	0,90 / 1,20	0,08 / 0,15	-
Exp. 3	TS 4150	0,48 / 0,53	0,80 / 1,05	-	0,90 / 1,20	0,08 / 0,15	-
	4320	0,17 / 0,22	0,45 / 0,65	1,65 / 2,00	0,40 / 0,60	0,20 / 0,30	4320
	E 4337	0,35 / 0,40	0,65 / 0,85	1,65 / 2,00	0,70 / 0,90	0,20 / 0,30	-
	4615	0,13 / 0,18	0,45 / 0,65	1,65 / 2,00	-	0,20 / 0,30	4615
	4640	0,38 / 0,43	0,60 / 0,80	1,65 / 2,00	-	0,20 / 0,30	4640
	4720	0,17 / 0,22	0,50 / 0,70	0,90 / 1,20	0,35 / 0,55	0,15 / 0,25	4720
	4815	0,13 / 0,18	0,40 / 0,60	3,25 / 3,75	-	0,20 / 0,30	4815
	5015	0,12 / 0,17	0,30 / 0,50	-	0,30 / 0,50	-	5015
	5046	0,43 / 0,50	0,75 / 1,00	-	0,20 / 0,35	-	5046
	5140	0,38 / 0,43	0,70 / 0,90	-	0,70 / 0,90	-	5140
	5150	0,48 / 0,53	0,70 / 0,90	-	0,70 / 0,90	-	5150
	E 50100	0,95 / 1,10	0,25 / 0,45	-	0,40 / 0,60	-	50100
	E 51100	0,95 / 1,10	0,25 / 0,45	-	0,90 / 1,15	-	51100
	8115	0,13 / 0,18	0,70 / 0,90	0,20 / 0,40	0,30 / 0,50	0,08 / 0,15	-
	8615	0,13 / 0,18	0,70 / 0,90	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,15 / 0,25	8615
	8630	0,28 / 0,33	0,70 / 0,90	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,15 / 0,25	8630
	8660	0,55 / 0,65	0,75 / 1,00	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,15 / 0,25	8660
	8720	0,18 / 0,23	0,70 / 0,90	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,20 / 0,30	8720
	8740	0,38 / 0,43	0,75 / 1,00	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,20 / 0,30	8740
	8822	0,20 / 0,25	0,75 / 1,00	0,40 / 0,70	0,40 / 0,60	0,30 / 0,40	8822
	E 9310	0,08 / 0,13	0,45 / 0,65	3,00 / 3,50	1,00 / 1,40	0,08 / 0,15	9310
	9850	0,48 / 0,53	0,70 / 0,90	0,85 / 1,15	0,70 / 0,90	0,20 / 0,30	9850

Nota: Equivalencia de los Aceros Aleados SAE/AISI.

Tome Marinovich, 2006, p. 71-72.

3.3. Generalidades sobre los Aceros en Estudio y Diseño de Experimento.

A continuación se especifican algunos datos de relevancia correspondientes a los Aceros en estudio; Cabe mencionar que una vez mencionadas las características de los materiales con los cuales se realizaran las Prácticas de Temple, de cada uno de estos aceros se elaboraron tres probetas para tener un espacio muestral total de nueve probetas de ensayo, las cuales poseen las siguientes dimensiones o han sido obtenidas del semiproducto más cercano:

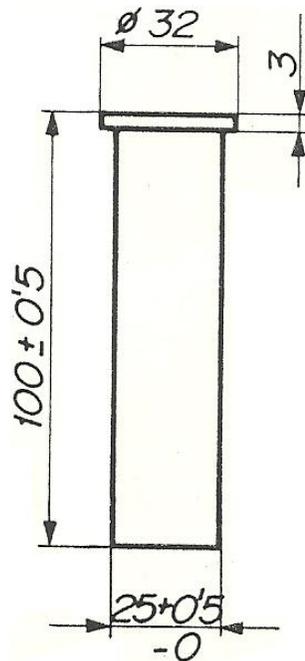


Figura No. 40: Medidas de la probeta con resalto.
Norma UNE 7-279-78.

3.3.1. Acero al Carbono 1020.



Figura No. 39: Composición y Clasificación del Acero 1020.
Norma SAE.

Características:

Acero estructural de bajo carbono que puede utilizarse en estado templado, revenido, laminado en caliente, cementado o estirado en frío (calibrado). Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia que requieren gran tenacidad, junto con una dureza no muy alta, posee buena ductilidad y soldabilidad (con soplete y al arco).

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Figura No. 40: Composición Química Acero 1020

Vasquez Torrez, p. 2.

PROPIEDADES MECÁNICAS					
Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

Figura No. 41: Propiedades Mecánicas Acero 1020.

Vasquez Torrez, p. 2.

Aplicaciones:

Se usa principalmente para partes de vehículos y maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos; los más usuales son ejes, eslabones para cadena, pasadores, bujes cementados, tornillería grado 2 (corriente), bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos de ferrocarril, grapas etc. (Vasquez Torrez, 2013, p. 2).

3.3.1.1 Acta de Ensayo Acero 1020

a) Tipo de Acero.

1020: Acero al carbono, hipoeutectoide (su contenido de carbono va del 0.01 al 0.8%).

1020	
1	Acero al Carbono
0	Acero no Aleado
20	0.20% de C

b) Identificación de la Muestra.

Se comprobó que la muestra es realmente un acero 1020 mediante el Estudio de Análisis Metalográfico.

c) Composición Química: Según la norma SAE/AISI

1020	
%C	0.18 / 0.23
%Mn	0.30 / 0.60
%P	0.040 Máx
%S	0.050 Máx

d) Método de Preparación.

La probeta se obtuvo centrada por mecanizado, ya que este método es el específico para obtener muestras de barras de diámetros menores o iguales a 40 mm, la barra de la que se obtuvo era de $\varnothing=32\text{mm}$.

e) Condiciones de Tratamiento de Normalizado.

Este tratamiento no se le dio a la probeta ya que este se recomienda efectuarse cuando las muestras han sido obtenidas por forja, laminadas o moldeadas antes del mecanizado final, pero como se mencionó en el punto anterior la muestra se obtuvo directamente por mecanizado.

f) Condiciones de Calentamiento de la Probeta.

Calentamiento Previo del Horno: SI NO

Temperatura de Austenización más 50 °C: 895 °C

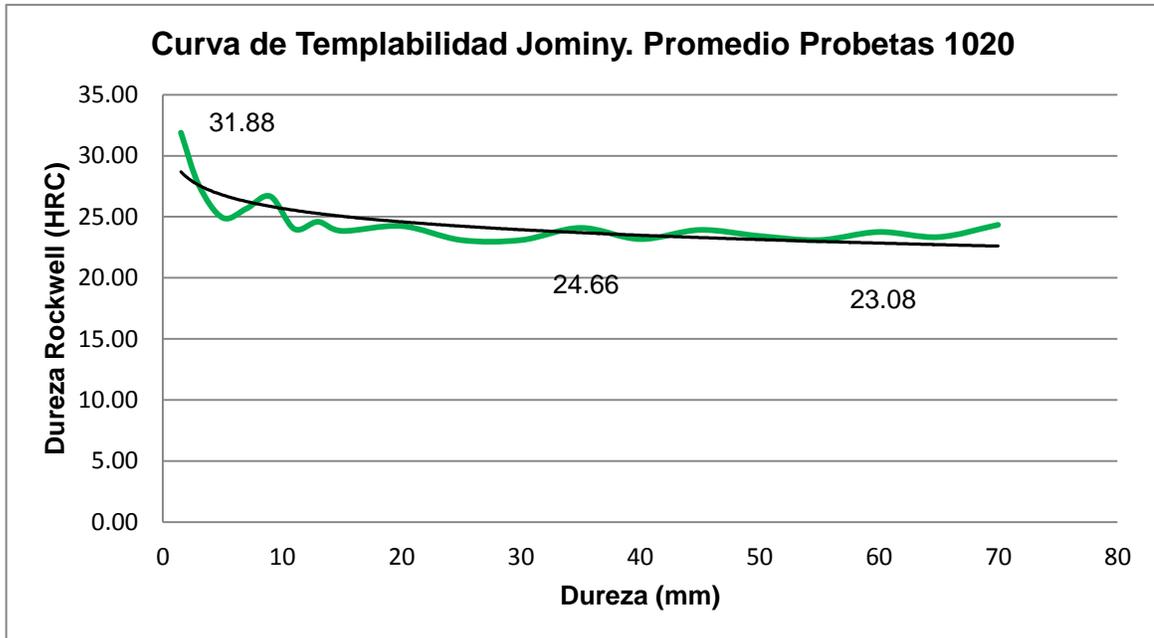
Tiempo de Permanencia: 30 ± 5 min

g) Resultados del ensayo, Según Capítulo 2.1.5.

