



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRATAMIENTOS TÉRMICOS, PRUEBAS MECÁNICAS Y
METALOGRAFÍAS DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN EL CAMPO
AUTOMOTOR A NIVEL NACIONAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ.

AUTORES:

CARLOS ISRAEL TORRES CASTILLO
MARLÓN XAVIER OJEDA PONTON

DIRECTOR:

ING. HERNAN VITERI CERDA.

Cuenca, Ecuador

2010

DEDICATORIA

Al terminar esta etapa tan importante en mi vida como lo es mis estudios superiores quiero agradecer primeramente a Dios por guiarme por el camino del bien y de la sabiduría, a mis padres Carlos Nepalí Torres Ludeña y Elsa Elizabeth Castillo Franco, sin su ayuda este logro jamás hubiese sido posible, ya que con gran valentía y esfuerzo me regalaron el mejor obsequio, la educación, finalmente a mi hermana Jessica Soledad Torres Castillo que a pesar de su distancia es un gran ejemplo de fortaleza y perseverancia, gracias a todos por ser grandes seres humanos y apoyar este sueño.

CARLOS

DEDICATORIA

Este logro está dedicado con especial aprecio a mi madre Yolanda del Carmen Pontón Toro quien siempre me apoyo con amor y perseverancia, por ser mi ejemplo a seguir y de quien me siento muy orgulloso, a mis hermanos Fernanda Ojeda, Elthon Ojeda y mi sobrinito Juan Sebastián por ser la alegría de nuestro hogar, finalmente y el más importante a Dios por brindarme sabiduría y salud para culminar mis estudios superiores.

MARLON.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay y a los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz que brindaron sus conocimientos hacia nosotros, especialmente al Ing. Hernán Viteri Cerda director del proyecto ya que nos oriento eficientemente para la culminación del mismo.

RESUMEN

El avance tecnológico en los materiales aplicados en la industria automotriz avanza día tras día, especialmente el acero por cuanto es el elemento principal de la mayoría de las partes constitutivas y funcionales del vehículo.

El problema que se genera al realizar tratamientos térmicos de manera empírica o artesanal basados en conocimientos generales y mediante catálogos suministrados por comercializadoras de acero en el país, deriva generalmente en desgaste y falla del material, motivo para plantear la presente tesis.

Esta investigación se basa en el estudio de los tratamientos térmicos en aceros de mayor aplicación en la industria automotriz a nivel nacional, primeramente se realizaron pruebas de dureza y microestructura en estado inicial.

Basándose en las normas técnicas de la ASTM (American Society for Testing and Materials) se ejecutaron los ensayos metalúrgicos de templado, revenido, recocido y cementado en estos aceros, con el objeto de modificar algunas propiedades mecánicas.

Finalmente mediante tablas de resultados se establecieron las diferencias en dureza y microestructura, justificando la importancia de aplicar estos tratamientos térmicos.

ABSTRACT

The technological advance in the materials applied in the automotive industry advances day after day, especially the steel since it is the main element of most of the constituent and functional parts of the vehicle.

The problem that is generated when carrying out thermal treatments in an empiric or handmade way based on general knowledge and by means of catalogs given by steel distributors in the country, it generally derives in waste and flaw of the material, reason to outline the present thesis.

This research is based on the study of heat treatments on steels of greater application in the automotive industry at the national level; firstly one carries out tests of hardness and micro structures in initial state.

Being based on the technical norms of the ASTM (American Society for Testing and Materials) you execute the rehearsals metallurgists of temperate, gone bad, recooked, cemented in these steels, in order to modify certain mechanical properties.

Finally using tables of results are established differences in hardness and microstructure, justifying the importance of these heat treatments.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Ilustraciones y Cuadros.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: TRATAMIENTOS TÉRMICOS, MEDIOS E INSTRUMENTOS	
1.1. Tratamientos térmicos.....	3
1.2. Factores que regulan los tratamientos térmicos.....	3
1.3. Temple.....	4
1.4. Templabilidad o penetración del temple.....	5
1.5. Dureza.....	5
1.6. Factores que influyen en el temple del acero.....	5
1.6.1. Influencia del tamaño de la pieza.....	5

1.6.2.	Influencia de la composición.....	6
1.6.3.	Influencia del tamaño de grano.	7
1.6.4.	Influencia del medio de enfriamiento.....	7
1.7.	Microestructura de un acero eutectoide al realizar un temple.	8
1.8.	Revenido	9
1.9.	Formación de la Martensita	10
1.10.	Formación de la Bainita	12
1.11.	Cementación.....	13
1.11.1.	Cementantes sólidos.	14
1.11.2.	Cementantes Líquidos.	14
1.12.	Medios y aparatos	15
1.12.1.	Generalidades	15
1.12.2.	Hornos tipo mufla.....	15
1.12.3.	Elección de la atmosfera adecuada.....	17
1.13.	Medios de enfriamiento.....	18
1.13.1.	Elección del medio	18
1.13.2.	Enfriamiento en agua.....	19
1.13.3.	Fases de enfriamiento de agua.....	19
1.13.4.	Enfriamiento en soluciones salinas.....	19

1.13.5.	Enfriamiento en aceite	20
1.13.6.	Enfriamiento en baño de sales y metales fundidos.....	20
1.13.7.	Influencia del medio refrigerante	21
1.13.8.	Nuevos medios de enfriamiento	22
1.14.	Sistemas de medición de temperatura.....	22
1.14.1.	Pirómetros Ópticos	23
1.14.2.	Pirómetros Fotoeléctricos.....	23
1.14.3.	Pirómetros Termoeléctricos.....	24
1.14.3.1.	Principio de funcionamiento	24
1.14.3.2.	Metales Utilizados para Termopares.....	25
1.14.4.	Tubos de protección.....	26
1.14.5.	Pirómetros de radiación	27
1.14.6.	Pirómetro de radiación total.	28
1.14.7.	Pirómetros fotoeléctricos.....	29

CAPITULO II : ENSAYOS METALURGICOS

2.1.	Tipos de ensayos metalúrgicos.....	31
2.2.	Normas y su aplicación.....	32
2.2.1.	Preparación de muestras metalográficas - ASTM E3 -	32
2.2.2.	Tamaño de la muestra.....	32

2.2.3.	Corte y limpieza de la muestra	33
2.2.4.	Desbaste y pulido metalográfico, métodos y tipos:	34
2.2.4.1.	Desbaste	34
2.2.4.2.	Pulido	35
2.2.5.	Reactivos químicos.....	36
2.2.5.1.	Nital.....	37
2.2.6.	Tiempo de ataque	38
2.2.7.	Obtención de la fotografía de la microestructura	39
2.2.8.	Normas de seguridad	40
2.2.9.	Medición de la dureza (HRC).....	41
2.2.10.	Microfotografías de las estructuras de los aceros.....	42

CAPITULO III: CONSTITUCION Y FUNCIONAMIENTO DEL HORNO ELECTRICO TIPO MUFLA

3.1.	Constitución.....	50
3.1.1.	Bloque eléctrico.....	50
3.1.1.1.	Pirómetros análogos.....	50
3.1.1.2.	Interruptores de encendido.....	51
3.1.1.3.	Voltímetro.....	51
3.1.1.4.	Amperímetro.....	51

3.1.1.5.	Transformador de corriente.....	51
3.1.1.6.	Regulador de Intensidad (TAP)	52
3.1.1.7.	Instalación de fusibles.	52
3.1.1.8.	Contactores trifásicos.	52
3.1.2.	Cámaras térmicas.....	53
3.1.2.1.	Termocuplas.....	53
3.1.2.2.	Niquelinas	54
3.1.2.3.	Interruptores de puertas.....	55
3.1.2.4.	Puertas deslizantes	55
3.2.	Principio de funcionamiento.....	55
3.3.	Manual de Operaciones.....	56
3.3.1.	Encendido del Horno.....	56
3.3.1.1.	Energizar el bloque eléctrico.....	56
3.3.1.2.	Regular la temperatura a la cual se va a calentar el horno.	57
3.3.1.3.	Monitorear el voltímetro.	57
3.3.1.4.	Monitorear amperímetros.....	57
3.3.2.	Calentamiento del Horno.....	58
3.3.2.1.	Inspección de cámaras térmicas	58
3.3.2.2.	Colocación de la probeta a tratarse térmicamente.....	58

3.3.3. Extracción de la probeta.	58
3.3.3.1. Método de extracción de la probeta.	58
3.3.3.2. Herramientas	59
3.3.4. Consideraciones para realizar un tratamiento térmico	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

	Págs.
 CAPÍTULO I	
Figura 1-1. Etapas de un tratamiento térmico.....	4
Figura 1-2. Diagrama (TTT) para un acero eutectoide.....	8
Figura 1-3. Tratamiento térmico de revenido, posterior al temple.....	9
Figura 1- 4. Celdilla unidad tetragonal centrada en el cuerpo del acero martensítico.....	11
Figura.1-5. Fotografía de un acero con microestructura martensítica.....	11
Figura 1-6. Diagrama de transformación isotérmica completo de un acero de composición eutectoide: A (austenita), B (bainita), M (martensita), P (perlita).....	13
Figura1- 7. Horno tipo mufla.....	16
Figura 1-8. Curvas de enfriamiento obtenidas en varios tipos de enfriamiento.....	21
Figura 1-9. Esquema de funcionamiento de un pirómetro eléctrico.....	25
Figura 1-10. Recubrimiento de los termopares.....	27
Figura 1-11. Variaciones que experimenta la longitud de onda de las radiaciones que emiten los cuerpos al modificar su temperatura.....	28
Figura1-12. Esquema de un pirómetro de radiación total.....	29

CAPITULO II

Figura 2-1. Dimensiones de la probeta.....33

Figura2-2. Desbaste de la probeta.....35

Figura 2-3. Pulido de la probeta sobre paños giratorios.....36

Figura 2-4. Ataque químico aplicado en la probeta.....38

Figura 2-5. Limpieza de la probeta con abundante agua.....39

Figura 2-6. Microscopio para revelar la microestructura de la probeta.....39

Figura 2-7. Fotografía de la microestructura utilizando el programa “Scope Photo”40

Figura 2-8. Esquema de la palanca de mando del durómetro..... 42

Figura 2-9. Microfotografía de de la estructura del acero AISI 4140, ataque químico Nital4, aumento 200X.....43

Figura 2-10. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4140 templado, en sal muera, Ataque químico Nital 4 aumento 200 X.....43

Figura 2-11. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4140, Templado en aceite, ataque químico Nital 4, aumento 200X.....44

Figura 2-12. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340, ataque químico Nital 4, aumento 200X44

Figura 2-13 Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340 Templado
sal muera, ataque químico Nital 4, 200X.....45

Figura 2-14 Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340 Templado
En aceite ataque químico Nital 4, 200X46

Figura 2-15 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045,
ataque químico ,Nital 4, aumento 200X..... 46

Figura 2-16 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045,
Templado en agua ataque químico Nital 4, aumento 200X.....47

Figura 2-17 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045 revenido,
ataque químico Nital 4, aumento 200X47

Figura 2-18. Microfotografía de la estructura del Acero AISI 1018,
ataque químico Nital 2, aumento 200X.....48

Figura 2-19. Microfotografía de la estructura del acero AISI 1018 cementado con
carbón mineral, ataque químico Nital 2, aumento100X...49

Figura 2-20 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1018
cementado en sales, ataque químico Nital 2, aumento 100X.....49

CAPITULO III

Figura 3-1. Transformador de corriente.....52

Figura 3-2. Cámaras térmicas.....53

Figura 3-3. Termocuplas.....	54
Figura 3-4. Niquelinas.....	54
Figura 3-5. Interruptor de encendido del horno.....	56
Figura 3-6. Pirómetro Análogo.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

	Págs.
Anexo 1: Tratamientos térmicos: Tratamientos térmicos aplicados en los aceros.....	66
Anexo 2: Medidas Rockwell (HRC): Dureza inicial y final obtenida después de los tratamientos térmicos.....	67
Anexo 3: Tablas de conversión de los distintos tipos de dureza.....	68
Anexo 4: Diagrama Eléctrico de horno tipo mufla.....	71
Anexo 5: Horno.....	72
Anexo 6: Partes del horno.....	73
Anexo 7: Bloque eléctrico.....	74
Anexo 8: Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 4340.....	75
Anexo 9: Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 4140.....	76
Anexo 10: Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 1045.....	77

Ojeda Pontón Marlon Xavier

Torres Castillo Carlos Israel

Trabajo de Graduación

Ing. Hernán Viteri Cerda

Diciembre 2010

TRATAMIENTOS TÉRMICOS, PRUEBAS MECÁNICAS Y METALGRÁFICAS DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN EL CAMPO AUTOMOTOR A NIVEL NACIONAL

INTRODUCCIÓN

La investigación que se llevo a cabo en la presente tesis son tratamientos térmicos, pruebas mecánicas y metalográficas de los aceros de uso automotriz a nivel nacional.

Se ha elegido este proyecto debido a la importancia que tienen establecer las características y propiedades mecánicas del acero, así como los tratamientos térmicos aplicados en función de mejorarlas.

Esta tesis comprende los fundamentos principales del acero, partiendo desde su clasificación, composición y microestructura obtenida de acuerdo a los tratamientos térmicos utilizados en la industria nacional; se aplica la norma AISI – American Iron and Steel Institute - debido a su funcionalidad en América Latina, catálogos de aceros que se utilizan en esta investigación servirán como datos técnicos para las pruebas de dureza y ensayos metalúrgicos.

Se dio prioridad a los tratamientos térmicos de temple, revenido, y cementado debido a que mediante estas pruebas y ensayos se puede obtener las propiedades mecánicas requeridas para el correcto desempeño del material.

Finalmente se analiza los resultados después de realizar los tratamientos térmicos ya mencionados, tanto en las propiedades mecánicas como en su microestructura.

LOS AUTORES.

CAPITULO I

TRATAMIENTOS TÉRMICOS, MEDIOS E INSTRUMENTOS

1.1. Tratamientos térmicos.

Son operaciones de calentamiento o enfriamiento, a temperaturas y condiciones controladas, a las que se somete al acero para modificar ciertas propiedades mecánicas tales como: dureza, resistencia al desgaste, tenacidad, etc.

Los principales tratamientos térmicos son: temple, revenido, cementación, nitruración, recocido.

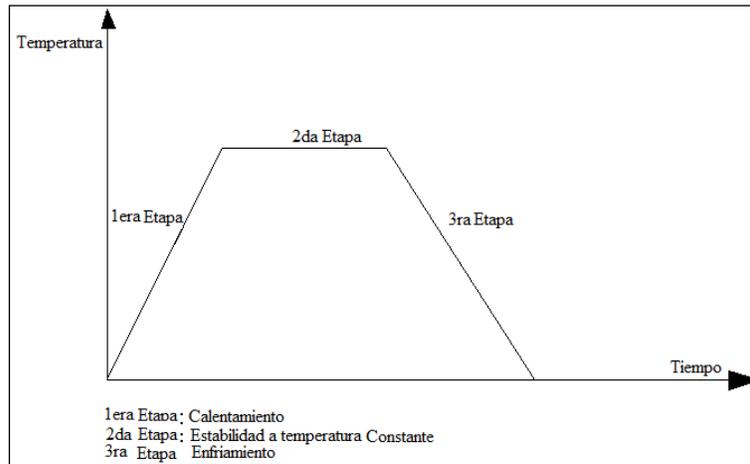
1.2. Factores que regulan los tratamientos térmicos.

La mayoría de los tratamientos térmicos se encuentran definidos por los siguientes parámetros:

- Velocidad de calentamiento.
- Temperatura alcanzada en el horno.
- Tiempo de permanencia en el horno.
- Velocidad de enfriamiento.

En la figura 1-1 se puede observar el desarrollo de las distintas etapas de un tratamiento térmico.

Figura 1-1. Etapas de un tratamiento térmico



Fuente. Autores

1.3. Temple

El proceso de temple consiste en calentar la pieza a tratar con una temperatura lo suficientemente elevada, diferente para cada material, forzando una transformación y posteriormente un enfriamiento controlado lo suficientemente rápido para conseguir una estructura estable. Este tratamiento se realiza en hornos atmosféricos, baños de sales u hornos de vacío, según las necesidades de temperatura del material.

