

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Fundada en 1968 Decreto Ley N° 17358



**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**

FACULTA DE INGENIERIA QUIMICA y METALURGICA

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGINIERO METALURGICO**

TITULO:

**“PROBLEMAS EN LA FUNDICIÓN DEL ACERO Y SUS SOLUCIONES EN
FUNDICION WAYRAS S.A.C.”**

AUTORES:

➤ **NORABUENA ESTACIÓN CHRISTIAN EMERSON**

ASESOR:

Ing. ZVALETA SOTELO DALILA INOCENTA

HUACHO – PERU

2016

DEDICATORIA

La presente Investigación se lo dedico con mucho cariño a mis padres, por su apoyo y comprensión, por el esfuerzo que hicieron para brindarme una carrera profesional y por sus sabios consejos en el momento oportuno.

AGRADECIMIENTO

Debo fundamentalmente la realización de esta investigación al Ing. Ulises Quintana, quien ha sabido transmitirme su responsabilidad por hacer bien las cosas y me ha brindado su sabiduría, ánimo y apoyo.

Agradezco la ayuda de todos mis docentes, quienes me han proporcionado su asesoramiento y colaboración en la parte experimental de esta investigación, así como también al Ing. Luis Arenas Lozada, Gerente General de la Empresa.

INDICE

Caratula	01
Dedicatoria.	02
Agradecimiento.	03
Introducción.	04

Capitulo I **Generalidades**

1.1. Objetivos.	11
1.1.1. Objetivos Generales	11
1.1.2. Objetivos Específicos.	11
1.2. Importancia.	11
1.3. Alcances y Limitaciones.	12
1.4. Resumen.	12

Capitulo II **Empresa Fundición Wayras S.A.C**

2.1 Antecedentes.	13
2.2 Estructura Organizacional.	13
2.2.1 Organización de la Empresa.	13
2.2.2 Organigrama.	15
2.3 Visión y Misión.	16
2.3.1 Misión.	16
2.3.2 Visión.	16
2.4 Productos.	17
2.4.1 Industria Minera.	17
2.4.2 Fundición, Refinación y Otros.	20
2.4.3 Industria del Cemento.	21
2.4.4 Industria Hidroeléctrica.	22
2.4.5 Aleaciones.	22
2.5 Proceso Productivo.	23
2.5.1 Descripción del Proceso de Fundición.	23
2.5.1.1 Área de Investigación, Ingeniería de Diseño.	24
2.5.1.2 Área de Modelaría	24
2.5.1.3 Área de Moldeo	24
2.5.1.4 Área de Fundición	26
2.5.1.5 Área de Acabado y Tratamiento Térmico	26

2.5.1.6 Área de Maestranza	28
2.5.2 Control de Calidad	28
2.5.2.1 Área de Control de Calidad.	28
2.5.3 Aspectos Técnicos del proceso Productivo.	29
2.5.3.1 Balance de Carga.	29
2.5.3.2 Balance para Chatarra	31
2.5.3.3 Balance General.	32

Capitulo III

Proceso de la planta

3.1 Descripción del Plan de Trabajo.	33
3.1.1 Diagrama de Gantt de las Actividades Realizadas.	34
3.1.2 Descripción del Trabajo Desarrollado.	35
3.1.2.1 Reconocimiento de Planta.	35
3.1.2.2 Construcción Diagrama de Flujo Planta.	37
3.1.2.3 Balance de Carga Alimentación.	38
3.1.2.4 Preparación de Modelos.	43
3.1.2.5 Diseño de Colada.	44
3.1.2.6 Preparación de Moldes.	46
3.1.2.7 Fundición y Colada.	49
3.1.2.8 Acabado.	50
3.1.2.9 Tratamiento Térmico.	52
3.1.2.10 Análisis de Microestructura.	54
3.1.2.11 Análisis de Ensayo de dureza.	57
3.1.2.12 Análisis No Destructivo.	58
3.1.2.13 Mecanizado.	59
3.1.2.14 Control de Calidad.	60
3.1.2.15 Despacho.	61
3.2 Situación Actual y Problemática en el Área de Trabajo Asignado	61
3.3 Apreciación Crítica Técnico Organizacional.	61