1. Templabilidad Alcanzadas

Acero 1020				
Distancia (mm)	Dureza Rockwell Promedio (HRC)			
	1020 - 1	1020 - 2	1020 - 3	Promedio
1.5	31.5	33.65	30.5	31.88
3	26	26.5	30.25	27.58
5	23.5	25.5	25.75	24.92
7	25	25	27	25.67
9	24.5	25	30.5	26.67
11	23.75	24.75	23.5	24.00
13	24	24.5	25.25	24.58
15	22.25	25	24.25	23.83
20	22.45	23.75	26.5	24.23
25	21	24.25	24	23.08
30	21	24.25	24	23.08
35	22.5	25.25	24.5	24.08
40	21.25	24.75	23.5	23.17
45	24	24.25	23.5	23.92
50	22.25	22.75	25.25	23.42
55	22.25	22	25	23.08
60	23.25	24	24	23.75
65	23	22	25	23.33
70	24	24.5	24.5	24.33

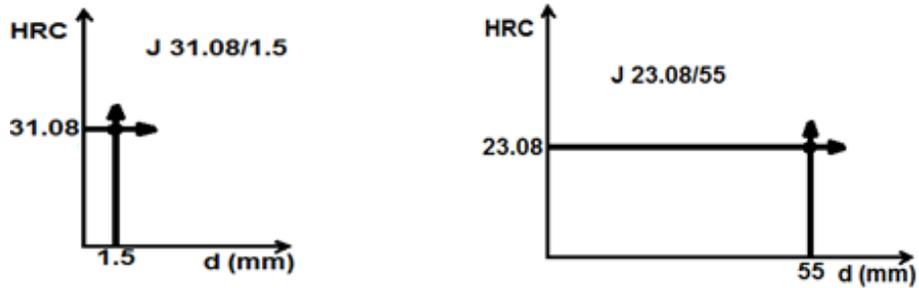
Con los datos presentados en la tabla anterior, se obtuvo la Curva Jominy presentada a continuación utilizando Excel 2013.



De la gráfica, se deduce: la curva de color verde representa los valores de durezas alcanzadas en las probetas de Ensayo del Acero al Carbono 1020, a lo largo de las diversas mediciones realizadas en el rango de longitudes que se presenta, obteniendo para la **Distancia Mínima de 1.5mm** el **Mayor Índice de Templabilidad** equivalente a **31.08 HRC** y para la **Longitud de 55mm** el **Mínimo Valor de Templabilidad** alcanzado es equivalente a **23.08 HRC**.

La curva Color Negro representa la **Línea de Tendencia Estable en la Reducción del Índice de Templabilidad** que siguen los valores de durezas obtenidos a lo largo de todos los puntos de medición. Para este acero se obtuvo un **promedio de 24.66 HRC**.

2. Representación del Índice de Templabilidad máxima y mínima alcanzada.



h) Método utilizado para Medir Dureza.

Método de Ensayo de Dureza Escala Rockwell C, con carga total de 150 kg/f (HRC 150) y penetrador cónico de Diamante (Brale).

Cargas Aplicadas:

Carga Previa P_0	[kgf]	10
Carga Principal P_1	[kgf]	140
Carga Total P_f	[kgf]	150

3.3.2. Acero al Carbono 1045.



Figura No. 44: Composición y Clasificación del Acero 1045.

Norma SAE.

Características:

Es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación, puede ser forjado con martillo. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama o por inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

Es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas, se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica. (Vasquez Torres, 2013, p. 3).

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

Figura No. 43: Composición Química Acero 1045

Vasquez Torres, 2013, p. 3.

Propiedades Mecánicas:

Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo	565 MPa (81900 PSI)
Elongación	16% (en 50 mm)
Reducción de área	-40%
Módulo de elasticidad	200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad	57% (AISI 1212 = 100%)

Nota. Propiedades Mecánicas.

Acero grado Maquinaria, AISI 1045. pdf. p. 2.

Aplicaciones:

Este acero de medio carbono se usa cuando la resistencia y dureza obtenidas por el tratamiento térmico o por deformación en frío, son suficientes para satisfacer las condiciones de servicio requeridas.

Es ampliamente usado en la industria automotriz (productos forjados y estampados). Se usa en partes de máquinas que requieren dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas (cuñas), remaches, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, arboles, bielas, piñones, cigüeñales, ejes de

maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas de todo tipo como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, palas, barretones, llaves, etc. (Vasquez Torres, 2013, p. 5-6).

3.3.2.1. Acta de Ensayo Acero 1045.

a) Tipo de Acero.

1045: Acero al carbono, hipoeutectoide (su contenido de carbono va del 0.01 al 0.8%).

1045	
1	Acero al Carbono
0	Acero no Aleado
45	0.45% de C

b) Identificación de la Muestra.

Se comprobó que la muestra es realmente un acero 1045 mediante el Estudio de Análisis Metalográfico.

c) Composición Química: Según la norma SAE/AISI

1045	
%C	0.43 / 0.50
%Mn	0.60 / 0.90
%P	0.040 Máx
%S	0.050 Máx

d) Método de Preparación.

La probeta se obtuvo centrada por mecanizado, ya que este método es el específico para obtener muestras de barras de diámetros menores o iguales a 40 mm, la barra de la que se obtuvo era de $\varnothing=25.4\text{mm}$.

Por carecer de las dimensiones necesarias para obtener la probeta totalmente enteriza se le creó en el extremo opuesto a la parte a templar el resalto (arandela de 3mm de espesor) la cual se acopló a la barra sólida (de 97mm de largo y 25mm de diámetro) mediante un perno (M5 x 0.8), habiéndole realizado previamente a la barra un orificio roscado apto para la unión lo cual garantiza el centrado rápido de la probeta durante el temple.

e) Condiciones de Tratamiento de Normalizado.

Este tratamiento no se le dio a la probeta ya que este se recomienda efectuarse cuando las muestras han sido obtenidas por forja, laminadas o moldeadas antes del mecanizado final, pero como se mencionó en el punto anterior la muestra se obtuvo directamente por mecanizado.

f) Condiciones de Calentamiento de la Probeta.

Calentamiento Previo del Horno: SI NO

Temperatura de Austenización más 50 °C: 832 °C

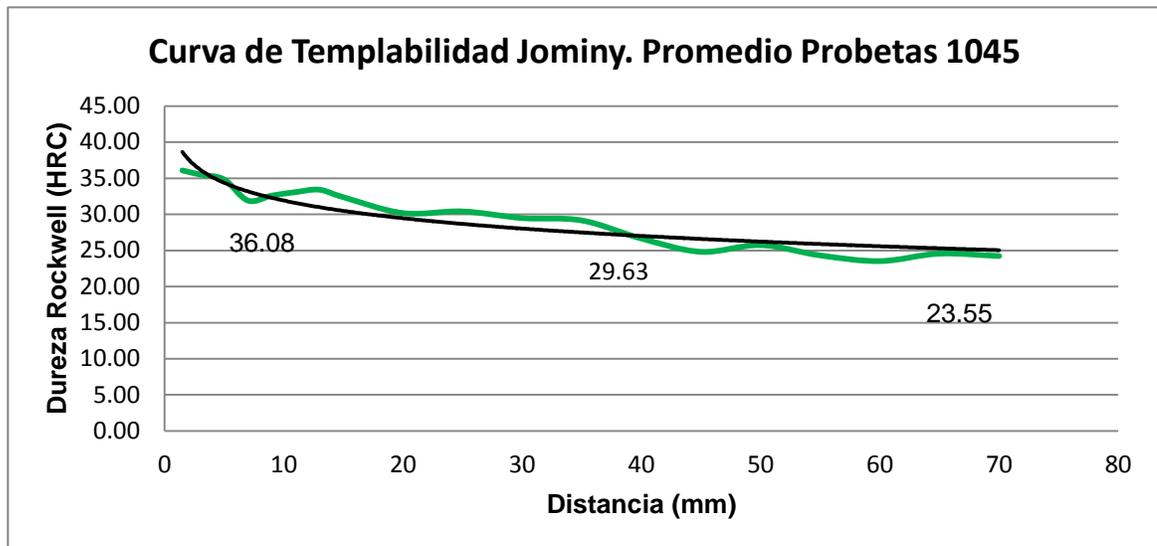
Tiempo de Permanencia: 30 ± 5 min

g) Resultados del Ensayo, Según Capítulo 2.1.5.