El tratamiento de temple se aplica a todas aquellas piezas que requieran un aumento de sus características mecánicas tales como dureza, resistencia al desgaste, tenacidad, etc.

Al mejorar estas características el material será apto para desarrollar la aplicación para la cual fue diseñado.

1.4. Templabilidad o penetración del temple

Es la facilidad con la cual un acero puede ser templado para formar martensita. La templabilidad ocurre cuando los aceros se dejan penetrar por el temple, y dependiendo del tipo de acero se observara que unos se endurecen más que otros. Esto solo se refiere a la facilidad de penetración por el temple y no a las características obtenidas en el proceso.

Cuando se templea un acero se determina la profundidad y penetración de la dureza en el interior de las piezas templadas que dependerá del tipo de acero, por esto, no hay que confundir la capacidad del temple con la dureza que es la resistencia que opone un material al ser penetrado.

1.5. Dureza

La dureza máxima que se puede obtener en un acero después del temple, depende del contenido de carbono, y la dureza está representada por martensita la cual representa la sobresaturación distorsionada de los hierros alfa. Cuanto mayor sea el contenido de carbono mayor será la dureza y resistencia del acero.

1.6. Factores que influyen en el temple del acero.

Los factores más relevantes a la hora de realizar cualquier tratamiento térmico y que tiene influencia en el temple son: tamaño de las piezas, su composición, tamaño de grano, y el medio de enfriamiento.

1.6.1. Influencia del tamaño de la pieza.

Este es uno de los factores que más influye a la hora de realizar un temple en una pieza de acero, en los perfiles delgados se observará muy poca diferencia en los resultados a la hora de templar, pero si se trata en piezas de gran espesor o gran diámetro, se comprende perfectamente que la temperatura en su interior sea inferior en el calentamiento y superior

en el enfriamiento a la de su periferie, ya que el calor no se trasmite directamente al interior si no a través del espesor de la pieza, (conducción de calor) necesitando la transmisión de un tiempo determinado que es el que produce el retraso con relación al proceso que se sigue.

Si se trata de calentamientos, el tamaño de la pieza tiene la influencia de aumentar la duración del proceso de templado.

Si la temperatura es muy elevada, la duración del calentamiento aumenta el tamaño del grano.

Si se trata de un enfriamiento relativamente rápido como exige el temple, la influencia del espesor tiene mayores consecuencias, puesto que las velocidades que se obtienen en el interior de la pieza son a veces muy inferiores a las de la periferia, el resultado es que en piezas muy gruesas la velocidad de enfriamiento, a partir de un diámetro determinado, es inferior a la crítica y el núcleo de las piezas queda sin templar.

La zona templada tiene aproximadamente la misma profundidad, sea cual sea el diámetro de la barra o espesor de la pieza, para una misma composición del acero y condiciones de enfriamiento, aumentando ligeramente a medida que el diámetro es más pequeño. Se comprende que cuando el radio de la pieza sea aproximadamente igual que la profundidad del temple, la totalidad de la masa del acero quedará templada.

1.6.2. Influencia de la composición.

El contenido de carbono del acero influye a la vez en la temperatura y en la velocidad crítica del temple, la temperatura de temple es tanto más baja cuanto más se aproxima el acero a la composición eutectoide. La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta, por tanto, para las mismas condiciones de enfriamiento, el temple obtenido es más enérgico y la dureza en los aceros al carbono templados es mayor cuando más alto es su porcentaje de carbono.

1.6.3. Influencia del tamaño de grano.

El tamaño del grano influye principalmente en la velocidad crítica de temple, y en igualdad de composición las velocidades críticas de temple de los aceros de grano grueso son inferiores a las velocidades críticas de los aceros de grano fino.

1.6.4. Influencia del medio de enfriamiento.

Al sumergir una barra de acero a alta temperatura en un líquido, tienen lugar las siguientes etapas:

Inmediatamente después de introducir la barra en el medio líquido se forma una capa de vapor que envuelve el metal y que dificulta el enfriamiento, por esta razón empieza siendo bastante lento, influyen en esta etapa la temperatura inicial del baño, la temperatura de ebullición, la conductividad de su vapor y el grado de agitación del baño, que remueve el líquido en contacto con la barra.

Al descender la temperatura desaparece la envuelta de vapor, aunque el líquido en contacto con el metal sigue hirviendo y produciendo burbujas. El enfriamiento es rápido y se denomina enfriamiento por transporte de vapor. Influyendo en esta etapa el calor de vaporización y la viscosidad del líquido.

Cuando la temperatura del metal desciende por debajo de la temperatura de ebullición del líquido de temple, el enfriamiento se hace por conducción y convección; pero como entonces la diferencia de temperatura entre el metal y el medio es pequeña, el enfriamiento es lento, dependiendo de la conductividad térmica del líquido y de su grado de agitación.

1.7. Microestructura de un acero eutectoide al realizar un temple.

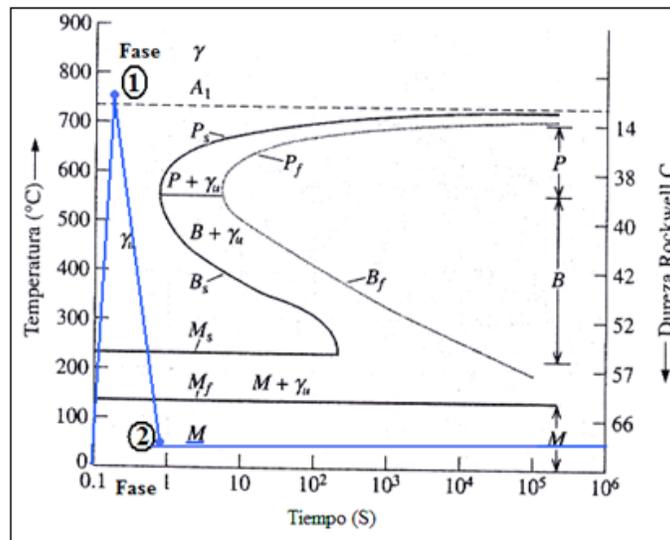
La microestructura que se obtiene en los aceros después de un tratamiento térmico depende del tipo de acero a ser tratado y del tratamiento aplicado.

En un tratamiento de temple el objetivo principal es obtener una micro estructura martensítica, para ello debemos calentar al acero a una temperatura igual o mayor a la de austenización (727°C) obteniendo austenita estable, y posteriormente un enfriamiento súbito aproximadamente por debajo de (223°C) para obtener martensita.

Después de realizar el temple se recomienda hacer un revenido por que la martensita es una microestructura bastante inestable, disminuyendo así los esfuerzos internos y obteniendo la ductilidad y tenacidad necesaria para que sea útil en su aplicación.

En la figura 1-2 indica el diagrama T.T.T (tiempo, temperatura, transformación) de un acero eutectoide en el cual se encuentra representado con línea color azul las fases de un temple.

Figura 1-2. Diagrama (TTT) para un acero eutectoide.



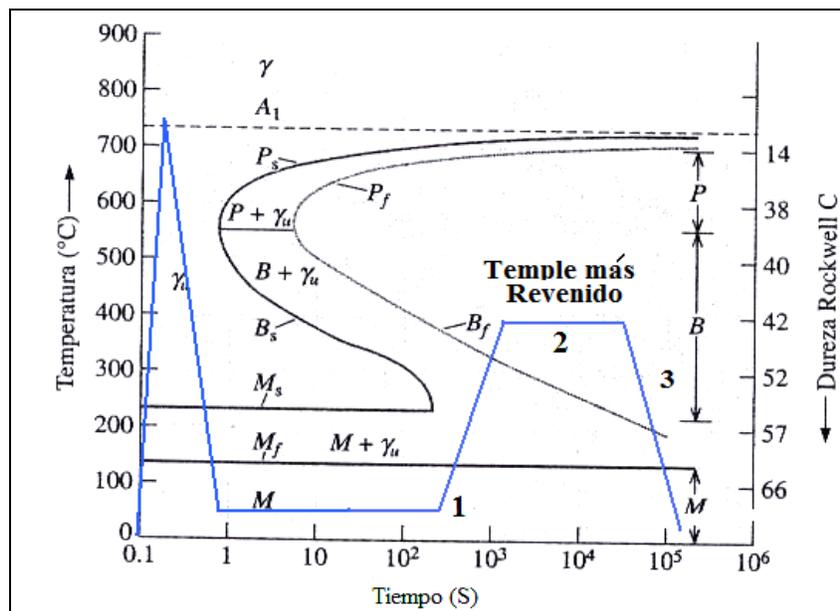
Fuente: DONAL R. Askeland. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Séptima Edición. Editorial Mc Graw- Hill. México. pag 519.

- **Fase 1.-** Calentamiento de la pieza hasta 727°C (Austenizacion)
- **Fase 2.-** Enfriamiento súbito (sal muera – agua) por debajo de los 223°C (micro estructura martensitica)

1.8. Revenido

El revenido es el tratamiento complementario al temple; consiste en calentar el acero templado a una temperatura inferior a la eutectoide (727°C), mantener dicha temperatura hasta que la estructura se homogenice y luego enfriar a velocidad variable. En la figura 1-3 puede visualizarse con líneas de color azul las etapas del templado y revenido.

Figura 1-3. Tratamiento térmico de revenido, posterior al temple.



Fuente: DONAL R. Askeland. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Séptima Edición. Editorial Mc Graw- Hill. México. pag 519.

- **Fase 1.-** Recalentamiento de la pieza templada a una temperatura inferior a la de formación eutectoide (727°C)

- **Fase 2.-** Mantenimiento de la temperatura para homogenizar la pieza
- **Fase 3.-** Enfriamiento de la pieza

1.9. Formación de la Martensita

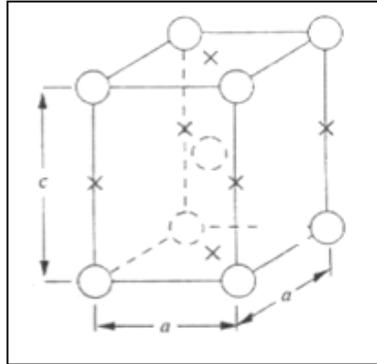
El enfriamiento rápido (temple), hasta la temperatura próxima a la ambiental del acero austenizado origina otro constituyente denominado martensita, que resulta como una estructura de no equilibrio de la transformación sin difusión de la austenita.

La transformación martensítica tiene lugar a velocidades de temple muy rápidas que dificultan la difusión del carbono, si hubiera difusión se formarían las fases de ferrita y cementita.

La transformación martensítica no es bien conocida, sin embargo los estudios realizados hasta hoy revelan que gran número de átomos se mueven de modo cooperativo, lo que representa pequeños desplazamientos de un átomo respecto a sus vecinos. Esta transformación representa que la austenita cúbica centrada en las caras (CCC) experimenta una transformación polimórfica a la martensita cuya estructura cristalina es tetragonal centrada en el cuerpo (TCC).

En la figura 1- 4 se puede observar la unidad de esta estructura cristalina, la cual es un cubo alargado en sus tres dimensiones y centrado en el cuerpo (mostrando átomos de hierro (círculos) y átomos de carbono (cruces)). Esta estructura presenta los átomos de carbono como solutos intersticiales los cuales constituyen una disolución sólida sobresaturada capaz de transformarse rápidamente en otras estructuras si se calienta a temperaturas que implican una velocidad considerable de difusión.

Figura 1- 4. Celdilla unidad tetragonal centrada en el cuerpo del acero martensítico



Fuente: WILLIAM D. Callister. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Sexta Edición. Editorial Reverte. Barcelona. pag 315

Es importante recalcar que la mayoría de los aceros retienen la estructura martensítica casi indefinidamente a temperatura ambiente.

Los granos de martensita como se observa en la figura 1-5 tienen la apariencia de laminas o de agujas, la fase blanca de la microfotografía es austenita, la cual no se transforma durante el temple rápido.

Figura.1-5. Fotografía de un acero con microestructura martensítica



Fuente: WILLIAM D. Callister. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Sexta Edición. Editorial Reverte. Barcelona. pag 316.

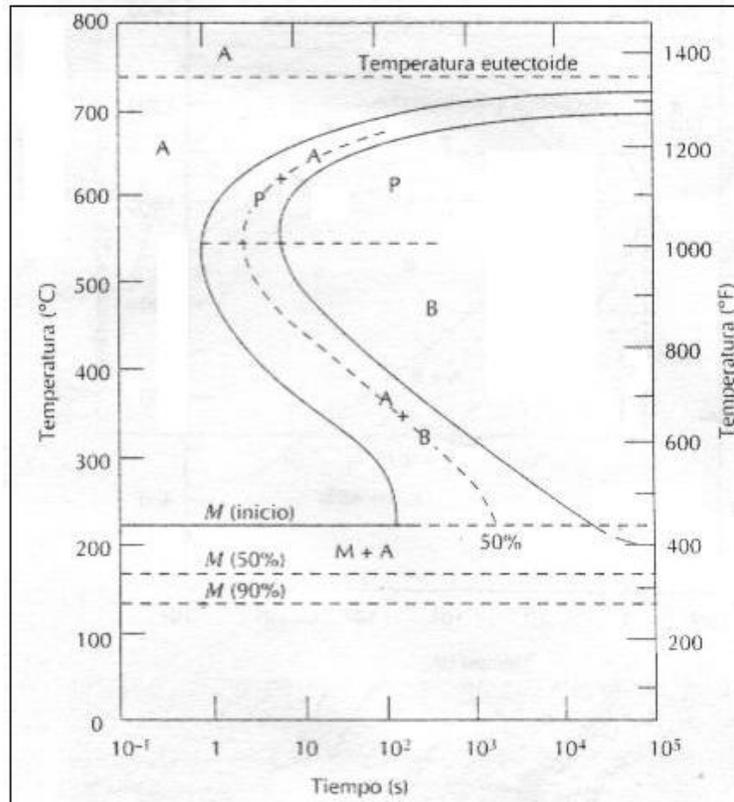
Puesto que la transformación martensítica es instantánea y en ausencia de difusión, se presenta en el diagrama (TTT) características distintas del resto de reacciones. El inicio de esta transformación se representa con un línea horizontal M (inicio), acompañada están dos líneas descontinuas denominadas M (50%) y M (90%) que indican el porcentaje de transformación de austenita a martensita y dependen de la cantidad del acero, pero deben ser a temperaturas relativamente bajas para impedir la difusión del carbono.

1.10. Formación de la Bainita

La bainita es un microconstituyente del acero que se forma a partir de la austenita pero a temperatura constante, por encima del punto M (inicio) y por debajo de la correspondiente transformación de la perlita (ver figura 1-6), tiene una apariencia acicular y se torna de color negro debido al ataque aplicado.

La bainita al igual que la martensita revenida es una dispersión de partículas pequeñas de carburo en ferrita como matriz. La ferrita de la bainita es cubica y no tetragonal como lo es la martensita, por lo cual no es una estructura extremadamente dura y frágil, por el contrario se forma con lentitud permitiendo una ductilidad considerable y libre de grietas.

Figura 1-6. Diagrama de transformación isotérmica completo de un acero de composición eutectoide: A (austenita), B (bainita), M (martensita), P (perlita).



Fuente: WILLIAM D. Callister. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Sexta Edición. Editorial Reverte. Barcelona. pag 316.

1.11. Cementación

La cementación consiste en carburar una capa superficial de acero, rodeándola de un producto carburante (carbón mineral, coque, sales) y calentándola a temperatura adecuada, una vez terminada la operación se tiempla y reviene la pieza, quedando con gran dureza superficial y buena tenacidad en el núcleo. Los aceros empleados son de bajo contenido de carbono, no superior a 0.3% de carbono, utilizándose también aceros aleados con Níquel, Cromo y Molibdeno especialmente adecuados para cementación.

La operación se realiza entre 850° a 950°C, es decir con el acero en estado austenítico, que es cuando tiene mayor capacidad de disolución de carbono. Una vez absorbido el carbono en la capa periférica tiene lugar un proceso de difusión del carbono hacia el interior de la pieza.