Capitulo IV

Eficiencia de Tratamiento Térmico Normalizado de Piezas de Acero SAE 1045

4.1 Formulación del Problema.	62
4.2 Premisa.	62
4.3 Objetivos.	62
4.3.1 Objetivos Generales.	62
4.3.2 Objetivos Específicos.	62

4.4 Marco Teórico.	
4.4.1 Acero ISI-SAE 1045(UNS G10450).	63
4.4.2 Normas Involucradas ASTM A108.	63
4.4.3 Naturaleza Física y Química del Acero.	64
4.4.4 Microestructura.	66
4.4.5 Diagrama de Fases del Acero.	67
4.4.6 Tratamientos Térmicos.	69
4.4.7 Características.	72
4.4.8 Tipos de Tratamientos.	72
4.4.9 Desarrollo de los Tratamientos Térmicos.	73
4.4.10 Calentamiento hasta la Temperatura Máxima.	73
4.4.11 Permanecía al Temperatura Máxima.	73
4.4.12 Enfriamiento desde la Temperatura Máxima hasta la Temperatura Ambiente.	74
4.4.13 Hornos Utilizados para los Tratamientos Térmicos.	74
4.4.14 Hornos para Temples Recocidos.	75
4.4.15 Enfriamiento o Calentamiento del Acero.	75
4.4.16 Temple y Revenido.	77
4.4.17 Primera Fase del Temple el Calentamiento.	79
4.4.18 Segunda Fase del Temple el enfriamiento.	80
4.4.19 Velocidad Crítica del Temple.	80
4.4.20 Factores que Influyen en la Práctica del Temple.	81
4.4.21 Influencia del Tamaño de las Piezas	81
4.4.22 Influencia de la Composición.	82
4.4.23 Influencia del Tamaño del Grano.	84
4.4.24 Influencia del Medio de Enfriamiento.	85
4.4.25 Recocido.	85
4.4.26 Normalización.	86
4.4.27 Características.	88
4.4.28 Normalizado de Acero Sobrecalentamiento.	89
4.4.29 Enfriamiento del normalizado.	89
4.5 Materiales y Métodos.	90
4.5.1 Materiales.	90
4.5.2 Métodos.	92
4.6 Resultados.	94
4.7 Discusión y Análisis de Resultados.	98

Conclusiones.	100
Recomendaciones.	101
Bibliografía.	102
Anexos.	103

INTRODUCCION

La Empresa Fundición Wayras S.A.C., está dedicada a la producción de piezas y equipos para la Minería, Equipos de Concentración, Chancado, Molienda, Equipos de Extracción, Cementeras, Hidroeléctricas, Fundición y Refinería en las aleaciones como: Fierro Fundido Gris, Fierro Fundido Nodular, Fierro Fundido Blanco, Aceros Inoxidables, Aceros al Manganeso, Aceros al Carbono, Aceros al Carbono Aleados, Aceros Refractarios.

La Empresa Fundición Wayras S.A.C. tiene una producción promedio de 40 toneladas en peso de piezas fundidas al mes, lo que hace un total de 480 toneladas al año, la empresa cuenta con oficinas, talleres, almacenes, laboratorio metalúrgico y demás instalaciones auxiliares.

La planta cuenta con un equipo humano altamente calificado, los que hacen de Wayras una empresa competitiva dentro del mercado de la fundición de aleación ferrosas, con planes futuros en ingresar también el mercado de la fundición de aleaciones no ferrosas.

PALABRAS CLAVES; Aceros de herramientas, Aceros inoxidables Y Tratamientos Térmicos. Acero, Aceros al carbono, Aceros aleados, Aceros de baja aleación ultrarresistentes,

INTRODUCTION

The Company Fundición Wayras SAC, is dedicated to the production of pieces and equipment for Mining, Concentration Equipment, Crushing, Grinding, Extraction Equipment, Cement, Hydroelectric, Foundry and Refinery in alloys such as: Gray Cast Iron, Nodular Cast Iron , White Cast Iron, Stainless Steels, Manganese Steels, Carbon Steels, Carbon Alloy Steels, Refractory Steels.