1. Templabilidad Alcanzadas

Acero 1045				
Distancia (mm)	Dureza Rockwell Promedio (HRC)			
	1045 - 1	1045 - 2	1045 - 3	Promedio Total
1.5	33.75	35.5	39	36.08
3	36.75	35.25	34.5	35.50
5	37.25	34.75	32.5	34.83
7	33.25	31	31.5	31.92
9	32.25	35.5	30.05	32.60
11	32.5	32	34.75	33.08
13	32.25	34	34	33.42
15	31.25	30.75	35.15	32.38
20	31.75	29.05	29.75	30.18
25	28.75	31.25	31.25	30.42
30	28.25	29.25	31	29.50
35	25.75	29.25	32.5	29.17
40	26	26.5	27.5	26.67
45	25.5	23	26	24.83
50	24	28.25	25	25.75
55	25.25	24.25	23.5	24.33
60	25.15	23	22.5	23.55
65	24.75	22.5	26.5	24.58
70	23.75	24	25	24.25

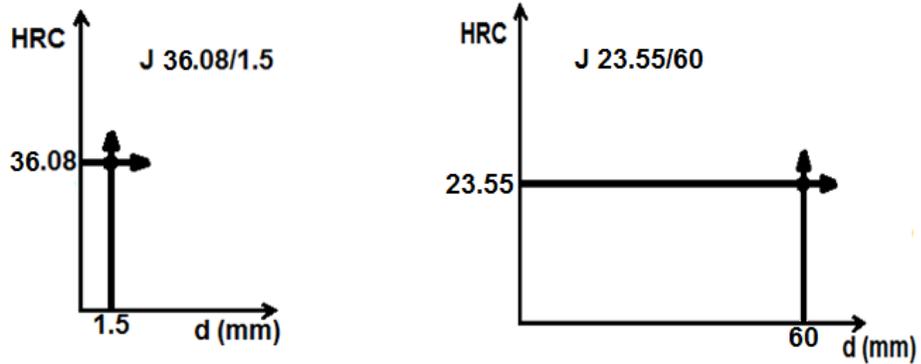
Con los datos presentados en la tabla anterior, se obtuvo la Curva Jominy presentada a continuación utilizando Excel 2013.



De la gráfica, se deduce: la curva de color verde representa los valores de durezas alcanzadas en las probetas de Ensayo del Acero al Carbono 1045, a lo largo de las diversas mediciones realizadas en el rango de longitudes que se presenta, obteniendo para **la Distancia Mínima de 1.5mm el Mayor Índice de Templabilidad Equivalente a 36.08 HRC** y para la **Longitud de 60mm el Mínimo Valor de Templabilidad equivalente a 23.55 HRC**.

La curva de color Negro representa la Línea de Tendencia estable en la reducción del índice de Templabilidad que siguen los valores de durezas obtenidos a lo largo de todos los puntos de medición. Para este acero se obtuvo un **Promedio de 29.63 HRC**.

2. Representación del Índice de Templabilidad máxima y mínima alcanzada-



h) Método Utilizado para Medir Dureza.

Método de Ensayo de Dureza Escala Rockwell C, con carga total de 150 kg/f (HRC 150) y penetrador cónico de Diamante (Brale).

Cargas Aplicadas:

Carga Previa P_0	[kgf]	10
Carga Principal P_1	[kgf]	140
Carga Total P_f	[kgf]	150

3.3.3. Acero Aleado 4140



Figura No 44. Composición y Clasificación del Acero Aleado 4140. Norma SAE.

Características:

Es un Acero medio Carbono Aleado con Cromo y Molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto. Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico.

Composición Química - Promedio %						
C	Mn	Si	Cr	Mo	P _{máx}	S _{máx}
0.38 - 0.43	0.75 – 1.00	0.15 – 0.35	0.80 – 1.10	0.15 – 0.25	0.04	0.05

Nota: Composición Química.
Acero Grado Maquinaria, AISI 4140, pdf, p. 2.

Propiedades Mecánicas:	
Dureza	275 - 320 HB (29 – 34 HRC)
Esfuerzo a la fluencia	690 MPa (100 KSI)
Esfuerzo máximo	900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
Elongación mínima	12%
Reducción de área mínima	50%

Nota. Propiedades Mecánicas. AISI 4140, pdf, p. 2

Aplicaciones Típicas: Se usa para la elaboración de

- Piezas para Maquinaria en General
- Cigüeñales
- Engranajes de Transmisión
- Bielas
- Piñones Pequeños
- Tijeras
- Tornillo de Alta Resistencia
- Espárragos
- Ejes Reductores
- Cinceles (Acero Grado Maquinaria, AISI 4140, pdf, p. 2)

3.3.3.1. Acta de ensayo Acero Aleado 4140

a) Tipo de Acero.

4140: Acero al carbono, hipoeutectoide (su contenido de carbono va del 0.01 al 0.8%).

4140	
1	Acero al Carbono
0	Acero no Aleado
45	0.45% de C

b) Identificación de la Muestra.

Se comprobó que la muestra es realmente un acero 1045 mediante el Estudio de Análisis Metalográfico.

c) Composición Química: Según la norma SAE/AISI

4140	
%C	0.43 / 0.50
%Mn	0.60 / 0.90
%P	0.040 Máx
%S	0.050 Máx

d) Método de Preparación.

La probeta se obtuvo centrada por mecanizado, ya que este método es el específico para obtener muestras de barras de diámetros menores o iguales a 40 mm, la barra de la que se obtuvo constaba de un diámetro total de $\varnothing=25.4\text{mm}$.

e) Condiciones de Tratamiento de Normalizado.

Este tratamiento no se le dio a la probeta ya que este se recomienda efectuarse cuando las muestras han sido obtenidas por forja, laminadas o moldeadas antes del mecanizado final, pero como se mencionó en el punto anterior la muestra se obtuvo directamente por mecanizado.

f) Condiciones de Calentamiento de la Probeta.