El espesor de la capa cementada depende de la temperatura y el tiempo que dure la operación. El espesor más común varía de 0.5 a 1.5 mm, sin embargo se utilizan espesores inferiores a 0.5 mm para piezas pequeñas que no han de sufrir rectificado posterior.

1.11.1. Cementantes sólidos.

Puede emplearse para cementar carbón vegetal, coque, huesos calcinados, etc. Sin embargo, con carbón solo no se obtienen porcentajes de carbono superiores al 0.60%, por eso se acostumbra mezclarlo con carbonatos alcalinos y alcalino-térreos.

Una mezcla muy usada es el 60% de carbón vegetal y 40% de carbonato bórico pudiéndose sustituir el carbonato bórico por carbonato cálcico o carbonato sódico.

1.11.2. Cementantes Líquidos.

Los baños de sales fundidas se utilizan mucho para cementación de piezas pequeñas, pues este procedimiento resulta más rápido y sencillo que la cementación con materias sólidas.

Las sales para cementar están formadas generalmente por cianuro sódico y otras sales, en proporción variable según la profundidad de penetración que se desea obtener, una composición usada es la siguiente: Cianuro Sódico 20 % Cloruro Bórico 30 % Cloruro Sódico 25% Carbonato Sódico 25%, el espesor de la capa cementada depende, además de la composición del baño, de la temperatura y de la duración del tratamiento

1.12. Medios y aparatos

1.12.1. Generalidades

Para la ejecución de los tratamientos térmicos son necesarios:

- Medios de calentamiento
- Medios de enfriamiento
- Aparatos de control de temperaturas

En general el calentamiento se efectúa en hornos especiales y los medios para el enfriamiento se contienen en recipientes o cubetas.

Los hornos para tratamientos térmicos pueden calentarse mediante combustibles líquidos o por medio de la electricidad; actualmente los de mayor utilización son los de calentamiento eléctrico, ya sea de resistencias, o de arco de inducción.

Los hornos eléctricos poseen las siguientes ventajas con respecto a los de combustible líquido.

- Facilidad de conducción
- Regulación de temperatura uniforme
- Menor volumen

Los hornos eléctricos pueden ser de mufla, de baño de sales, de atmosfera controlada o de inducción.

1.12.2. Hornos tipo mufla

Los hornos de mufla se encuentran constituidos por una cámara revestida interiormente de material refractario y exteriormente por una plancha metálica.

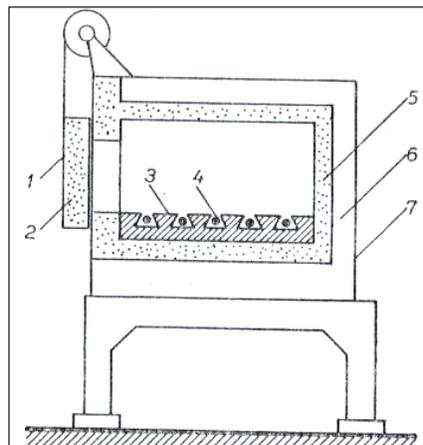
Entre el material refractario y la plancha metálica va dispuesto un material calorífugo. Las resistencias de calentamiento van dispuestas en pequeñas canales en las paredes del material refractario pero según las necesidades del tratamiento pueden estar situadas en distintas partes del horno.

En la figura 1-7 se puede observar la puerta del horno la cual es revestida interiormente de un material aislante y refractario a la vez, y se encuentra unida a un contrapeso que facilita las maniobras de apertura y cierre

La forma y dimensiones de estos hornos son muy variables, según las piezas a tratar y la magnitud de la instalación eléctrica. Los elementos de calefacción utilizados en este tipo de hornos pueden ser fabricados de los siguientes metales.

- Hilo o platina de Cromo- Níquel para temperaturas de hasta 1000°C .
- Varillas de Carburo de Silicio, para temperaturas de hasta 1350°C .

Figura1- 7. Horno tipo mufla.



Fuente: LUCCHESI Doménico. 1973. Tratamientos Térmicos. Editorial Reverte. Barcelona. España. pág. 96.

En la figura1-7 se observa un gráfico esquemático de la constitución de un horno tipo mufla utilizado principalmente para tratamientos térmicos, el cual consta de las siguientes partes.

1. Puerta deslizante
2. Material refractario
3. Solera refractaria
4. Elemento de calefacción
5. Material refractario
6. Material aislante
7. Revestimiento metálico

En general, la atmosfera del horno es el aire del ambiente, pero cuando se quiere evitar la descarburación o pérdida de carbono de las piezas de acero por acción del oxígeno, se recurre al empleo de atmosferas protectoras adecuadas.

1.12.3. Elección de la atmosfera adecuada

Hay muchos puntos involucrados en la elección de una correcta atmósfera para tratamiento térmico y estos son:

- La temperatura: La temperatura del horno es una importante variable del proceso ya que si ésta no es lo suficientemente alta para descomponer algunos compuestos de la mezcla gaseosa empleada no habría disponibilidad de CO y H₂ en la atmósfera y por ende no cumpliría su labor dicha atmósfera.
- El tiempo: El tiempo tiene un efecto sobre la reacción dentro del horno, por ejemplo el acero puede tolerar una atmósfera descarburante por poco tiempo antes de perder carbono en la superficie.
- La composición del material: La composición del material es uno de los factores más importantes para determinar la atmósfera correcta, por ejemplo para el carbono que contienen los materiales, el nivel en la atmósfera probablemente debe igualar el contenido de las piezas, esto es importante en los procesos en donde se involucre un carburizado o un descarburado.

- El tipo de horno: El mismo proceso, con el mismo material, con las mismas condiciones puede requerir atmósferas diferentes en hornos diferentes.
- Calidad deseada: La calidad necesaria a la salida de un horno también juega un papel preponderante en la elección de una atmósfera por ejemplo a veces una ligera descarburación es aceptable si las piezas van a maquinarse después del tratamiento térmico.
- La pureza: Hay algunas aplicaciones que no requieren alta pureza de los gases, por ejemplo al carburar con Nitrógeno y Metanol, se puede alcanzar una pureza elevada.

1.13. Medios de enfriamiento.

1.13.1. Elección del medio

Para tener éxito en un tratamiento térmico es de gran importancia elegir correctamente el medio de enfriamiento y tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo y composición del material a tratar
- La forma y dimensiones de la pieza
- Las propiedades que se desea obtener

Los medios de enfriamiento más empleados cuando se trata de realizar un temple son:

- a) Salmuera (agua y sal), o sea, una solución acuosa de cloruro de sodio o de hidróxido de sodio.
- b) Agua de grifo.
- c) Sales fundidas o líquidas.
- d) Aceite soluble y agua.
- e) Aceite.
- f) Aire.

1.13.2. Enfriamiento en agua.

El enfriamiento en agua es el indicado para aceros con velocidad crítica de temple elevada, esto significa, para los aceros al carbono o con pequeños contenidos de otros elementos.

El agua enfría rápidamente la superficie del material, con lo cual se forma una corteza muy dura, creándose tensiones internas peligrosas que pueden deformar o romper la pieza.

Por ese motivo no es aconsejable templar en agua las piezas de forma complicada, con aristas vivas, o con variaciones de secciones bruscas.

1.13.3. Fases de enfriamiento de agua

Según se indica en la sección 1.6.4 el enfriamiento en agua tiene lugar en tres fases:

- Formación de un velo de vapor alrededor de la pieza.
- Rotura del velo de vapor.
- Enfriamiento, por simple conducción entre la pieza y líquido.

1.13.4. Enfriamiento en soluciones salinas.

Añadiendo al agua una pequeña cantidad de cloruro de sodio o de sosa cáustica, el enfriamiento es más rápido y, por lo tanto, el temple es más enérgico.

Esto es debido no solo al mayor calor específico de las soluciones salinas respecto al agua pura, sino también a un fenómeno de índole mecánico.

1.13.5. Enfriamiento en aceite

En el enfriamiento en aceite tienen lugar tres fases, igual que las del agua, con la diferencia que la segunda fase es menos enérgica por ser menor la velocidad de evaporación del aceite con lo que la sustracción de calor a la pieza es también más reducida.

El aceite a 30°C o 40°C , tiene más poder refrigerante que el mismo aceite frío, debido a que este es más fluido y se vaporiza más rápidamente.

El temple en aceite es utilizado preferiblemente a las siguientes aplicaciones:

- Piezas complicadas
- Piezas de acero muy finas
- Piezas de acero de gran contenido de otros elementos (aceros especiales fuertemente aleados).

El temple en aceite produce deformaciones y tensiones internas notablemente inferiores a las que produce el temple en agua o en soluciones salinas.

Las características medias que debe poseer un aceite para realizar tratamientos térmicos son:

- Densidad relativa $\delta_r = 0.9$, a temperatura de 20°C
- Viscosidad Engler a $50^{\circ}\text{C} = 10,5^{\circ}\text{E}$
- Punto de inflamación $\geq 170^{\circ}\text{C}$

1.13.6. Enfriamiento en baño de sales y metales fundidos.

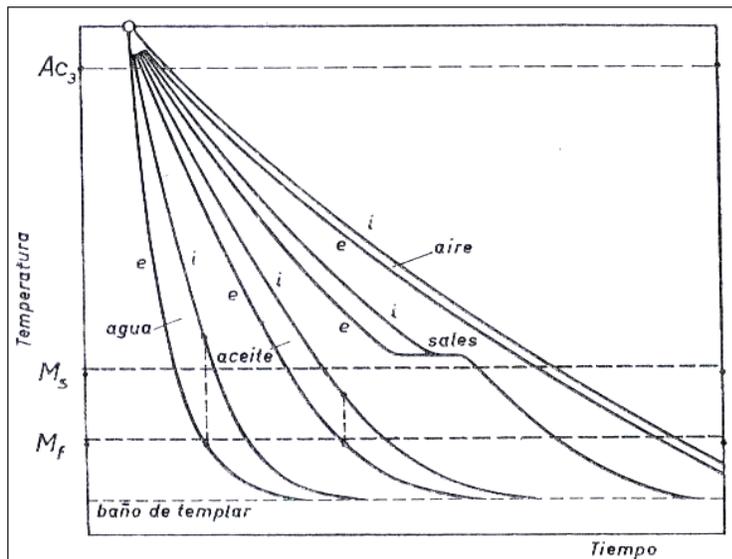
El enfriamiento en baño de sales fundidas, a unos 200°C , se va extendiendo rápidamente. Su principal ventaja es la de reducir al mínimo las tensiones internas y, en consecuencia la

deformación de la pieza. Los metales fundidos pueden ser Mercurio, Plomo y Plomo – Estaño, a su vez el baño de sales está formado de Potasio y Sodio.

1.13.7. Influencia del medio refrigerante

Considerando la figura 1-8 las curvas de enfriamiento relativas a las zonas exteriores e interiores en una sección redonda de acero, puede apreciarse la diferencia en la estructura final, y por consiguiente las características resultantes de la pieza templada en distintos medios de enfriamiento.

Figura 1-8. Curvas de enfriamiento obtenidas en varios tipos de enfriamiento.



Fuente: LUCCHESI Doménico. 1973. Tratamientos Térmicos. Editorial Reverte. Barcelona. España. pag 105.

- i.- Curvas relativas al interior de la pieza
- e.-Curvas relativas al exterior de la pieza
- Ms.- Martensita Inicial
- Mf.- Martensita final

Si observamos la figura 1-8, la comparación de los medios de enfriamiento, se puede verificar el retraso en el proceso de enfriamiento y por tanto el cambio en la microestructura, si bien al realizar un enfriamiento en agua se obtiene una estructura martensítica dura y frágil, un enfriamiento lento (al aire), permite una transformación bainítica eliminando consigo las tensiones residuales y permitiendo un mejor crecimiento de grano.

1.13.8. Nuevos medios de enfriamiento

Los fluidos sintéticos tales como el poliglicol y los polímeros de poliacrilato están reemplazando con rapidez al aceite y al agua en algunas operaciones de manufactura y en el tratamiento térmico.

Los fluidos enfriadores a base de poliglicol reducen la tendencia al agrietamiento al mismo tiempo que imparten el endurecimiento necesario y una dureza uniforme. Las soluciones enfriadoras acuosas a base de poliacrilato producen varias velocidades de enfriamiento, ya que son solubles en agua, además cuentan con una fase de vapor extensa y una extracción de calor disminuida, lo cual permite un enfriamiento sumamente lento, necesario en la fabricación de aceros de endurecimiento profundo.

1.14. Sistemas de medición de temperatura.

Los aparatos que se utilizan para medir la temperatura se clasifican en dos grupos:

- Aparatos de contacto
- Aparatos de radiación

Los aparatos de contacto miden la temperatura colocando un extremo en contacto directo con el cuerpo o ambiente del cual se desee obtener la medida de temperatura, en cambio los aparatos de radiación miden la temperatura mediante la energía que irradia el cuerpo caliente a la parte sensible del mismo.

Los aparatos por contacto directo más empleados son:

- Termómetros de dilatación (sólidos, líquidos .gaseoso,)
- Termómetros de resistencia eléctrica
- Pirómetros termoeléctricos

Los aparatos que emplean el fenómeno de radiación se clasifican en:

- Pirómetros de radiación total
- Pirómetros ópticos
- Pirómetros fotoeléctricos

Estos tres grandes grupos de pirómetros se subdividen en los siguientes subgrupos:

Pirómetros de radiación total

- (1) Instrumentos que efectúan la medición con termopar
- (2) Instrumentos que realizan la medición con bimetal
- (3) Instrumentos que la miden por variación de resistencia eléctrica

1.14.1. Pirómetros Ópticos

- (1) Los que realizan la medición comparando la luz del cuerpo caliente con una escala de colores.
- (2) Los que comparan el color del cuerpo caliente con el otro cuerpo cuya temperatura no se conoce.

1.14.2. Pirómetros Fotoeléctricos.

Los pirómetros fotoeléctricos permiten medir temperaturas elevadas con mayor precisión lo cual es de gran utilidad y empleo en los tratamientos térmicos de los aceros.

1.14.3. Pirómetros Termoeléctricos.

Estos instrumentos de medida son los más utilizados en la industria siderúrgica así como en los tratamientos térmicos de los aceros debido a las altas temperaturas que se pueden medir (1700°C), aunque en ocasiones se utiliza también para medir temperaturas bajas de hasta (-200°C).

1.14.3.1. Principio de funcionamiento

El pirómetro termoeléctrico sencillo, mostrado en la figura 1-9 consta de los siguientes componentes:

- El termopar, compuesto de dos metales o aleaciones diferentes.
- El bloque de empalmes, situado cerca y fuera del horno.
- Los cables de extensión.
- El instrumento indicador o registro.

El funcionamiento de este pirómetro se basa en dos principios:

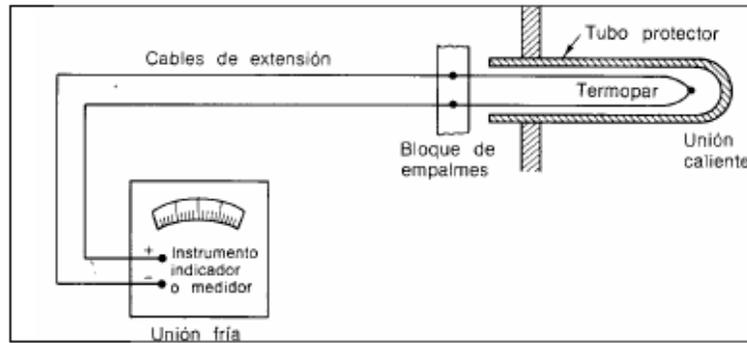
Efecto Peltier.- Si dos alambres metálicos diferentes se ponen en contacto eléctrico, habrá una f.e.m (fuerza electromotriz) a través de la punta de contacto. La magnitud de la fem desarrollada se determina por la composición química de los alambres y la temperatura de la punta de unión.

Efecto Thompson Si hay una diferencia de temperatura entre los extremos de un alambre homogéneo único, existirá una f.e.m entre los extremos de dicho alambre. La magnitud de la f.e.m desarrollada quedará determinada por la composición, la uniformidad química del alambre y la diferencia de temperatura.