Calentamiento Previo del Horno: SI NO

Temperatura de Austenización más 50 °C: 839 °C

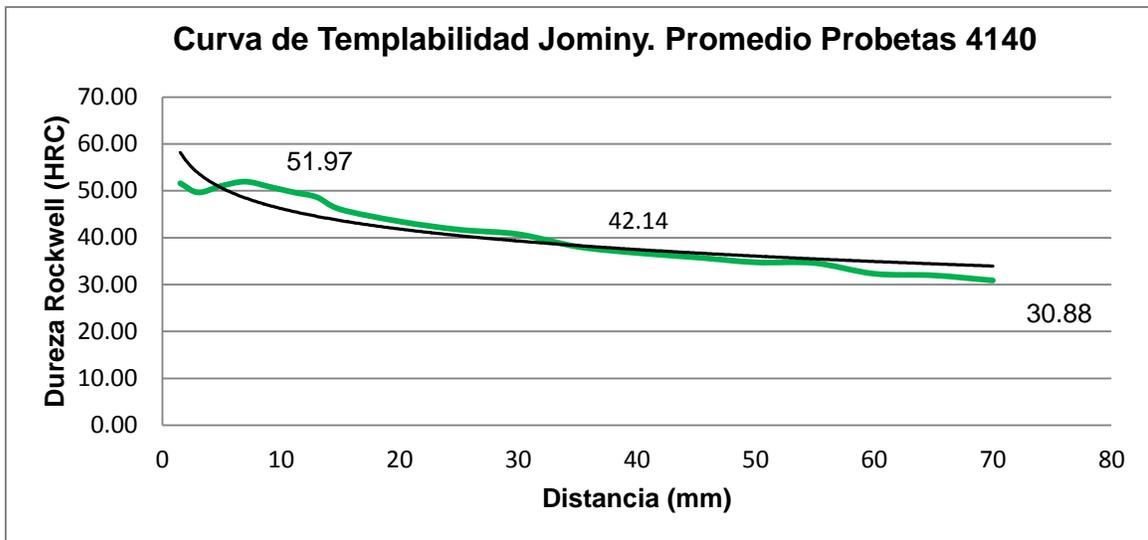
Tiempo de Permanencia: 30 ± 5 min

g) Resultados del Ensayo, Según Capítulo 2.1.5.

1. Templabilidad Alcanzada

Acero 4140				
Distancia (mm)	Dureza Rockwell Promedio (HRC)			
	4140 - 1	4140 - 2	4140 - 3	Promedio Total
1.5	52.5	49.9	52.5	51.63
3	50.5	50	48.5	49.67
5	50.5	51.75	51	51.08
7	51.25	52.75	51.9	51.97
9	51.9	52	48.75	50.88
11	50	49.4	49.75	49.72
13	51	46	49	48.67
15	42.9	46.25	49	46.05
20	41.65	42.75	46	43.47
25	41.4	41.25	42.5	41.72
30	40.25	40.25	41.75	40.75
35	36.25	37	41	38.08
40	36	37.5	36.75	36.75
45	34.4	36.5	36.5	35.80
50	35.25	33	36	34.75
55	35.5	33.75	34.5	34.58
60	29.95	33.5	33.5	32.32
65	28.75	34.25	32.9	31.97
70	29.5	30.5	32.65	30.88

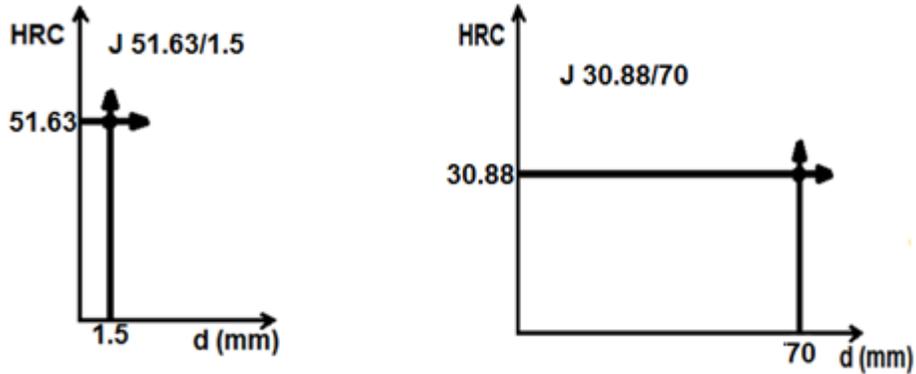
Con los datos presentados en la tabla anterior, se obtuvo la Curva Jominy presentada a continuación utilizando Excel 2013.



De la gráfica, se deduce: la curva de color verde representa los valores de durezas alcanzadas en las probetas de Ensayo del Acero Aleado 4140, a lo largo de las diversas mediciones realizadas en el rango de longitudes que se presenta, obteniendo para la **Distancia mínima de 1.5mm** el **Mayor Índice de Templabilidad** equivalente a **51.97 HRC** y para la **Longitud de 70 mm** el **Mínimo valor de Templabilidad** equivalente a **30.88 HRC**.

La curva color Negro representa la **Línea de Tendencia Estable en la Reducción del Índice de Templabilidad** que siguen los valores de durezas obtenidos a lo largo de todos los puntos de medición. Para este acero se obtuvo un **promedio de 42.14 HRC**.

2. Representación del Índice de Templabilidad Máxima y Mínima Alcanzada.



h) Método Utilizado para Medir Dureza.

Método de Ensayo de Dureza Escala Rockwell C, con carga total de 150 kg/f (HRC 150) y penetrador cónico de Diamante (Brale).

Cargas Aplicadas:

Carga Previa P_0	[kgf]	10
Carga Principal P_1	[kgf]	140
Carga Total P_f	[kgf]	150

Capitulo No. 4: Guía Metodológica de Práctica de Laboratorio

En este Acápite del Desarrollo Monografico, establecemos una propuesta de Guía Metodológica para la realización de Prácticas de Ensayo de Templabilidad Jominy.

Destacando que durante el Proceso de Defensa de la presente Tesis, se ha otorgado (por las autoridades correspondientes) la Orden a la Ingeniero Mecánico Mary Triny Gutiérrez Mendoza de Realizar en las asignaturas correspondiente la práctica de Templabilidad en el Laboratorio de Metalurgia, a la cual por petición de la parte Interesada se le dio charla de Inducción referente al uso y manejo de los equipos:

- **Pulidora Metalográfica**
- **Horno de Tratamiento Térmico K1251**
- **Equipo de Ensayo de Templabilidad Jominy**

Con el propósito de contribuir a obtener una mayor comprensión de los pasos a seguir para la realización del Ensayo Jominy, también se facilitó una copia de la Guía Mitológica que a continuación se plantea.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA

Guía de Laboratorio

Ensayo de Templabilidad Jominy



I. Objetivos General y Específicos.

- **Objetivo General.**

1. Aplicar los conocimientos teóricos de tratamiento térmico (templabilidad) y hacer uso de los equipos del laboratorio de Metalurgia.

- **Objetivos Específicos.**

1. Comprender el procedimiento utilizado para realizar el ensayo Jominy.
2. Determinar la templabilidad de los aceros a estudiar en el ensayo.
3. Construir la curva de templabilidad representando los valores de dureza Jominy en función de la distancia al extremo templado.

II. Medidas de Seguridad.

1. Realizar el laboratorio de acuerdo al contenido del documento y a las orientaciones del instructor.
2. Utilizar correctamente las herramientas y los equipos necesarios para el ensayo.
3. Utilizar equipos de protección personal.
4. Trabajar en orden, limpieza y sin prisa.
5. No utilizar el equipo de trabajo sin conocer previamente su funcionamiento.

III. Equipo y Materiales.

1. Probetas de Acero que cumplan con las especificaciones de la normas ASTM A255
2. Horno de tratamiento térmico.
3. Dispositivo para ensayo Jominy.
4. Durómetro y accesorios.
5. Pinzas.
6. Elementos de seguridad (Guantes, lentes, gabachas).

8. Efectuar 2 rebajos (uno opuesto al otro) de $0.5 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ en la probeta (**Por motivos de tiempo la probeta ya debe contar con los rebajos hechos**).
9. Tomar una serie de mediciones de dureza en la superficie refrentada.
10. Trazar un diagrama el cual relacione la disminución de dureza con la variación de distancia. Diagrama Dureza vs distancia.

- **Actividades.**

1. Realizar el ensayo de templabilidad Jominy y elaborar la curva de templabilidad correspondiente.

- **Estructura del Acta de Ensayo.**

- j) Tipo de Acero.
- k) Identificación de la muestra.
- l) Composición química.
- m) Método de preparación.
- n) Condiciones de tratamiento de Normalizado.
- o) Condiciones de calentamiento de la probeta.
Resultados del ensayo
- p) Tamaño del grano austenítico a la temperatura de calentamiento (cuando se considere necesario).
- q) Método utilizado para medir dureza.

Cuestionario:

1. ¿Qué es Tratamiento Térmico?
2. ¿Cuáles son los tipos de tratamientos térmicos? (Explique el que se utilizó en el laboratorio).
3. ¿Qué es un durómetro? ¿Cuáles son los tipos de durómetros?
4. ¿En qué consiste el ensayo de templabilidad Jominy?

V. Conclusión

1. Se realizó el mantenimiento total al Horno Eléctrico Heraeus K1251 quedando este en perfecto estado térmico garantizándose los rangos de temperatura necesarios para los Tratamientos Térmicos.
2. Se puso en funcionamiento el equipo Jominy y se comprueba su efectividad con el diseño de experimento que se describe.
3. Los aceros analizados en el Diseño de experimento 1020, 1045 y 4140 se comportan según los datos térmicos descritos a continuación:
 - a) El acero 1020 su grado de Templabilidad es bajo por ser un acero de bajo contenido de carbono, su curva de Templabilidad Jominy da un valor promedio de 24.66 HRC.
 - b) El acero 1045, su grado de Templabilidad es medio por poseer un valor del porcentaje de Carbono superior al acero descrito anteriormente, alcanzando un valor promedio de Templabilidad de 29.63 HRC.
 - c) El acero 4140, su grado de Templabilidad es alto por ser un acero aleado, su valor promedio de Templabilidad es de 42.14 HRC.
4. Como aporte Científico en pro del apoyo a la Docencia Universitaria queda plasmado en el Trabajo Monográfico, el Documento o Guía de Laboratorio para Implementar la Práctica de Templabilidad de los Aceros. Así mismo se deja en el documento el plan de Mantenimiento Preventivo que debe aplicarse al Equipo de Tratamiento Térmico Heraeus K1251 y el Equipo Jominy.

5. Gracias a la implementación de los Ensayos Experimentales realizados a los aceros 1020, 1045 y 4140 se puede obtener la siguiente tabla de datos:

	Acero 1020 (HRC)	Acero 1045 (HRC)	Acero 4140 (HRC)
Dureza Inicial	22	31	36
Dureza Máxima Alcanzada	31.88	36.08	51.63
Dureza Mínima Alcanzada	23.08	24.25	30.88

VI. Recomendaciones.

1. Mantener la infraestructura y los equipos del laboratorio de metalurgia en perfectas condiciones. Implementando el Plan de Mantenimiento Predictivo propuesto para cada equipo.
2. Para tener una mayor confiabilidad en el manejo del Equipo Medidor de Dureza (HRC Y HRB) existente en el laboratorio de Metalurgia de la UNI, se recomienda contactar al distribuidor de dicho equipo de medición y, de ser posible obtener el manual que especifique su correcta utilización.
3. Actualizar el equipo de ensayo de templabilidad Jominy existente por uno con un sistema de bombeo, esto para eliminar parcialmente del equipo la dependencia de un flujo constante de agua del grifo (ya que posee un consumo de agua por probeta de 91.8 Lts equivalentes a 0.098 m^3).
4. Implementar en la asignatura de Procesos de Manufactura I, Específicamente en el tema de Tratamiento Térmico, la Practica de Templabilidad de los Aceros al Carbono y Aleados.

VII. Bibliografía

1. Acero Grado Maquinaria, AISI 1045. Pág. 2. Extraído el 25 de Julio de 2015 desde <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>.
2. Acero Grado Maquinaria, AISI 4140. Pág. 2. Extraído el 25 de Julio de 2015 desde <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>.
3. Amsteab B. H., Proceso de Manufactura, versión SI. Ceca, México, 1994, Pág. 183.
4. Analisis Metalografico. Extraido el 05 de Agosto de 2015 desde <https://es.wikipedia.org/wiki/Metalografia>.
5. Dureza Rockwell, Calle y Henao. Extraído el 04 de Marzo del 2015 desde www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf
6. Dureza Vickers. Calle y Henao. Extraído el 08 de Marzo de 2015 desde <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAVICKERS.pdf>
7. E-ducative catedu, Temple, [Pagina Web en línea], Edición: 2014, 17 de Abril, Extraído el 22 de Febrero de 2015 desde: http://e-ducative.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4911/html/4_temple.html
8. Ensayo Jominy, Pág. 1. Extraído el 20 de Enero de 2015 desde <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/EnsayoJominy.pdf>

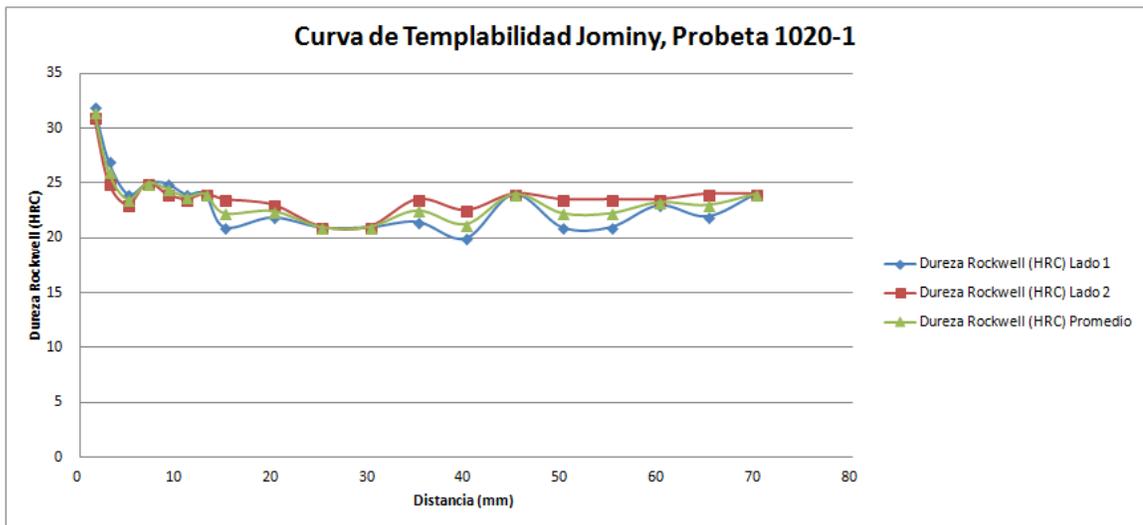
9. López y Ramírez. Diseño de de un Horno de Tratamiento Térmico del Rodete de la turbina Francis, [Página web en línea], Escuela superior politécnica de Chimborazo, Ecuador, Facultad de Mecánica, Pág. 47 y 50- 51. Edición: 2011, 3 de Agosto. Extraído el 20 de Enero de 2015 desde <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1398/1/15T00485.pdf>
10. Norma Española de ensayo de Templabilidad de Acero Ensayo Jominy UNE 7-279-78 Octubre 1978 Extraído el 10 de Marzo de 2015.
11. Temple, [Pagina Web en línea], Edición: 2014, 18 de Junio, Extraído el 27 de Marzo de 2015 desde http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4911/html/4_temple.html
12. Teoría Ensayo Jominy, Pág. 1. Extraído el 20 de Enero de 2015 desde <http://www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/Tecnologial/Tabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/3EnsayoJominy/2TeoriaEnsayoJominy.pdf>
13. Tome Marinovich, Yury. Manual de Procedimientos para Tratamiento Térmico de la Empresa Industrial Varias Nacionales (INVANAL), [Página Web en línea], Instituto Tecnológico de Costa Rica, Vicerrectoría de Docencia, Escuela de Ciencias e Ingeniería de los materiales, Pág. 23 – 31,. Edición 2006, 28 de Noviembre, Extraído el 20 de Enero de 2015 desde <http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/577/Informe%20final%20de%20practica.pdf?sequence=1>
14. Valderrama, Luna, Gómez y Soto, (2001, Noviembre 25). Ensayo Jominy, Pág. 11 y 13. Extraído el 31 de Marzo de 2015 desde <http://es.slideshare.net/vlady71/informe-ensayo-jominy>