Por tanto, la f.e.m total en un pirómetro termoeléctrico, algunas veces llamada **efecto Seebeck**, es la suma algebraica de cuatro f.e.m: dos f.e.m de Peltier en las uniones calientes

y frías y dos f.e.m Thompson a lo largo de cada alambre. La unión fría o unión referencia debe mantenerse a temperatura constante, la cual generalmente 0°C o 32°F .

Fig1-9. Esquema de funcionamiento de un pirómetro eléctrico.



Fuente: Autores

1.14.3.2. Metales Utilizados para Termopares

Cobre – Constantan.- El cobre – constantan es un par de precio relativamente bajo se suele emplear para la medición de bajas temperaturas, generalmente inferiores a 350°C , debido a que, en temperaturas elevadas se modifican su propiedades y características por la acción oxidante de las atmosferas del horno.

El constantan es una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel.

Hierro – Constantan.- El Hierro – Constantan es otro par de precio relativamente bajo, normalmente se usan para temperaturas de hasta 700°C , aunque en atmosferas poco oxidantes se emplean para temperaturas más elevadas.

Chromel- Constantan.- La propiedad más importante de este termopar es su elevada Fuerza electromotriz, superior a los anteriores termopares mencionados, pero una de sus desventajas es que no pueden utilizarse para temperaturas inferiores a la de 700°C porque a esa temperatura empieza a oxidarse el constantan.

Chromel - Alumel.- Este termopar es uno de los más utilizados en la industria, se pueden medir hasta temperaturas de 1200°C . El Chromel es una aleación de 90% de Níquel y 10% de Cromo mientras que el Alumel es una aleación del 94% de Níquel, 2% de Aluminio, 3% de Manganeso, y 1% de Silicio, una de sus principales ventajas es que este termopar tiene una excelente resistencia a la oxidación.

Platino - Rodio.- Se usan normalmente para temperaturas de hasta de 1450°C y en algunos casos se llega a utilizar inclusive a temperaturas de 1700°C . Uno de los alambres es de Platino y el segundo es de una aleación de Rodio y Platino, este posee mejor resistencia de oxidación que todos los termopares descritos, pero su inconveniente es el costo del platino que es muy elevado.

1.14.4. Tubos de protección

Los pares termoeléctricos casi nunca se colocan sin recubrimiento que los proteja de golpes o choques que podrían suscitarse al manipularlos, pero sobre todo el recubrimiento es usado para contrarrestar la acción de los gases que resulta perjudicial para el material del par.

En la práctica es común recubrir los pares con dos clases de tubos.

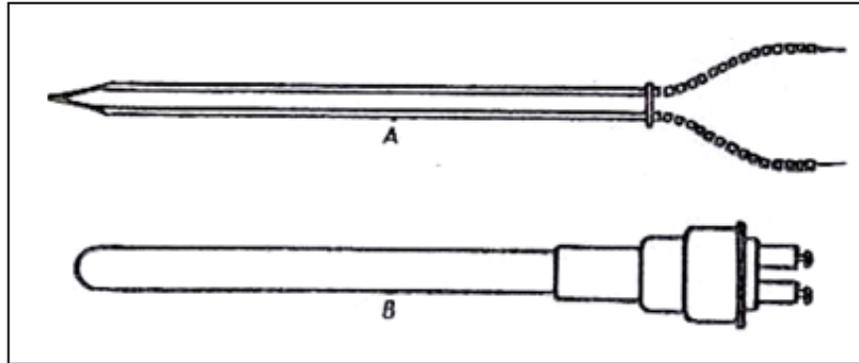
- Tubos exteriores
- Tubos interiores

Los tubos exteriores (fig. 1-10), son utilizados para proteger al par de golpes y evitar que se deformen los hilos por defecto de la temperatura.

Suelen construirse con acero corriente para temperaturas de 600°C , para temperaturas de 800 a 1000°C se fabrican de acero inoxidable refractario.

Los tubos interiores sirven para evitar la acción perjudicial de los gases que normalmente atraviesan las envueltas metálicas.

Fig1-10. Recubrimiento de los termopares



Fuente: BARREIRO Apraiz. 2002. Tratamientos Térmicos de los Aceros. Décima Edición. Editorial Dossat. Barcelona. España. pag 585.

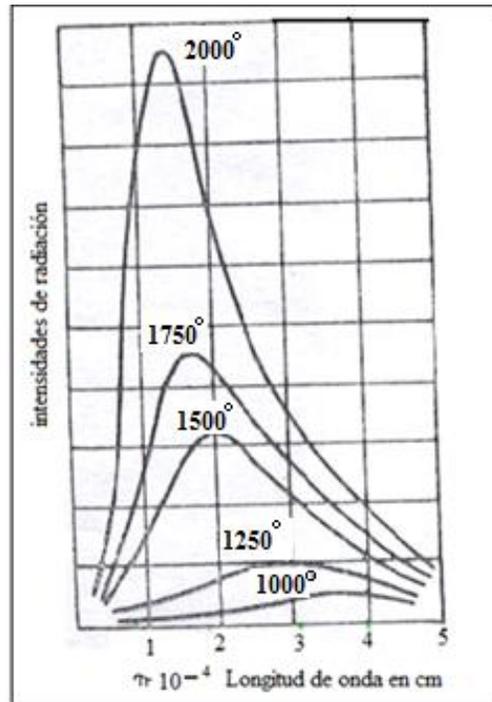
1.14.5. Pirómetros de radiación

Este tipo de pirómetros son utilizados para determinar temperaturas muy elevadas, comprendidas entre 650°C y 2000°C , trabajan midiendo la energía radiante que emiten los cuerpos, esto se debe a que todas las materias al ser calentadas emiten energía radiante con una intensidad que dependen principalmente de la temperatura, de la naturaleza y superficie de cada material.

En la mayoría de los casos la energía radiante está constituida por radiaciones de diferentes longitudes de onda.

A baja temperatura la mayor parte de la energía se trasmite por ondas de larga longitud, pero a medida que la temperatura sube, varia la longitud de onda debido a las radiaciones emitidas, Finalmente al aumentar la temperatura excesivamente la energía radiada por los cuerpos es transmitida exclusivamente por ondas de baja longitud; en la figura 1-11 se puede observar la variación de la longitud de onda al variar la temperatura.

Figura 1-11. Variaciones que experimenta la longitud de onda de las radiaciones que emiten los cuerpos al modificarse la temperatura.



Fuente: BARREIRO Apraiz. 2002. Tratamientos Térmicos de los Aceros. Décima Edición. Editorial Dossat. Barcelona. España. pag 602.

El cambio de color que experimentan los cuerpos al ser calentados es debido a las variaciones de longitud de las radiaciones que emiten al variar la temperatura.

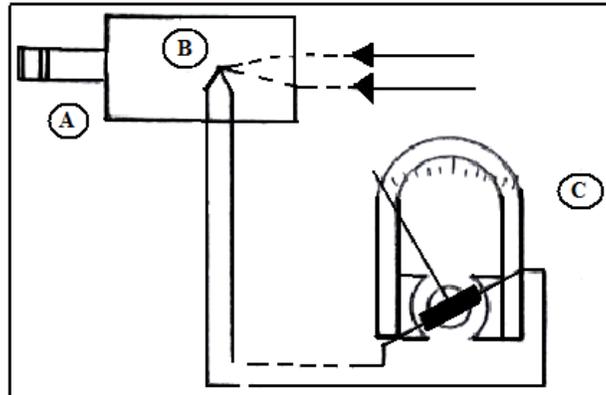
Los cuerpos que se encuentran a baja temperatura de igual forma desprenden calor pero no se observara color ni luz.

1.14.6. Pirómetro de radiación total.

Los pirómetros de radiación total (fig. 1-12) suelen estar constituidos por un instrumento óptico, (A) que sirve para receptor las radiaciones que recibe en un punto determinado (B) donde existe elementos sensible, constituido generalmente por un par o pares

termoeléctricos que al calentarse producen una fuerza electromotriz que se mide por medio de un instrumento eléctrico (C), que hay en el aparato.

Figura1-12. Esquema de un pirómetro de radiación total.



Fuente: BARREIRO Apraiz. 2002. Tratamientos Térmicos de los Aceros. Décima Edición. Editorial Dossat. Barcelona. España. pag 606.

1.14.7. Pirómetros fotoeléctricos

Estos instrumentos son pirómetros de radiación en los que el elemento sensible está constituido por una célula que al recibir ciertas radiaciones, genera una corriente eléctrica cuya medida sirve para conocer la temperatura del cuerpo que se observa con este instrumento.

Existen dos tipos de células fotoeléctricas.

- Las células de vacío
- Las células regenerativas

Las células de vacío poseen un electrodo con una capa de Plata sensibilizada y un metal alcalino como el Cesio. Son muy sensibles a las radiaciones rojas y un poco a las

infrarrojas, al iniciar las radiaciones sobre el electrodo sensible se libera cierta cantidad de electrones, según la cantidad de la radiación recibida. Para convertir estos electrones en una corriente eléctrica de suficiente intensidad es necesario aplicar entre los electrodos de la célula una tensión de 90 voltios, generados por una pila o rectificador exterior. En estas células la superficie fotoemisiva es grande y por eso se colocan en un lugar que en los pirómetros de radiación, ocupan los espejos o lentes.

Las células regenerativas se construyen depositando una capa de un compuesto sensitivo no conductor, generalmente Selenio, sobre una lámina metálica que luego se recubre con una película de oro o plata tan fina que es transparente.

Las radiaciones que llegan a la célula pasan a través de la película transparente y producen una separación de electrones en la capa de selenio desarrollándose una corriente eléctrica que sirve para medir la intensidad de la energía radiante recibida. Generalmente estas células son sensibles a las longitudes de onda del mismo orden que las que percibe el ojo humano, de 0.00003cm a 0.00007 cm, y generan fuerzas electromotrices del mismo orden que los pares termoeléctricos, teniendo además la ventaja de responder muy rápidamente a las variaciones de temperatura del cuerpo que observa. Su superficie fotoemisiva es pequeña, y por ello se colocan en el lugar que en los pirómetros de radiación, ocupa el termopar.

CAPITULO II

ENSAYOS METALURGICOS

2.1. Tipos de ensayos metalúrgicos.

Los ensayos metalúrgicos que se realizarán estarán en función de los recursos que existen en nuestro medio, por lo cual se ejecutaran los siguientes tratamientos térmicos en aceros: temple, revenido, cementado en carbón mineral, cementado en sales.

Los tratamientos térmicos estarán enfocados en aceros empleados en la industria automotriz, y regidos en base a los catálogos técnicos de los fabricantes, se utilizará los respectivos diagramas C.C.T (Cooling Continuous Transformation), y los demás datos técnicos como son la dureza, composición y propiedades mecánicas del acero, etc.

Para iniciar con los ensayos metalúrgicos se debe aplicar las siguientes normas técnicas de la ASTM (American Society for Testing and Materials).

- ASTM E3 – Preparación de muestras metalográficas.
- ASTM E407- Ataque metalográfico.
- ASTM E10- Medición de la dureza Brinell.
- ASTM E18 – Medición de la dureza Rockwell.

2.2. Normas y su aplicación

2.2.1. Preparación de muestras metalográficas - ASTM E3 -

La elección y preparación de la muestra es de vital importancia a la hora de realizar un tratamiento térmico, se debe delimitar el tamaño de la muestra dependiendo de la aplicación o del tipo de investigación que se vaya a realizar, dentro de esta norma existen algunos parámetros a la hora de elegir la muestra metalográfica, entre las principales se tiene:

- Estudios generales o trabajos de rutina
- Estudio de fallas
- Estudios de investigación

El parámetro de estudios de investigación es el adecuado para nuestra investigación, ya que se demostrará el cambio en las propiedades mecánicas y en la microestructura de los aceros antes y después de haber sido tratados térmicamente.

Una vez delimitado el parámetro a utilizarse se debe delimitar el tamaño de nuestra probeta.

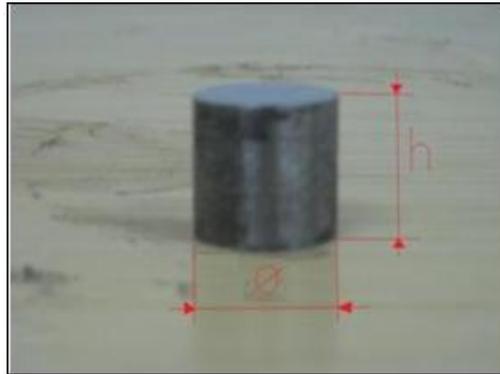
2.2.2. Tamaño de la muestra

Según la norma –ASTM E3- la muestra deberá ser pulida para la exanimación metalográfica, el tamaño ideal recomendable es de las siguientes dimensiones:

- Diámetro máximo 25mm
- Altura 20mm
- Superficie de pulido 490mm²

Estas dimensiones son recomendables para este tipo de investigación pero se recomienda que siempre la muestra metalográfica debe ser de fácil manipulación por el operario.

Figura 2-1. Dimensiones de la probeta



Fuente: Autores

2.2.3. Corte y limpieza de la muestra

El corte de la probeta puede realizarse a sierra o con disco abrasivo; en el corte de las probetas la refrigeración deberá ser abundante e intensa ya que se podría producir un sobrecalentamiento y modificar la estructura original del acero. Para controlar que la temperatura del acero no sea excesiva en las diferentes etapas de preparación de la probeta es recomendable que al contacto manual directo con la probeta el operador pueda soportar la temperatura a la que llegue la probeta.

En cuanto a la limpieza de la muestra es importante que esta se encuentre libre de cualquier impureza tal como aceite o grasas, utilizando solventes naturales, aunque la limpieza que se recomienda es la limpieza ultrasónica.

Si existiera algún tipo de revestimiento en la muestra, esta puede ser removida con ácido nítrico frío (HNO_3), ácido sulfúrico diluido (H_2SO_4) o ácido hidrociorídrico (HCl). El método utilizado con la solución de ácido nítrico frío es utilizado principalmente en piezas grandes, esto para prevenir el sobrecalentamiento.

2.2.4. Desbaste y pulido metalográfico, métodos y tipos:

La superficie metálica (acero), sobre la cual se va a realizar los distintos tratamientos térmicos, deberá estar pulida y plana, debido a que la pequeña profundidad de foco de los sistemas ópticos de observación a grandes aumentos en un microscopio metalográfico no permitirá enfocar la imagen simultánea en planos que se encuentren en distintos niveles

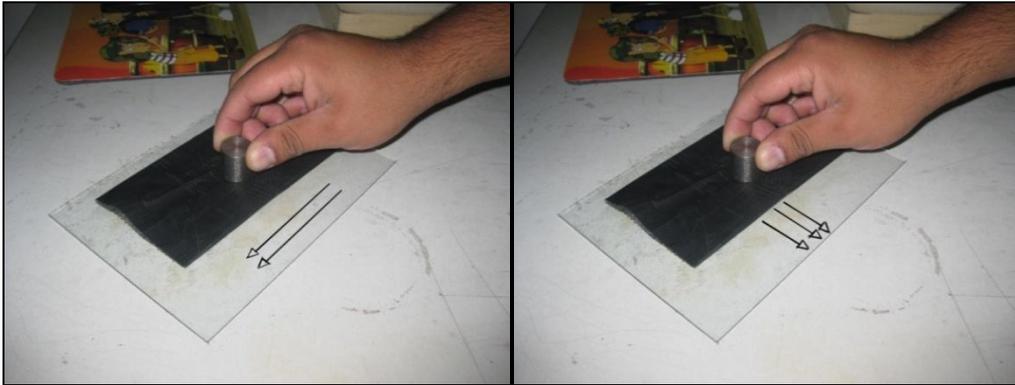
2.2.4.1. Desbaste

La superficie a pulir primero debe ser desbastada, esto se realiza pasando la probeta sucesivamente por papeles abrasivos de granos cada vez más finos (lija), estos papeles abrasivos van colocados sobre una superficie plana que puede ser (vidrio grueso, o mármol).

La probeta debe frotarse en una sola dirección hasta que en su superficie solo se observe ralladuras unidireccionales de desbaste, las mismas que deberán ser de la profundidad del papel abrasivo que se esté utilizando, la dirección de desbaste se gira 90^0 al cambiar el papel abrasivo por uno más fino.

Algunos papeles abrasivos admiten lubricar con agua para el deslizamiento de la probeta en otros casos se lubrica con parafina líquida o solución de esta en petróleo, además del efecto lubricante de estos líquidos poseen otro muy importante que es el evitar que las partículas desprendidas por el papel abrasivo contaminen el puesto de trabajo u otros papeles más finos. La figura 2-2 muestra la dirección de desbaste correcta

Figura2-2. Desbaste de la probeta



Fuente: Autores

2.2.4.2. Pulido

Para realizar la operación se requiere lo siguiente

- Conocer el material a pulir
- Saber cuál es el objetivo del pulido
- Habilidad, limpieza y paciencia en el proceso.

La superficie es desbastada hasta llegar al grano más fino, luego se debe limpiar para ser colocada en unos paños impregnados en diferentes papeles abrasivos. El tipo de paño y abrasivo dependerá del material en el cual se va a trabajar y de las posibilidades que posea el laboratorio.

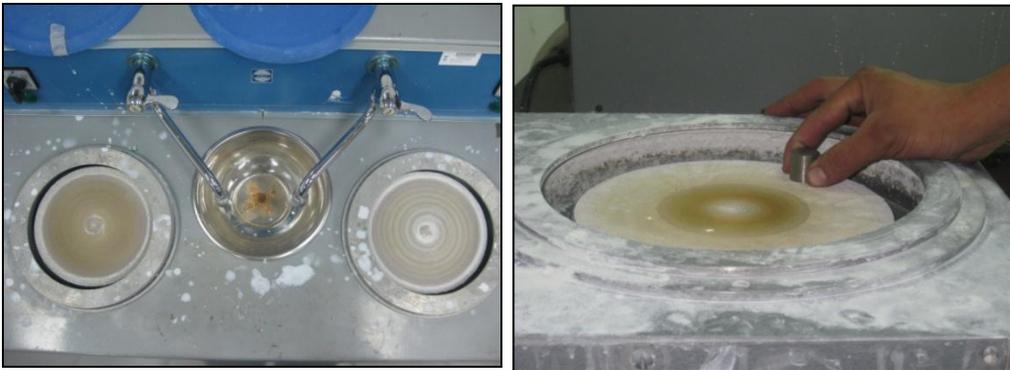
Los paños que se utilizan mayormente son de lana pura, seda, terciopelo, etc., y los abrasivos son suspensiones de alúmina o manganeso de distinto grado y en casos especiales se emplean pastas con polvo de diamantes.

Los paños de pulido suelen ir montados en discos giratorios o apoyados en vidrio grueso.

Si la superficie es giratoria se deberá apoyar la probeta suavemente en los discos y describir círculos al contrario de giro de estos, si la superficie es estática de igual manera se debe girar la probeta describiendo círculos, el propósito se debe a que la probeta debe estar pulida en todas las direcciones, para evitar inclusiones entre fases de distintita dureza.

El movimiento del pulido sobre el paño se realiza siguiendo una forma de espiral: mientras el disco gira en un sentido la probeta se mueve desde el centro hacia su periferia.

Figura 2-3. Pulido de la probeta sobre paños giratorios.



Fuente: Autores

2.2.5. Reactivos químicos

Con el desbaste realizado sobre papales abrasivos de diferentes espesores de grano se consigue una superficie dura y plana de alta reflectividad, pero generalmente se encuentra cubierta de una capa delgada de metal deformado plásticamente, debido al efecto de varias operaciones de desbaste.

Para conseguir el aspecto real de la estructura del metal es necesario eliminar la capa deformada y esto se consigue en el pulido y ataques químicos repetidos esta que el último ataque químico revelara la verdadera estructura metálica del acero.

Para aclarar las diferentes estructuras de los distintos aceros es necesario recurrir a diversos reactivos, pero en general todos estos disuelven la capa distorsionada y luego atacan y disuelven el fondo de la pieza.

Los reactivos metalográficos pueden ser muy selectivos (ver anexo1), generalmente atacan de distinta manera a los cristales que tienen diferente orientación, los bordes de grano son atacados más rápidamente que la masa y el ataque de los diferentes constituyentes de la estructura se efectúa a velocidad diferente.

Los reactivos utilizados en el examen micrográfico son varios, los más comunes son:

2.2.5.1. Nital.

Existen varios tipos Nital 1, 2, 3, 4.

Aplicaciones.- Para todos los aceros al carbono o débilmente aleados, tratados para todas las fundiciones ordinarias y para la fundición gris.

Efectos que se obtienen.- Permite evidenciar los diversos constituyentes estructurales y definir el contorno de los granos.

Principales características:

- Pone al descubierto la ferrita para diferenciarla de la martensita.
- Evidencia la perlita y la sorbita negreándolas.
- La cementita libre permanece sin atacarse por lo cual aparece brillante (un eventual ennegrecimiento se elimina lavándola con éter, pero los contornos de los carburos resaltan la ferrita).
- Evidencia la estructura y el espesor de penetración de los aceros nitrurados y la estructura general de los aceros rápidos para herramientas.

- Mientras el Nital 2 es más idóneo para evidenciar los diversos constituyentes estructurales, el Nital 4 permite una más clara y uniforme delimitación de los granos.
- Revela los límites de grano en aceros con 4% de silicio. Ataca los aceros de bajo contenido de cromo que son resistentes al Picral.

2.2.6. Tiempo de ataque

La duración del tiempo de ataque es de 10 segundos a 2 minutos y más tiempo para los aceros aleados. Se realiza a temperatura ambiente.

Observaciones.- Si el tiempo de ataque es mayor, decrece la selectividad. Un eventual ennegrecimiento de la probeta se quita lavándola con alcohol etílico, luego secándola con aire caliente o con un paño suave sin restregarla.

Las soluciones con más del 10% de ácido nítrico son explosivas.

Figura 2- 4. Ataque químico aplicado en la probeta



Fuente: Autores

Después de aplicar la solución ácida a la superficie de la probeta y transcurrido el tiempo de ataque se debe lavar con agua y dejar secar al ambiente el tiempo que sea necesario.

Figura 2-5. Limpieza de la probeta con abundante agua



Fuente: Autores

2.2.7. Obtención de la fotografía de la microestructura

Para la obtención de las microfotografías se necesita un microscopio que utiliza una cámara de alta definición el mismo que tiene tres lentes de aumento (100X, 200X, 400X) que representan las diferentes escalas y un regulador de altura que permite la calibración adecuada.

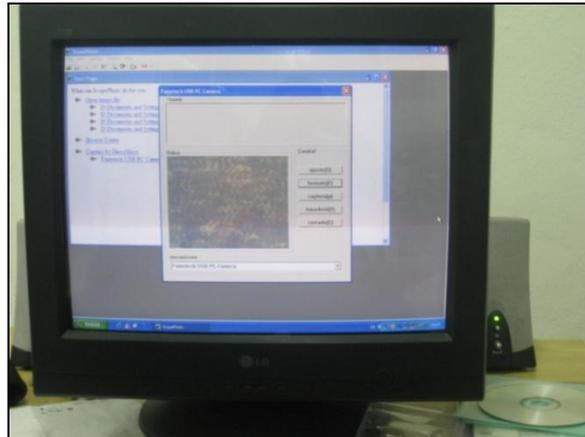
Figura 2-6. Microscopio para revelar la microestructura de la probeta.



Fuente: Autores

Una vez ya regulada la altura del lente se obtiene la microfotografía a (640 X 480 megapixels).

Figura 2-7. Fotografía de la microestructura utilizando el programa “Scope Photo”



Fuente: Autores

2.2.8. Normas de seguridad

En el proceso y análisis metalográfico el ataque químico al cual se someten las probetas a ser analizadas debe ser siempre reactivos puros para lograr resultados con un máximo de exactitud esto a obliga a las personas que van manejar o estar en contacto con los diferentes reactivos observar escrupulosamente las siguientes normas de seguridad.

- ✓ No manipule los ácidos si no cuenta con los instrumentos adecuados y diseñados para el efecto, tales como goteros, guates, mascarilla, etc.
- ✓ Cerciórese de contar con los antidotos del o los ácidos o reactivos químicos que vaya a utilizar, como también de contar con la accesibilidad de agua y ventilación adecuada.
- ✓ Cuidar los ojos y la piel del contacto directo con los reactivos en caso de accidente lavarse con agua suficiente, agregar unas gotas de ácido bórico o jugo de limón.

- ✓ Destapar el frasco del reactivo con cuidado, no arrimar la cara a la boca del frasco pues el reactivo puede despedir gases tóxicos. Colocar la tapa del frasco sobre la mesa de manera que la parte que queda dentro del frasco no quede en contacto con la mesa, inmediatamente sacar la muestra y volver a tapar el frasco.
- ✓ Los reactivos deben guardarse en embases limpios, tapados y rotulados indicando su nombre, fórmula y grado de pureza, si son venenosos deben destacarse su peligrosidad.
- ✓ Emplear únicamente la cantidad mínima necesaria del reactivo para evitar desperdicio. Nunca regresar el exceso de reactivo; una equivocación puede alterar los próximos experimentos y además en el mismo momento pueden presentar grave peligro
- ✓ Utilizar el reactivo adecuado de acuerdo al material que vaya a ser analizado.
- ✓ Respetar el tiempo de ataque especificado por el fabricante, un excesivo tiempo de ataque modifica la microestructura del metal produciendo una especie de quemado del acero.

2.2.9. Medición de la dureza (HRC)

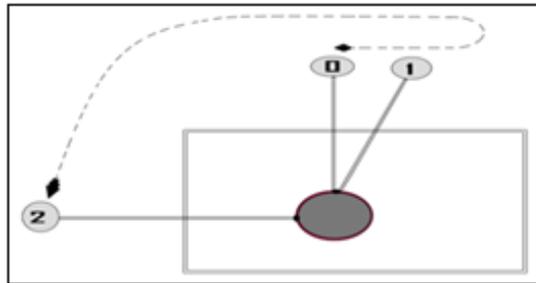
Para obtener la medida de dureza de los aceros que se está analizando, se utilizó el durómetro del laboratorio de metalurgia y tratamientos térmicos de la Universidad del Azuay, con el cual se consigue las medidas en escala Rockwell.

Para la medición de la dureza se tiene una tabla Rockwell dividida en cuatro escalas de acuerdo a la dureza en (HRC) del material a ser medido. Para las probetas se utilizó una amplitud de dureza de 20 - 67 HRC (Rockwell C), según las especificaciones del fabricante, para esta prueba se utiliza una carga de 1471N , utilizando un cono diamantado a 120° de inclinación.

Para medir la dureza correctamente se detalla el siguiente procedimiento:

- Seleccionar el porta probetas de acuerdo a la forma de la probeta a ser medida, en este caso, el porta probetas plano.
- Seleccione el cuerpo de penetración junto con la carga correspondiente según el tipo de prueba.
- Alojarse correctamente el objeto a probar sobre una mesa de trabajo.
- En la posición cero levantar la mesa de trabajo con ayuda del volante de mano hasta que la luz indicadora de la precarga se apague.
- Presione la palanca desde la posición cero a la posición uno y espere aproximadamente 40 segundos hasta que se aplique la carga adicional.
- Presione la palanca desde la posición uno hasta la posición dos y finalmente lea el número de dureza en la escala correcta.

Figura 2-8. Esquema de la palanca de mando del durómetro



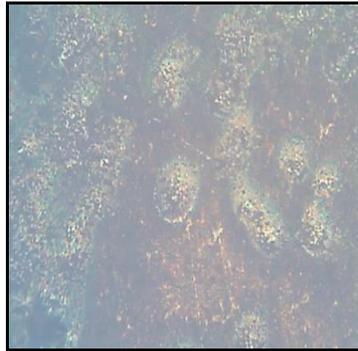
Fuente: Autores

2.2.10. Microfotografías de las estructuras de los aceros

Luego de realizar los ensayos metalúrgicos se procedió a revelar la microestructura de los aceros, primero en su estado inicial (sin tratarse térmicamente), y después de los ensayos térmicos.

AISI 4140

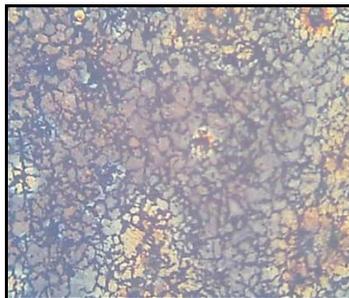
Figura 2-9. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4140, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

La fotografía que se presenta es un acero AISI 4140, esta foto fue tomada antes de realizar un tratamiento térmico en ella, la composición de este acero es una aleación de Carbono (0.38 % - 0,43%), Manganeso (0.75% - 1%) , Cromo (0.80% - 1.10%), Molibdeno(0.15% - 0,25 %) y Silicio (0.15% - 0.35%) , este tipo de acero posee un color característico de identificación que es el blanco y verde. Microestructura ferrítica las zonas blancas en una matriz martensítica.

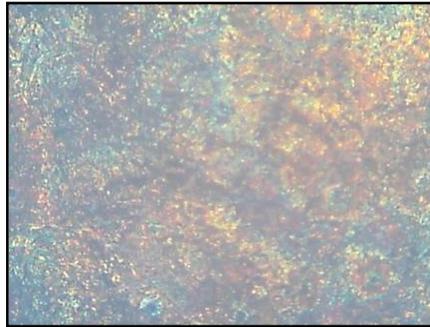
Figura 2-10. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4140 templado en sal muera, Ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

En la fotografía se muestra la microestructura de la probeta AISI 4140 después del temple en salmuera, en la cual muestra una matriz martensítica debido a su enfriamiento.

Figura 2-11. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4140 Templado en aceite, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

La fotografía muestra la microestructura de la probeta AISI 4140 templada en aceite caliente (220°C) se observa una matriz martensítica pero diferente a la anterior templada en salmuera ya que el medio de enfriamiento es súbitamente brusco, con lo cual se consigue una estructura más homogénea y menos frágil.

AISI 4340

Figura 2-12. Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

La fotografía que se presenta es un acero AISI 4140 tomada antes del tratamiento térmico en ella.

Este acero se encuentra conformado por una aleación de Carbono (0.41%), Manganeso (0.70%), Cromo (1.10%), Molibdeno (0.20%) y Silicio (0,30%). Su color característico es blanco y café, y su microestructura es martensítica (Color Oscuro) en gran proporción, con pequeñas zonas ferríticas color blanco.

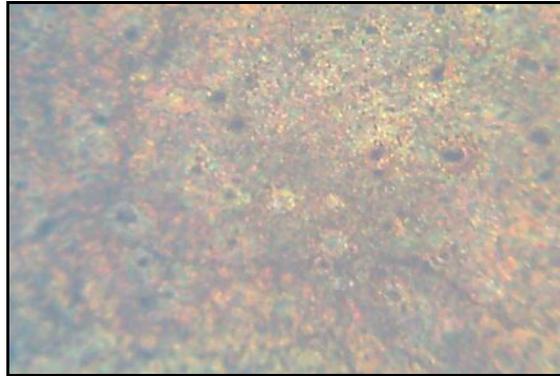
Figura 2-13 Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340 Templado sal muera, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

Microestructura de un acero AISI 4340 templado en salmuera, se observa una composición martensítica a lo largo de toda la probeta.

Figura 2-14 Microfotografía de la estructura del acero AISI 4340 Templado en Aceite, ataque químico Nital 4, 200X.

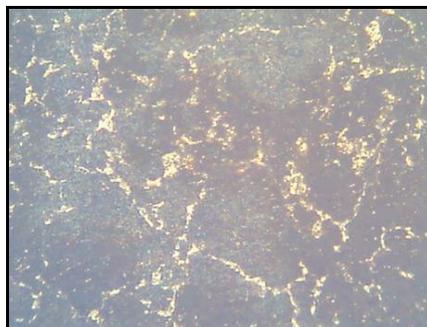


Fuente: Autores

Fotografía de una probeta AISI 4140 sometida a un temple en aceite a (220°C), se observa una microestructura martensítica (parte oscura) en su gran proporción, pero debido a la severidad baja del temple le concede mayor homogeneidad y menor fragilidad en sus propiedades mecánicas.