15. Vázquez Torres Edwin Libardo 2013 Anexos.pdf. SAE 1020 Y SAE 1045 Aceros Ingeniería al Carbono. Pág. 2-3 y 5-6. Extraído el 25 de Julio de 2015 desde <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/7826/2/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf>
16. Wikipedia, Mantenimiento, [Pagina Web en línea], Edición: 2015, 10 de Enero, Extraído el 22 de Enero de 2015 desde <http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento>
17. Curva de las 3 T, Pág. 3. Extraído el 20 de Enero de 2015 desde <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema1.CurvasTTT.pdf>

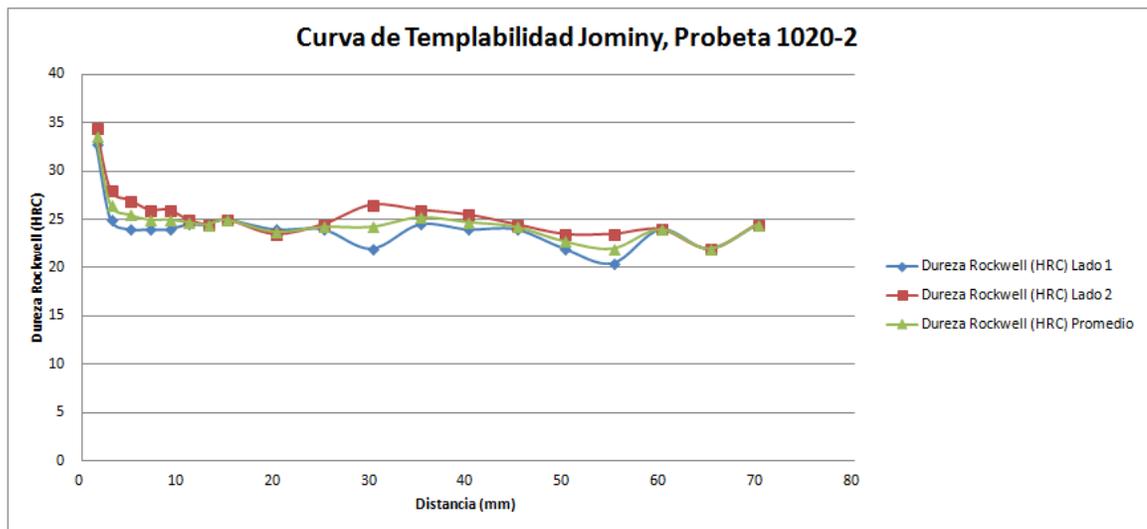
ANEXOS

Resultados obtenidos del Ensayo Jominy. Probetas 1020

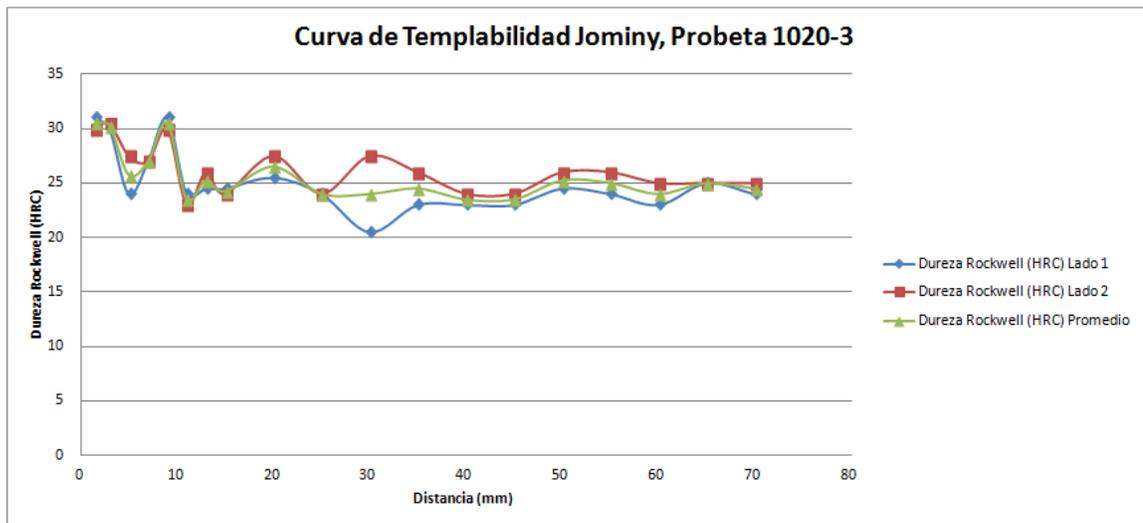
Probeta 1020 - 1			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	32	31	31.5
3	27	25	26
5	24	23	23.5
7	25	25	25
9	25	24	24.5
11	24	23.5	23.75
13	24	24	24
15	21	23.5	22.25
20	21.9	23	22.45
25	21	21	21
30	21	21	21
35	21.5	23.5	22.5
40	20	22.5	21.25
45	24	24	24
50	21	23.5	22.25
55	21	23.5	22.25
60	23	23.5	23.25
65	22	24	23
70	24	24	24



Probeta 1020 - 2			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	32.8	34.5	33.65
3	25	28	26.5
5	24	27	25.5
7	24	26	25
9	24	26	25
11	24.5	25	24.75
13	24.5	24.5	24.5
15	25	25	25
20	24	23.5	23.75
25	24	24.5	24.25
30	22	26.5	24.25
35	24.5	26	25.25
40	24	25.5	24.75
45	24	24.5	24.25
50	22	23.5	22.75
55	20.5	23.5	22
60	24	24	24
65	22	22	22
70	24.5	24.5	24.5

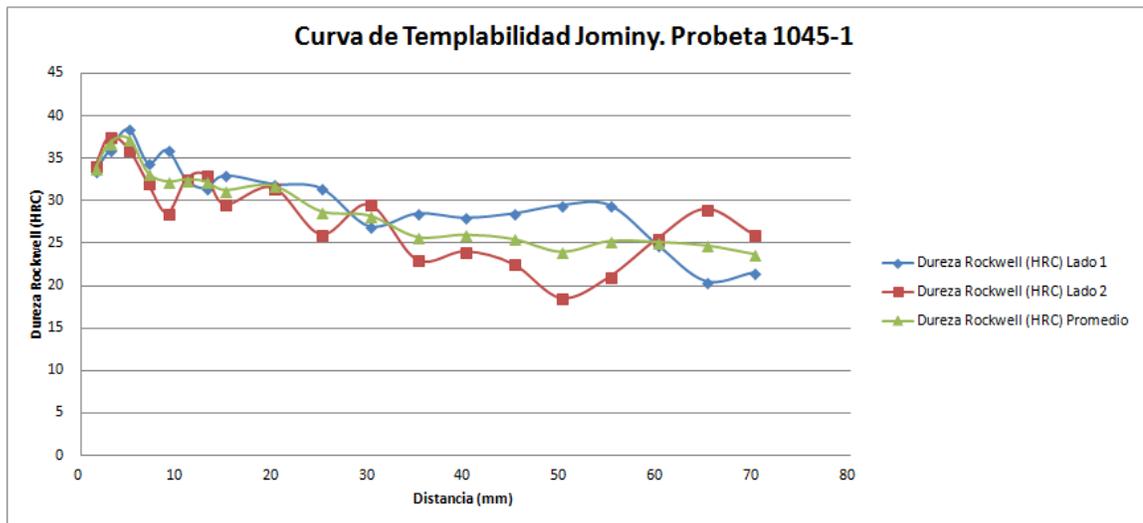


Probeta 1020 - 3			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	31	30	30.5
3	30	30.5	30.25
5	24	27.5	25.75
7	27	27	27
9	31	30	30.5
11	24	23	23.5
13	24.5	26	25.25
15	24.5	24	24.25
20	25.5	27.5	26.5
25	24	24	24
30	20.5	27.5	24
35	23	26	24.5
40	23	24	23.5
45	23	24	23.5
50	24.5	26	25.25
55	24	26	25
60	23	25	24
65	25	25	25
70	24	25	24.5