AISI 1045

Figura 2-15 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

Se muestra la microestructura de un acero AISI 1045, antes de ser tratado térmicamente, este acero posee aproximadamente un 45% de carbono, por lo cual es considerado de medio contenido de este, su microestructura está compuesta por ferrita (zona blanca) y perlita (zona oscura).

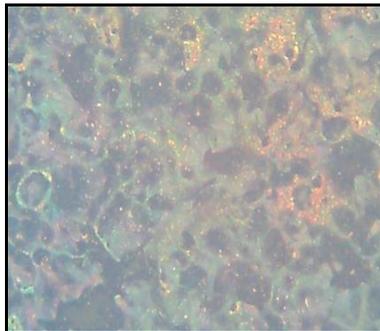
Figura 2-16 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045 templado en agua, ataque químico Nital 4, aumento 200X.



Fuente: Autores.

Microestructura de un acero AISI 1045 templado en agua, se muestra la aparición de bainita en pequeñas proporciones, y martensita, por su estructura plumosa en toda la probeta, esta microestructura se debe a la severidad del temple, confiriéndole alta dureza al material pero a su vez alta fragilidad.

Figura 2-17 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1045 revenido, ataque químico Nital 4, aumento 200X.

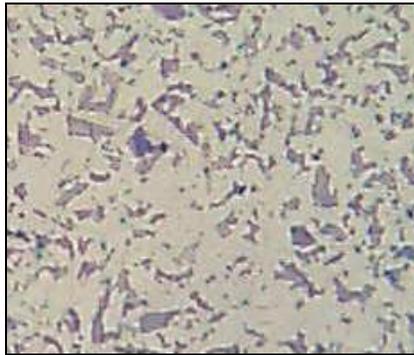


Fuente: Autores.

Microestructura de un acero AISI 1045 revenido, se obtiene una microestructura de ferrita en las zonas más claras (verde) y cementita en las zonas oscuras, este tratamiento mejora la ductilidad del material, permitiéndole disminuir su fragilidad y darle mayor tenacidad para su uso, su enfriamiento se realizó en el horno, lo cual le permite tener una recuperación y reorganización del tamaño del grano.

AISI 1018

Figura 2-18. Microfotografía de la estructura del Acero AISI 1018, ataque químico Nital 2, aumento 200X.



Fuente: Autores.

Fotografía de la microestructura de un acero AISI 1018 antes de ser tratado térmicamente, este acero posee un porcentaje del 18% de carbono, por lo cual se lo considera de bajo contenido de este, su característica es de poseer baja dureza acorde al cantidad mínima de carbón que contiene.

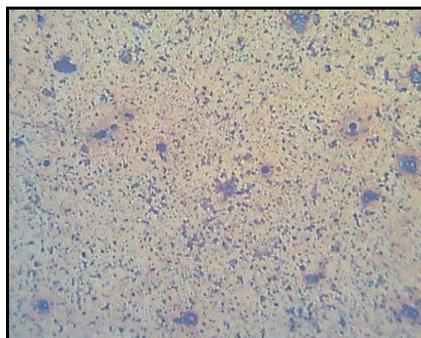
Figura 2-19. Microfotografía de la estructura del acero AISI 1018 cementado con carbón mineral, ataque químico Nital 2, aumento 100X.



Fuente: Autores.

Microestructura de un acero AISI 1018 cementado en carbón mineral (coque) y recocido. La microestructura consta de ferrita (zonas claras) y perlita (zonas oscuras), nótese que la proporción de ferrita y perlita son proporcionales, el recocido mejoro el crecimiento de grano y homogenizo la probeta, ganado así una mayor dureza y ductilidad

Figura 2-20 Microfotografía de la estructura del acero AISI 1018 cementado en sales, ataque químico Nital 2, aumento 100X.



Fuente: Autores.

Microestructura de un acero AISI 1018 cementado en sales, se puede observar una microestructura ferrita con zonas perlíticas (color obscur

CAPITULO III

CONSTITUCION Y FUNCIONAMIENTO DEL HORNO ELÉCTRICO TIPO MUFLA

3.1. Constitución

El horno tipo mufla se encuentra constituido por dos partes principales, el bloque de control eléctrico y las cámaras térmicas.

3.1.1. Bloque eléctrico.

Aquí se encuentra las instalaciones eléctricas para comandar el comportamiento de las temperaturas del horno (véase anexo 10).

3.1.1.1. Pirómetros análogos.

Regula la temperatura requerida en el horno, trabaja conjuntamente con la termocupla instalada en la parte interna de las cámaras térmicas, de acuerdo al número de cámaras del horno será el numero de pirómetros que se necesite.

Los pirómetros son instrumentos de medición de temperatura, en este caso eléctricos, posee un bobinado interno y de acuerdo a la temperatura del horno las termocuplas emiten una corriente que mueve la pluma indicadora de color rojo , el movimiento se realiza mediante un mecanismo de ruedas dentadas indicando en un tambor graduado la temperatura actual del horno. (Véase el anexo 10) la ubicación del pirómetro.

3.1.1.2. Interruptores de encendido.

Utilizados para permitir el paso de corriente a las niquelinas instaladas en las cámaras térmicas, poseen una luz indicadora de funcionamiento y se encuentran en el bloque eléctrico, (véase anexo 10).

3.1.1.3. Voltímetro.

Es un indicador de voltaje para todo el circuito eléctrico del horno, su ubicación esta en el bloque eléctrico (véase anexo 10), y trabaja con una instalación trifásica que deberá ser monitoreada constantemente.

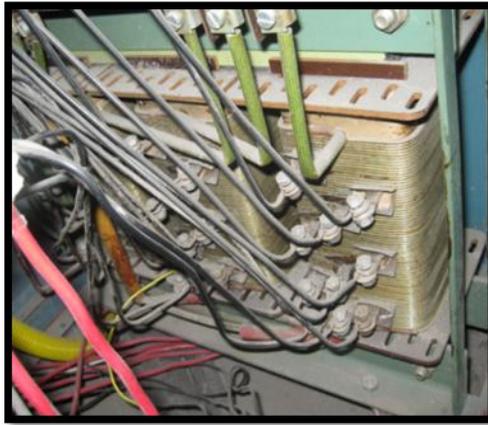
3.1.1.4. Amperímetro.

La instalación de las cámaras del horno esta en paralelo por ende las intensidades en las cámaras son independientes, los circuitos de cada cámara poseen un amperímetro para monitoreo en caso de anomalías en funcionamiento (véase anexo 10).

3.1.1.5. Transformador de corriente.

Este transformador sirve en el horno para aumentar o disminuir la cantidad de corriente que se suministra a las niquelinas, dependiendo de la temperatura que se necesite calentar el horno. Está constituido por tres bobinados con diferente número de espiras (ver esquema eléctrico en anexo7) con lo cual se consigue la variación de la corriente.

Figura 3-1. Transformador de corriente.



Fuente: Autores

3.1.1.6. Regulador de Intensidad (TAP)

Va instalado conjuntamente con el transformador, sirve para seleccionar la cantidad de corriente suministrada hacia las niquelinas, conectando o desconectando los bobinados del mismo. (Ver localización en anexo 7).

3.1.1.7. Instalación de fusibles.

El horno posee una instalación de fusibles para proteger cada una de las líneas en caso de sobrecargas. (Ver ubicación en anexo 7).

3.1.1.8. Contactores trifásicos.

Ubicados en el bloque eléctrico (ver en anexo 7), estos contactores trabajan con tres fases independientes, se activan automáticamente por electromagnetismo al energizar el circuito, y al suspender la energía eléctrica, cortan el paso de corriente.

3.1.2. Cámaras térmicas.

Estas cámaras están compuestas de varias capas, en primer lugar una capa aislante para conservar las temperaturas, en segunda instancia un material refractario por su característica particular de poseer un punto de fusión mayor a las temperaturas alcanzadas por estas cámaras térmicas, una instalación de niquelinas alojadas en canales en toda la parte interna de las cámaras con el fin de calentarlas, finalmente se encuentra instalada la termocupla para censar la temperatura alcanzada en estas cámaras (véase anexo 9).

Figura 3-2. Cámaras térmicas.



Fuente: Autores.

3.1.2.1. Termocuplas.

Son termopares que trabajan como sensores (ver anexo 9), miden la temperatura interna de las cámaras del horno.

El principio de funcionamiento de estos termopares consiste en la unión de dos metales distintos que al estar sometidos a temperaturas diferentes a la temperatura ambiente emiten un voltaje el cual varía de acuerdo a la temperatura en este caso la interna de las cámaras.

Figura 3-3. Termocuplas

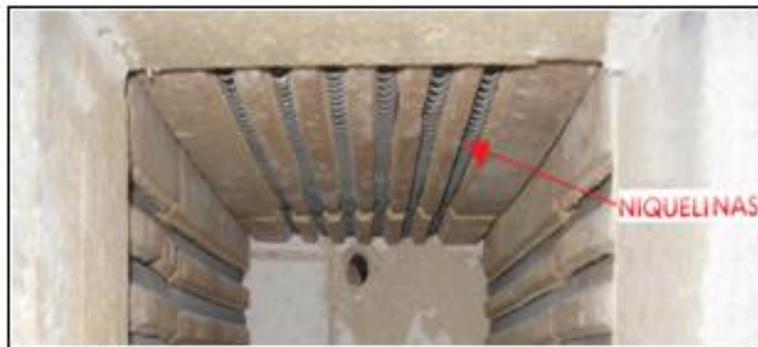


Fuente: Autores.

3.1.2.2. Niquelinas

Pueden estar compuestas de hilo de Cromo – Níquel para temperaturas de hasta 1000°C y de varillas de carburo de Silicio para temperaturas de hasta 1350°C . Estas trabajan de acuerdo al voltaje que se regule en el horno, permitiendo el calentamiento interno de las cámaras térmicas del mismo.

Figura 3- 4. Niquelinas.



Fuente: Autores.

3.1.2.3. Interruptores de puertas

Estos interruptores están instalados como medio preventivo para el operario (ver ubicación en anexo 9), ya que al colocar o extraer las probetas desconectan el circuito eléctrico y detienen el calentamiento de las cámaras.

3.1.2.4. Puertas deslizantes

Estas puertas están fabricadas del mismo material que las paredes internas de las cámaras térmicas, por el hecho de formar parte de ellas al estar cerradas, poseen un mecanismo deslizante para su apertura o cierre con el fin de hermetizar la cámara y conservar las temperaturas. (ver localización en anexo 9).

3.2. Principio de funcionamiento

Este horno para tratamientos térmicos utiliza el principio de calentamiento por resistencia eléctrica, el cual consta de una instalación trifásica que trabaja en conjunto con una bobina de inducción, a más de esto posee un regulador de corriente alterna, los sensores térmicos, las resistencias de nicrom (70% níquel, 30% cromo) que recubren la cámara de calentamiento y los pirómetros que reflejan la temperatura actual del horno (ver esquema eléctrico en anexo 7).

El horno trabaja aprovechando el calor generado según la ley de Joule, en donde las resistencias son el componente que transforma la energía eléctrica en energía calorífica.

Mediante esta ley podemos determinar la cantidad de calor que es capaz de entregar una resistencia, que dependerá de la intensidad de corriente que circule y el tiempo empleado, por lo tanto la ley de joule enuncia que el calor desprendido es directamente proporcional a la intensidad de corriente, a la diferencia de potencial y al tiempo.

$$\text{Ecu (1): } Q = 0,24 * I * V * t$$

Q= Cantidad de calor

0,24 = Constante de proporcionalidad

V= Diferencia de potencial

t= Tiempo de conexión

3.3. Manual de Operaciones

Como todo equipo industrial el funcionamiento de este horno debe realizarse con precaución, debido a que trabaja con una instalación de alta tensión, a continuación detallaremos el procedimiento correcto para la utilización de este equipo.

3.3.1. Encendido del Horno

3.3.1.1. Energizar el bloque eléctrico.

Poseemos dos contactores que energizan las resistencias que se encuentran dentro de las cámaras térmicas (observar posición en anexo 7), se debe girar el contactor desde la posición 0 hasta la posición I para energizar la cámara que se vaya a utilizar, verificando que la luz testigo encienda.

Figura 3-5 Interruptor de encendido del horno

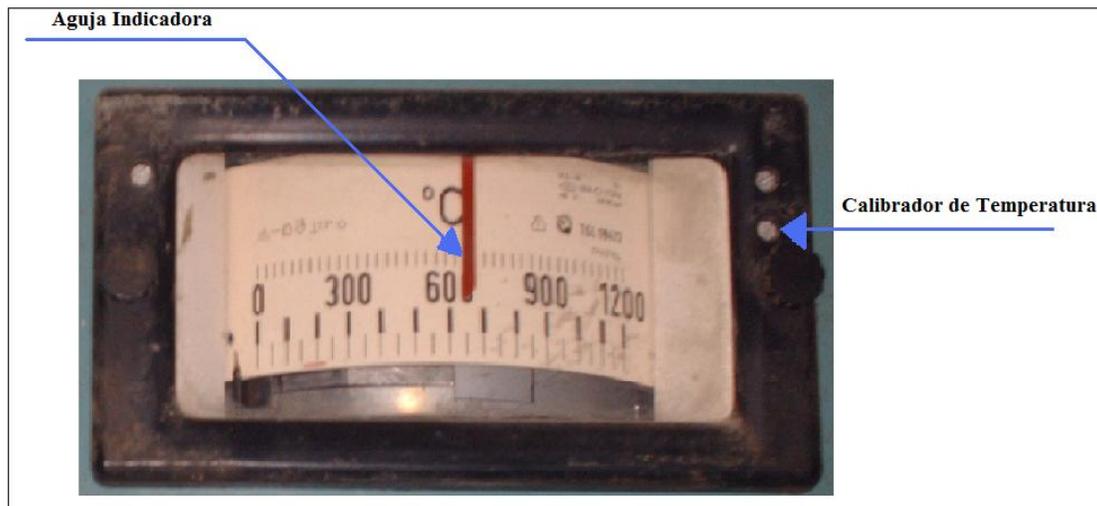


Fuente: Autores.

3.3.1.2. Regular la temperatura a la cual se va a calentar el horno.

Dependiendo del tratamiento térmico que se vaya a realizar se debe elegir la temperatura a la cual deberá alcanzar y permanecer el horno, para esto se regula manualmente los pirómetros análogos mediante un calibrador propio del pirómetro, la aguja color rojo indicara la temperatura a la cual llegara y permanecerá el horno.

Figura 3-6. Pirómetro Análogo



Fuente: Autores

3.3.1.3. Monitorear el voltímetro.

Una vez alimentado el sistema, el voltímetro nos indica que toda la instalación del horno trabaja con normalidad, cualquier anomalía se verá reflejada en la medición del voltaje (220 V Aprox.).

3.3.1.4. Monitorear amperímetros.

El horno posee dos cámaras térmicas, la temperatura a la cual alcancen dependerá de la intensidad de corriente que se suministre, por lo cual tiene instalado dos amperímetros

independientes para cada cámara, la intensidad de corriente se calibrara mediante el regulador de intensidad, que protegerá la instalación eléctrica de una sobrecarga.

3.3.2. Calentamiento del Horno

3.3.2.1. Inspección de cámaras térmicas

Se debe realizar un chequeo general de cada cámara antes de realizar cualquier tratamiento térmico, verificando que se encuentren libres de residuos, que el material refractario se encuentre en buen estado, que las resistencias no estén deterioradas, que el aislante cerámico de la termocupla este en optimas condiciones, y que la tapa de cada cámara hermetice eficientemente.

3.3.2.2. Colocación de la probeta a tratarse térmicamente.

Se debe procurar que la probeta se ubique de una manera apropiada, con el fin de que su extracción sea fácil y rápida, logrando a si no interrumpir el proceso normal del tratamiento térmico.

3.3.3. Extracción de la probeta.

3.3.3.1. Método de extracción de la probeta.

Una vez culminada la etapa de calentamiento de la probeta en el tratamiento térmico, es de suma importancia el método de su extracción, lo más aconsejable es utilizar pinzas de Mango largo, guantes, gafas de protección, y vestimenta adecuada para optimizar el proceso.

3.3.3.2. Herramientas

- Pinzas de mango largo
- Gafas
- Guantes
- Recipientes Metálicos
- Overol

3.3.4. Consideraciones para realizar un tratamiento térmico

- Evitar el sobrecalentamiento del acero, debido a que produce un aumento en el grosor del grano, esto causa un quemado del acero y el daño de los límites de grano.
- Cuando se efectúan tratamientos térmicos utilícese siempre careta protectora, guantes de piel, overol de mangas largas.
- Durante el proceso de tratamiento térmico siempre trabájese en parejas, la una persona abre y cierra la puerta del horno y la otra manipula la parte caliente.
- La parte tratada térmica debe colocarse en el horno de modo que pueda sacarse convenientemente.
- Cuando se enfría el acero en un baño de aceite existe el peligro para cara y ojos, el aceite caliente debido al acero tiende a proyectarse hacia arriba, de modo que la persona debe colocarse a un costado del recipiente y no inclinarse sobre él.
- Se debe realizar un precalentamiento de las pinzas antes de que entren en contacto con la probeta, con la finalidad de que el choque térmico no sea demasiado brusco.

CONCLUSIONES

- En las mediciones de durezas de las probetas podemos verificar que son los aceros AISI 4140, y AISI 4340 los que alcanzaron mayor dureza al aplicarles un temple, debido a su contenido de aleación y predisposición a la templabilidad, mientras que el acero AISI 1045 alcanzó menor dureza debido a su contenido de carbono medio.
- El cementado en carbón mineral realizado en la probeta AISI 1018 obtuvo una dureza final estipulada por el catálogo del fabricante, además su microestructura muestra la delimitación y crecimiento de grano, debido al posterior enfriamiento lento en el horno.
- En el tratamiento térmico de cementado, la absorción del carbón mineral por el acero permite aumentar su dureza, pero es el temple y recocido el complemento final para que las propiedades tanto de dureza superficial como de ductilidad en el núcleo permitan convertir un acero bajo en contenido de carbono de gran utilidad en la industria automotriz.
- Para la construcción de repuestos automotrices de alta resistencia al desgaste se aplica el cementado, como solución a la reposición de partes escasas en el mercado local tales como piñones de dientes rectos, pines de diferente sección y tuercas sobredimensionadas.
- El temple y revenido permite modificar la dureza de los aceros, con lo cual facilita su mecanizado en caso de reparación de ejes, piñones, bocines, pasadores, etc., y posteriormente recuperar sus propiedades mecánicas iniciales.

RECOMENDACIONES

- Los tratamientos térmicos aplicados en los aceros son numerosos y diversos, lo que se debe tomar en cuenta para realizarlos depende de; el tipo de aplicación para el cual va ha ser utilizado, el control de la temperatura y la elección del correcto medio de enfriamiento, por esto es importante contar con los catálogos técnicos de los fabricantes de materiales y los equipos adecuados.
- En caso de realizar trabajos que requieran cambios bruscos de temperatura en partes automotrices los cuales alteren sus propiedades mecánicas se necesita aplicar un tratamiento térmico adecuado con el fin restablecer dichas propiedades.
- En los aceros es importante conocer su composición, aleaciones, porcentaje de carbono, y microestructura ya que permitirá elegir el acero adecuado acorde a su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHBY Michael F. DOOID R. H. Jones. 2009. Materiales para Ingeniería II. Segunda Edición. Editorial Reberte. Barcelona.
- BARREIRO Apraiz. 2002. Tratamientos Térmicos de los Aceros. Décima Edición. Editorial Dossat. Barcelona. España.
- BOHLER. 2008. Manual de aceros especiales. Quito. Ecuador.
- CARDENAS Martin Juan Francisco, VÁZQUEZ Martínez Víctor Manuel. LÓPEZ del Rio Benito, HERRERA Santana Eladio Domingo, VICENTE Lorenzo Esteban. 2002. Metalografía de los aceros. Segunda Edición. Editorial Universidad Politecnica Madrid, ETS Ingenieros Industriales. Madrid. España.
- DONAL R. Askeland. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Séptima Edición. Editorial Mc Graw- Hill. México.
- FERRER J. DOMÍNGUEZ E. J. 2008. Técnicas de mecanizado para el mantenimiento de vehículos. Séptima Edición. Editorial Editex S.A. Madrid. España.
- GARCIA Romero Manuel, MUSEROS Romero Pedro, MARÍA de Martínez Rodrigo, POY Gil Ana. 2002. Resistencia de Material. Decima Segunda Edición. Editorial Universitat Jaume. España.
- GILMUR F. J. J. M. MANERO Planella. 2005. Metalografía. Primera Edición. Editorial UPC. Barcelona. España.
- KALPAKJIM, Schimid. 2001. Manufactura Ingeniería y Tecnología. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall. México.

- LUCCHESI Doménico. 1973. Tratamientos Térmicos. Editorial Reverte. Barcelona. España.
- MOTT Robert L. 2006. Diseño de Elementos de Maquinas. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall. México.
- NEELY Jhon E. 2001. Metalurgia y Materiales Industriales. Editorial Limusa. México.
- SHINGLEY Joseph Edward. 2008. Diseño e Ingeniería Mecánica. Octava Edición. Editorial Mc Graw- Hill. México.
- WILLIAM D. Callister. 2002. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Sexta Edición. Editorial Reverte. Barcelona.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- CORREA Julio. 2007. Tratamientos térmicos de los aceros. México.
<http://juliocorrea.wordpress.com/2007/08/23/tratamientos-termicos-del-acero/>
- MECÁNICA POPULAR-Copyright. 2010. Temple del acero. México.
<http://www.mimecanicapopular.com/vernota.php?n=498>
- THE UNIVERSITY OF LIVERPOOL.2000.Diagramas T.T.T. Liverpool. U.K.
http://www.matter.org.uk/steelmatter/metallurgy/7_1_2.html
- ALPIZAR Torres Eduardo.2004. Tratamientos térmicos de los aceros .Cuba.
<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/index/assoc/HASH0158.dir/doc.pdf>
- LONDOÑO Ducara Alexis.2007. Conceptos de templabilidad. Pereira. Colombia
<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/10/27/6-4-concepto-de-templabilidad-diagramas-ttt/>
- DÍAZ DEL CASTILLO Rodríguez Felipe.2007. Diagramas de temperatura y transformación. México.
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/material_mecanica/tecnologia%20de%20materiales%20II_1.pdf

ANEXOS:

Anexo 1**Tratamientos térmicos: Tratamientos térmicos aplicados en los aceros.**

Material	Tratamiento Térmico	Aplicación
AISI 4140	Temple (830°C - 850°C), enfriamiento en aceite. Revenido (500°C - 700°C) ,tiempo de mantenimiento de temperatura es de 2 horas	Ejes, bielas, cigüeñales, arboles de transmisión
AISI 4340	Temple (830°C - 850°C), enfriamiento en aceite. Revenido(500°C - 700°C) ,tiempo de mantenimiento de temperatura es de 2 horas	Ejes , cardanes, y tornillería de alta resistencia
AISI 1018	Temple en agua(760°C - 810°C) Temple en aceite(790°C - 830°C) Revenido(550°C - 650°C) Cementación(880 °C- 950°C) Dureza obtenible: Capa cementada: 55HRC- 58 HRC Núcleo: 20HRC -25HRC	Pernos, chavetas, piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
AISI 1045	Recocido (650 °C - 700°C) y enfriamiento en el horno. Temple en agua o en aceite , dureza obtenible 54HRC – 56 HRC	Arboles de transmisión, ejes , tuercas, pines de sujeción , pasadores cuñas y chavetas

Anexo 2**Medidas Rockwell (HRC): Dureza inicial y final obtenida después de los tratamientos térmicos**

Material	Dureza Inicial	Tratamiento Térmico aplicado	Dureza final
AISI 4140	35	Temple en aceite (220°C)	48
		Temple en salmuera (20°C)	58
AISI 4340	37	Temple en aceite (220°C)	46
		Temple en salmuera (20°C)	54
AISI 1045	22	Temple en agua (20 °C)	45
		Revenido(2 horas)	32
AISI 1018	18	Cementado en coque (920°C)	54
		Cementado en sales	40

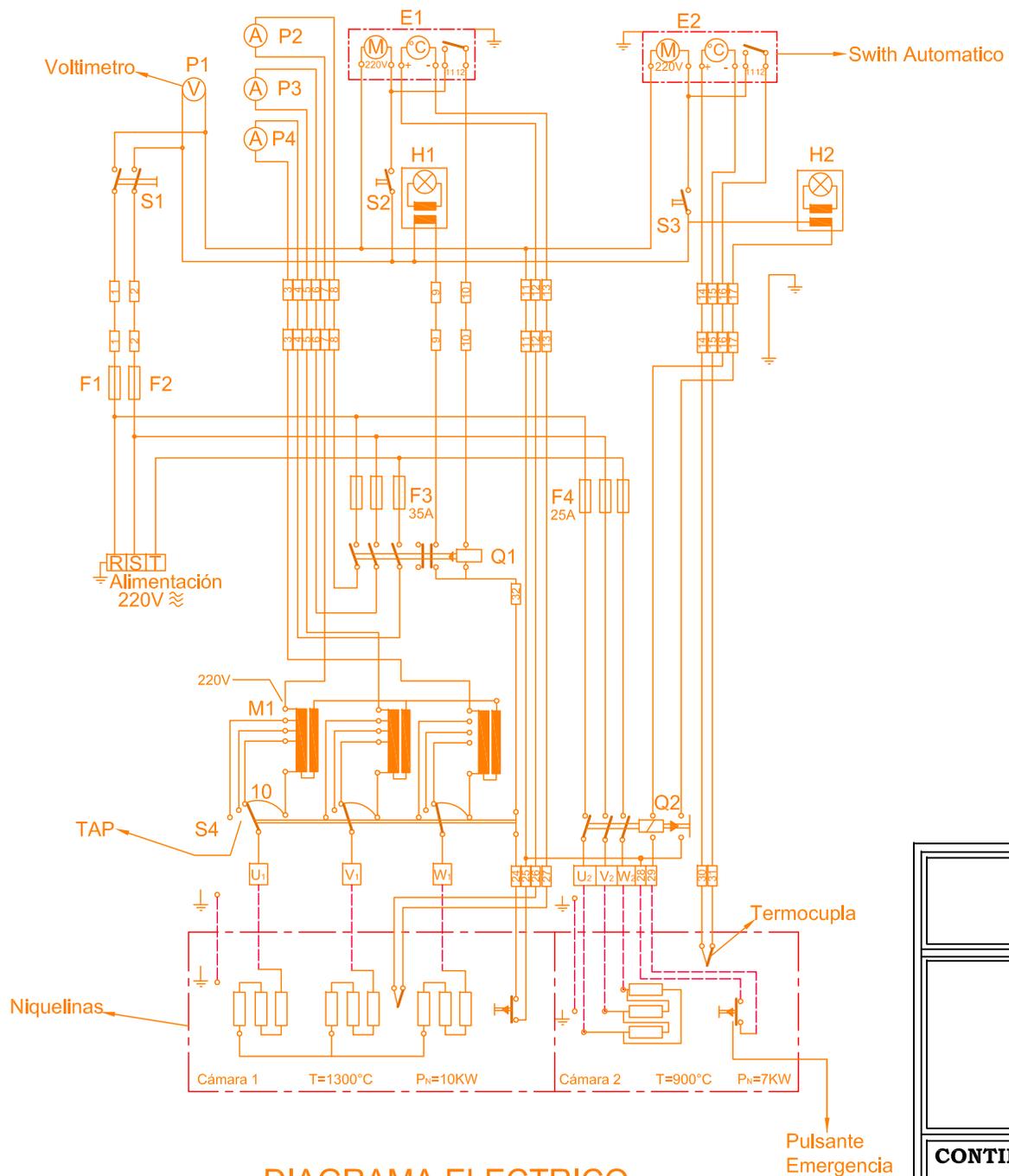
Anexo 3

Tablas de conversión de los distintos tipos de dureza

Brinell	Rockwell		Vickers
HB	HRB	HRC	HV
80	36.4		8
85	42.4		85
90	47.4		90
95	52.0		95
100	56.4		100
105	60.0		105
110	63.4		110
115	65.4		115
120	69.4		120
125	72.0		125
130	74.4		130
135	76.4		135
140	78.4		140
145	80.4		145
150	82.2		150
155	83.8		155
160	85.4		160
165	85.8		165
170	88.2		170
175	89.6		175
180	90.8		180
185	91.8		185
190	200		190
195	94.0		195
200	95.0		200
205	95.8		205
210	96.6		210
215	97.6		215
220	98.2		220
225	99.0		225
230		19.2	230
235		20.2	235
240		21.2	240
245		22.1	245
250		23.0	250

Brinell	Rockwell		Vickers
HB	HRB	HRC	HV
255		23.8	255
260		24.6	260
265		25.4	265
270		26.2	270
275		26.9	275
280		27.6	280
285		28.3	285
290		29.0	290
295		29.6	295
300		30.0	300
310		31.5	310
320		32.7	320
330		33.8	330
340		34.9	340
350		36.0	350
395		37.0	360
368		38.0	370
376		38.9	380
385		39.8	390
392		40.7	400
400		41.5	410
408		42.4	420
415		43.2	430
423		44.0	440
430		44.8	450
		45.5	460
		46.3	470
		47.0	480
		47.7	490
		48.8	500
		49.0	510
		49.8	520
		50.3	530
		50.9	540
		51.5	550

Brinell	Rockwell		Vickers
HB	HRB	HRC	HV
		52.1	560
		52.7	570
		53.3	580
		53.8	590
		54.4	600
		54.9	610
		55.4	620
		55.9	630
		56.4	640
		56.9	650
		57.4	660
		57.9	670
		58.4	680
		58.9	690
		59.3	700
		60.2	720
		61.1	740
		61.9	760
		62.7	780
		63.5	800
		64.3	820
		65.0	840
		65.7	860
		66.3	880
		66.9	900
		67.5	920
		68	940



SIMBOLOGIA	
E1	Pirometro 1
E2	Pirometro 2
F1	Fusibles
F2	Fusibles
F3	Fusibles
F4	Fusibles
H1	Focos de
H2	Señalización
M1	Transformador Trifasico
P2	Amperimetro
P3	Amperimetro
P4	Amperimetro
Q1	Contactores
Q2	Trifasicos
S1	Selectores
S2	Selectores
S3	Selectores
S4	TAP
T	Temperatura
P _N	Potencia

DIAGRAMA ELECTRICO

**DIAGRAMA ELECTRICO
DE HORNO TIPO MUFLA**

**UNIVERSIDAD
DEL
AZUAY**

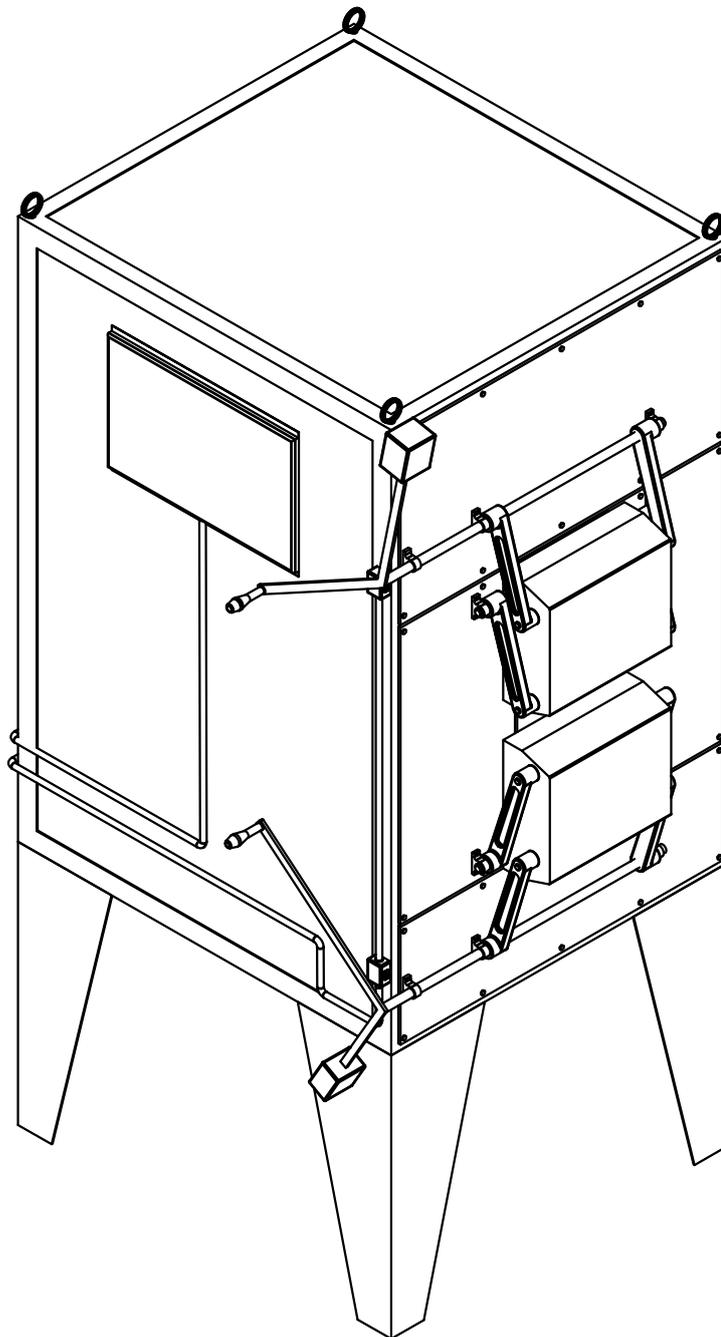
DIS. TORRES - OJEDA
DIB.
REV. ING. HERNAN VITERI C.
INGENIERIA AUTOMOTRIZ

CONTIENE:

- DIAGRAMA ELECTRICO
- SIMBOLOGIA

DICIEMBRE 2010

ANEXO 4



Realizado por: *OJEDA MARLON, CARLOS TORRES*

Curso: *Ingeniería Mecánica Automotriz*

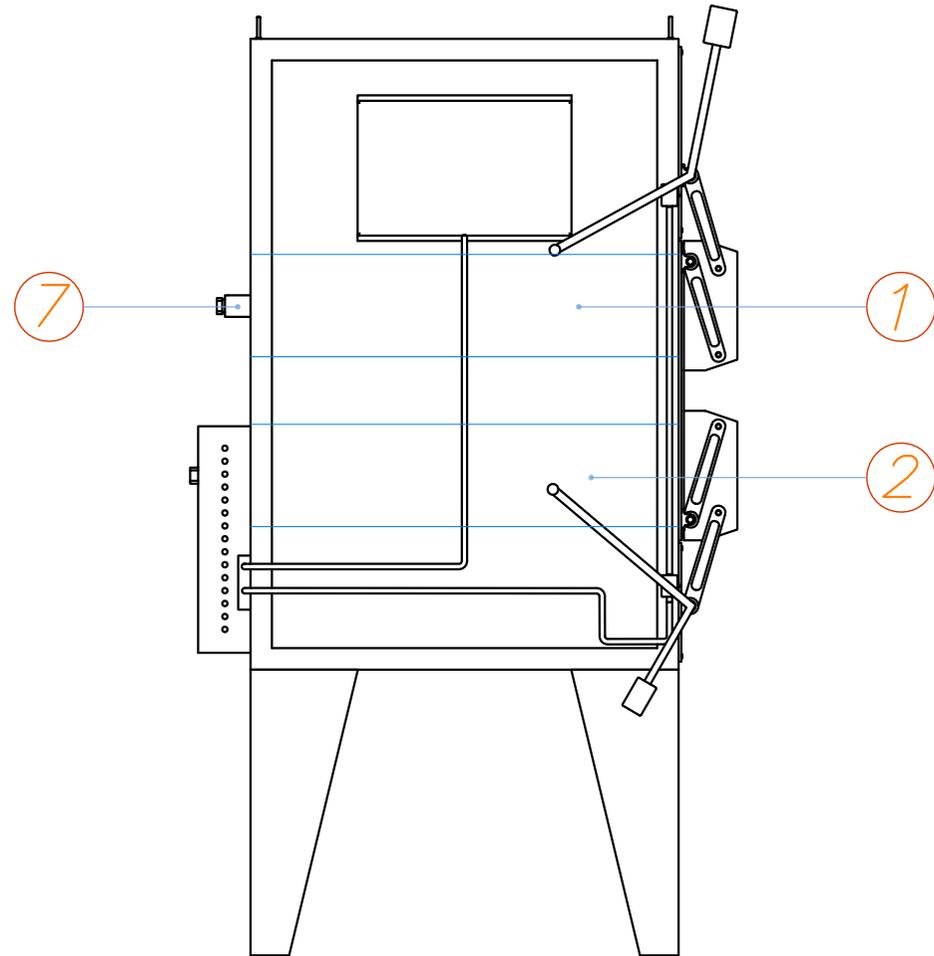
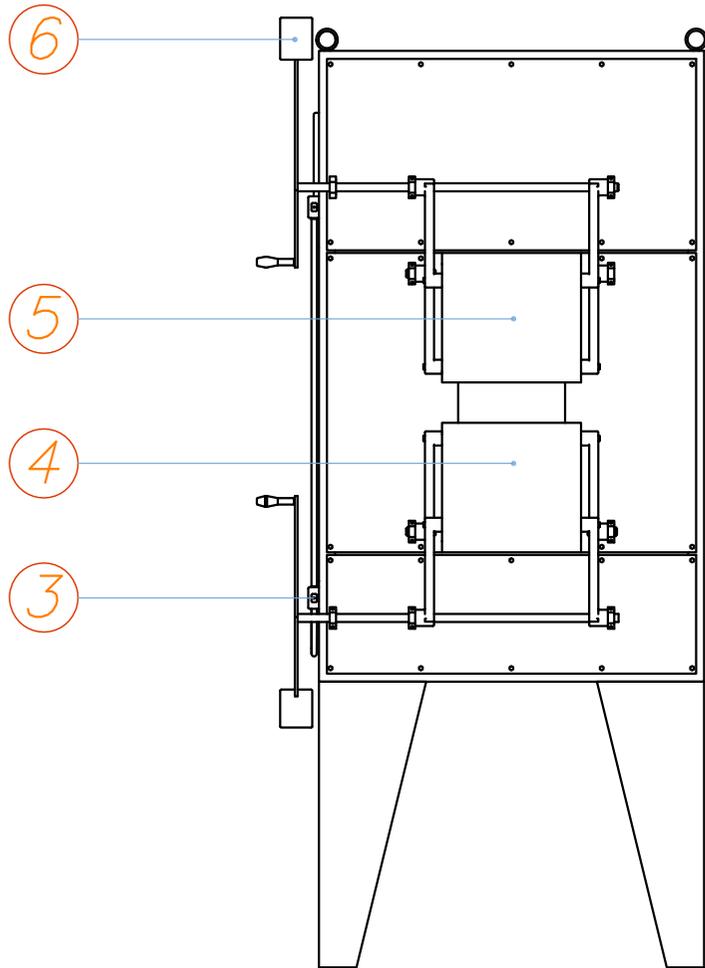
UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Escala: *1:10*

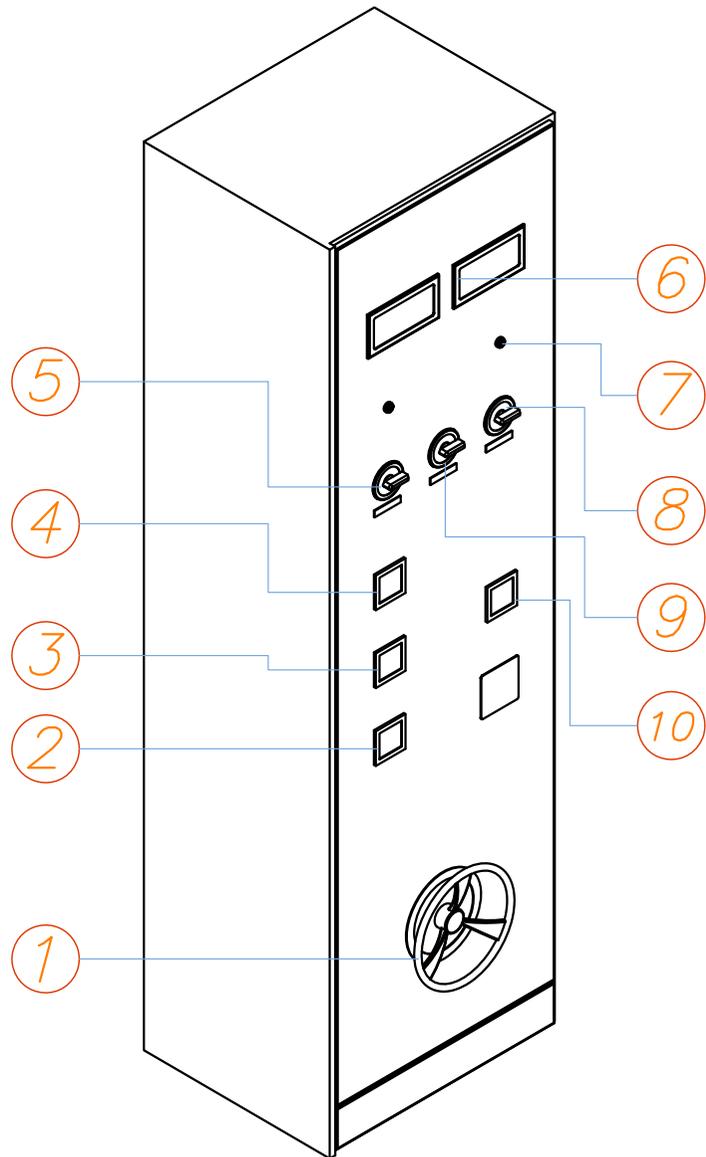
Conjunto: *Horno*

Anexo *5*

Lámina



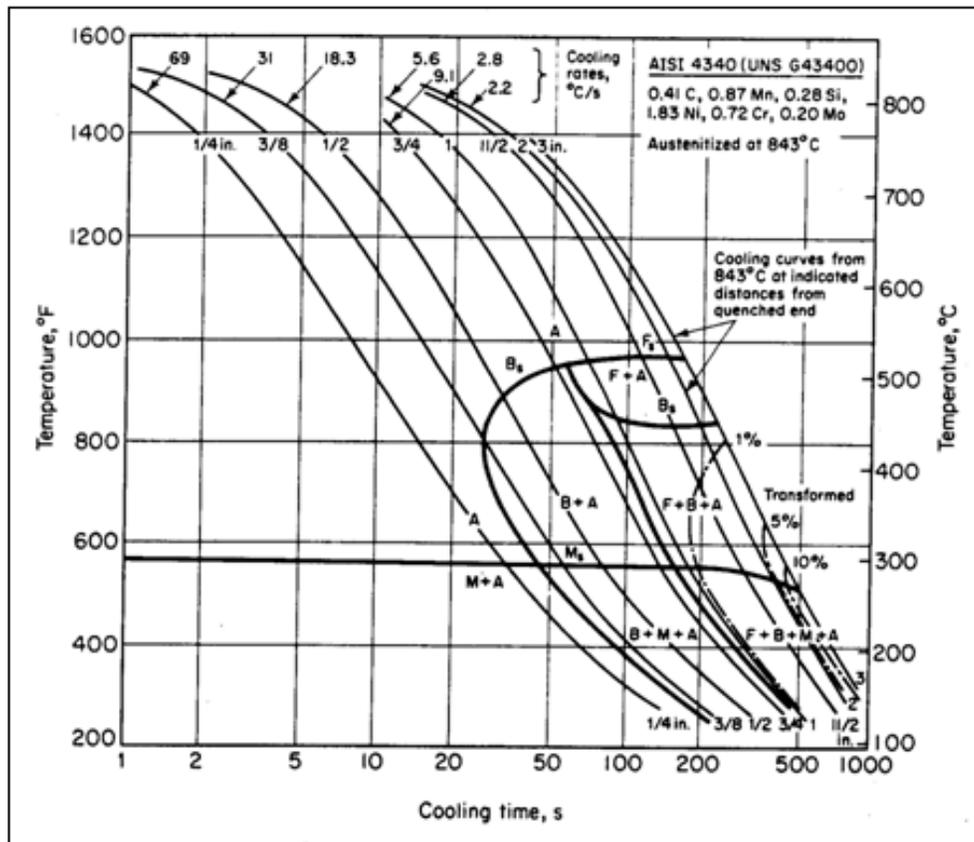
7	2	Termocuplas	
6	2	Contrapeso	
5	1	Compuerta camara A	
4	1	Compuerta camara B	
3	2	Interruptor apertura puerta	
2	1	Camara térmica B	
1	1	Camara térmica A	
Pos.	Cant.	Descripción	Material
Realizado por:		OJEDA MARLON, CARLOS TORRES	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Curso:		Ingeniería Mecánica Automotriz	
Escala: 1:10		Conjunto: Horno	
		Anexo 6	Lámina



10	1	Voltímetro	
9	1	Interruptor	
8	1	Interruptor cámara A	
7	2	Luces testigos	
6	2	Pirómetros	
5	1	Interruptor cámara B	
4	1	Amperímetro A	
3	1	Amperímetro A	
2	1	Amperímetro B	
1	1	Regulador intensidad	
Pos.	Cant.	Descripción	Material
Realizado por:		OJEDA MARLON, CARLOS TORRES	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Curso:		Ingeniería Mecánica Automotriz	
Escala: 1:10		Conjunto: Bloque eléctrico	
		Anexo 7	Lámina

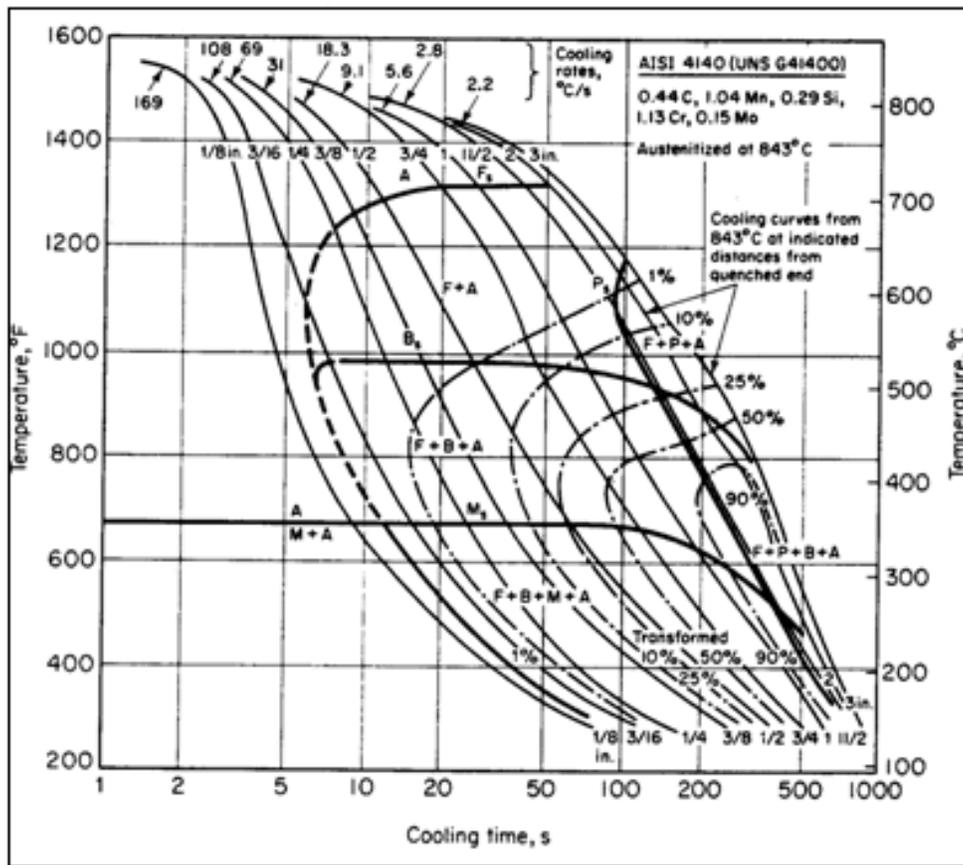
ANEXO 8

Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 4340.



ANEXO 9

Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 4140



ANEXO 10

Diagrama de enfriamiento continuo para un acero AISI 1045.