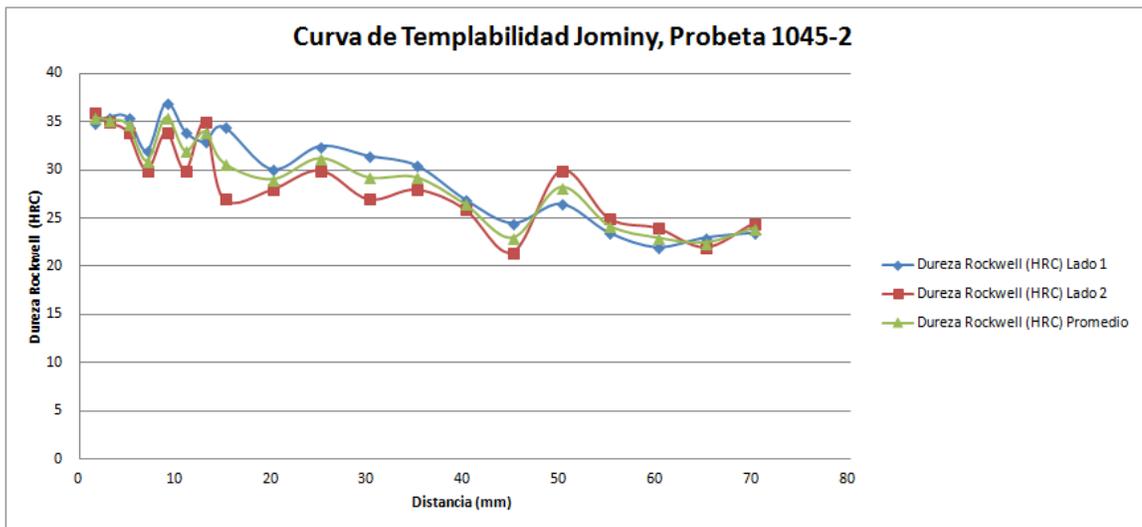


Resultados obtenidos del Ensayo Jominy. Probetas 1045

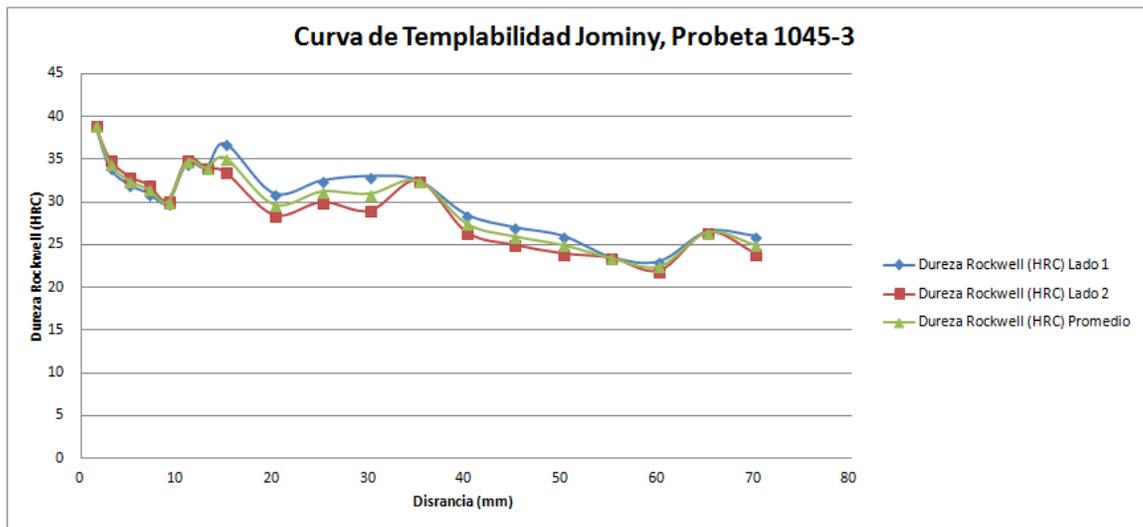
Probeta 1045 - 1			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	33.5	34	33.75
3	36	37.5	36.75
5	38.5	36	37.25
7	34.5	32	33.25
9	36	28.5	32.25
11	32.5	32.5	32.5
13	31.5	33	32.25
15	33	29.5	31.25
20	32	31.5	31.75
25	31.5	26	28.75
30	27	29.5	28.25
35	28.5	23	25.75
40	28	24	26
45	28.5	22.5	25.5
50	29.5	18.5	24
55	29.5	21	25.25
60	24.8	25.5	25.15
65	20.5	29	24.75
70	21.5	26	23.75



Probeta 1045 - 2			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	35	36	35.5
3	35.5	35	35.25
5	35.5	34	34.75
7	32	30	31
9	37	34	35.5
11	34	30	32
13	33	35	34
15	34.5	27	30.75
20	30.1	28	29.05
25	32.5	30	31.25
30	31.5	27	29.25
35	30.5	28	29.25
40	27	26	26.5
45	24.5	21.5	23
50	26.5	30	28.25
55	23.5	25	24.25
60	22	24	23
65	23	22	22.5
70	23.5	24.5	24

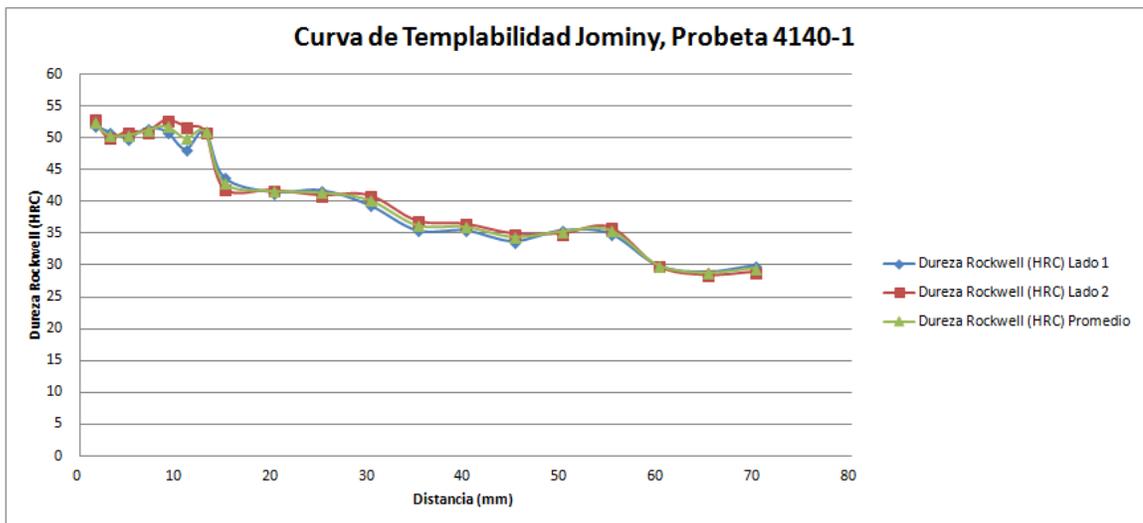


Probeta 1045 - 3			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	39	39	39
3	34	35	34.5
5	32	33	32.5
7	31	32	31.5
9	29.9	30.2	30.05
11	34.5	35	34.75
13	34	34	34
15	36.8	33.5	35.15
20	31	28.5	29.75
25	32.5	30	31.25
30	33	29	31
35	32.5	32.5	32.5
40	28.5	26.5	27.5
45	27	25	26
50	26	24	25
55	23.5	23.5	23.5
60	23	22	22.5
65	26.5	26.5	26.5
70	26	24	25

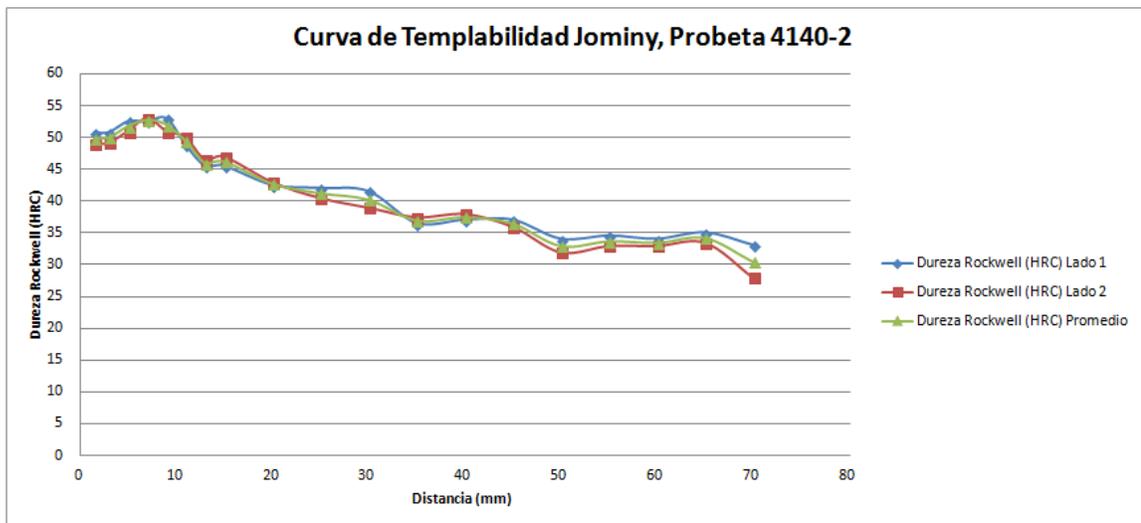


Resultados obtenidos del Ensayo Jominy. Probetas 4140

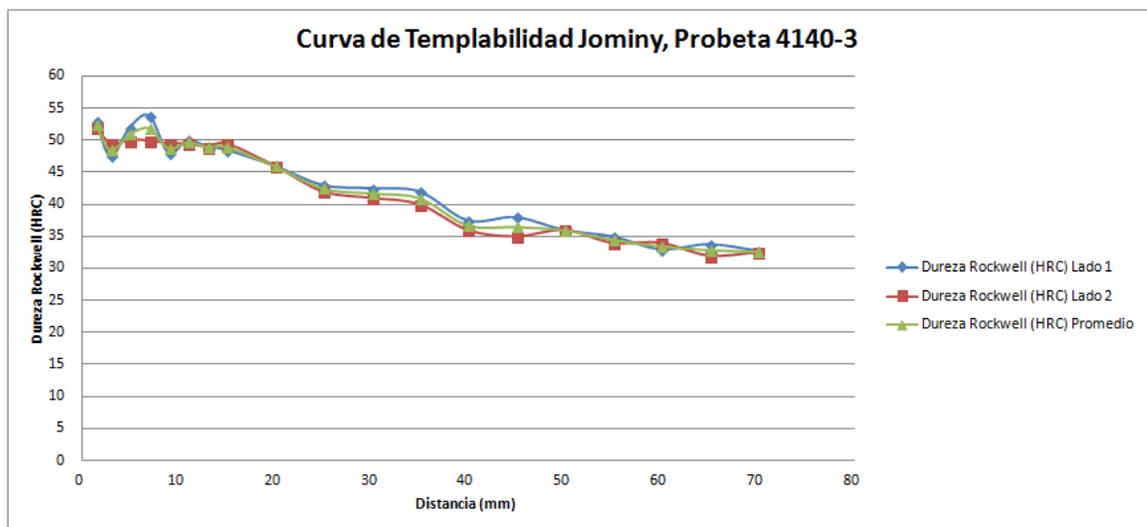
Probeta 4140 - 1			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	52	53	52.5
3	51	50	50.5
5	50	51	50.5
7	51.5	51	51.25
9	51	52.8	51.9
11	48.2	51.8	50
13	51	51	51
15	43.8	42	42.9
20	41.5	41.8	41.65
25	41.8	41	41.4
30	39.5	41	40.25
35	35.5	37	36.25
40	35.5	36.5	36
45	33.8	35	34.4
50	35.5	35	35.25
55	35	36	35.5
60	30	29.9	29.95
65	29	28.5	28.75
70	30	29	29.5



Probeta 4140 - 2			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	50.8	49	49.9
3	50.8	49.2	50
5	52.5	51	51.75
7	52.5	53	52.75
9	53	51	52
11	48.8	50	49.4
13	45.5	46.5	46
15	45.5	47	46.25
20	42.5	43	42.75
25	42	40.5	41.25
30	41.5	39	40.25
35	36.5	37.5	37
40	37	38	37.5
45	37	36	36.5
50	34	32	33
55	34.5	33	33.75
60	34	33	33.5
65	35	33.5	34.25
70	33	28	30.5



Probeta 4140 - 3			
Distancia (mm)	Dureza Rockwell (HRC)		
	Lado 1	Lado 2	Promedio
1.5	53	52	52.5
3	47.5	49.5	48.5
5	52	50	51
7	53.8	50	51.9
9	48	49.5	48.75
11	50	49.5	49.75
13	49	49	49
15	48.5	49.5	49
20	46	46	46
25	43	42	42.5
30	42.5	41	41.75
35	42	40	41
40	37.5	36	36.75
45	38	35	36.5
50	36	36	36
55	35	34	34.5
60	33	34	33.5
65	33.8	32	32.9
70	32.8	32.5	32.65



Estado del Equipo Jominy antes de su Intervención



Estado del Horno de Tratamiento Térmico antes de su Intervención



Ampliación y Remodelación del área de trabajo

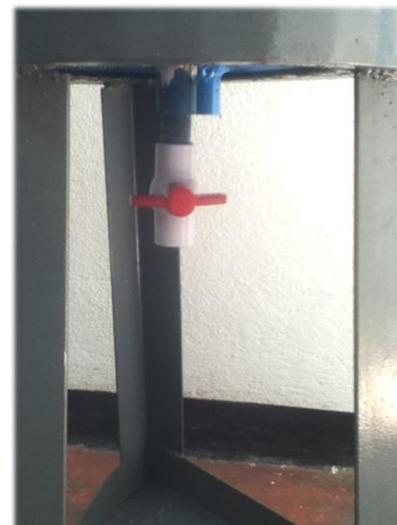


Aburto Rodríguez Anabel – Silva Rojas Ronaldo Antonio

Mantenimiento del Horno Heraeus K1251



Mantenimiento del equipo de Templabilidad Jominy



Horno de Tratamiento térmico Heraeus K1251

Antes



Despues



Equipo de Templabilidad Jominy

Antes



Después

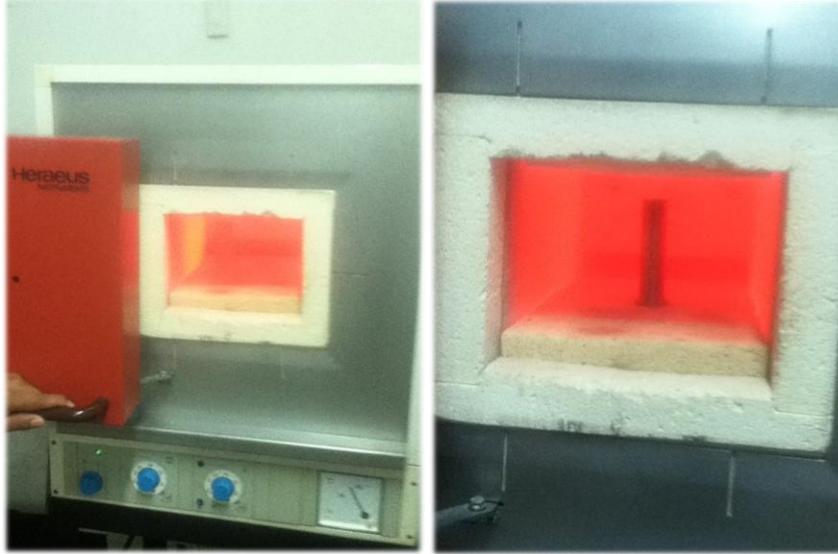


Maquinado de Probetas



Ensayo Jominy

1) Calentamiento de la probeta en el Horno de tratamiento Térmico



2) Enfriamiento en el Equipo Jominy



3) Enfriamiento por sumersión y pulido



4) Pruebas de dureza