The Company Fundición Wayras S.A.C. has an average production of 40 tons by weight of castings per month, which makes a total of 480 tons per year, the company has offices, workshops, warehouses, metallurgical laboratory and other auxiliary facilities.

The plant has a highly qualified human team, which makes Wayras a competitive company in the ferrous alloy foundry market, with future plans to also enter the non-ferrous alloy foundry market.

KEYWORDS; Steel, Carbon steels, Alloy steels, Ultra-resistant low-alloy steels, Tool steels, Stainless steels and Heat Treatments.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- El objetivo del presente informe es dar a conocer la experiencia adquirida durante mis Practicas Pre-Profesionales en la Empresa Fundición Wayras S.A.C. ya que esta será de alguna manera beneficiosa para el conocimiento de los estudiantes de la escuela.
- Realizar un tratamiento térmico eficiente a fin de obtener piezas con una dureza adecuada para facilitar el mecanizado de las mismas.

1.1.2 Objetivos Especificos

- Realizar el tratamiento térmico de la mejor manera a fin de obtener Conocer el tipo de piezas a trabajar.
- Preparar la superficie de las probetas a analizar.
- Análisis metalográfico

1.2. IMPORTANCIA:

La presente investigación es importante porque demuestra que siempre se debe tener conocimiento del cumplimiento de los objetivos de los procesos que se llevan a cabo en planta, como el Tratamiento Térmico, uno de los procesos más importantes e indispensables de una fundición, cuya eficiencia se puede medir mediante los ensayos de dureza, metalografía, etc, para el control de la calidad de las piezas.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.

El Área de Acabados de la Empresa Fundición Wayras S.A.C., cuenta con un Horno para Tratamientos Térmicos de 800kg de capacidad, en donde serán tratadas nuestras muestras de estudio.

El laboratorio Metalúrgico de la Empresa Fundición Wayras S.A.C., cuenta con un Microscopio que facilitara el desarrollo de nuestra investigación.

1.4. RESUMEN.

El presente trabajo entregado debe de ser tomada para uso de fines académicos y/o como fuente de consulta para enriquecer el conocimiento de los alumnos de la facultad quienes acceden a la información.

El proceso que se desarrolla se cita desde el ingreso de la materia prima como chatarra, aleantes, uso de equipos propios de la producción será explicada de manera detallada en los posteriores capítulos.

Para la obtención de la pieza final se necesitaron de diversos parámetros como: Tipo de material a fundir, fabricación y la sobredimensión del modelo, tipo y diseño del molde, tiempo de solidificación.

Así mismo considerar a los protagonistas de este desarrollo que son los Operarios que hacen posible este Informe mostrando las bondades en la fabricación del acero como pieza útil en la industria en las diversas áreas.

Esta investigación consta de 5 capítulos que se desarrolla de acuerdo las normas establecidos por la facultad. Donde se detalla una generalidad de la investigación, seguida por descripción de la planta y su proceso, trabajo realizado de acuerdo la programación de la planta, a continuación un trabajo de aporte al conocimiento y por ultimo un conclusión, recomendaciones, bibliografía y su anexo.

El autor.

CAPITULO II

EMPRESA FUNDICIÓN WAYRAS S.A.C

2.1 ANTECEDENTES.

Empresa peruana fundada el 01 junio del 2006, está especializada en la fabricación de bombas, repuestos y piezas para la industria: MINERA, PETROLERA, GASIFERA Y OTRAS, en diferentes aleaciones como: Fierro Fundido Gris, Fierro Fundido Nodular, Aceros Inoxidables, Acero Inoxidable Duplex Nitrogenado, Acero al manganeso, Aceros al carbono de baja, mediana y alta aleación, VCN, VCL, TA1, Cromo Molibdeno, Alto Cromo, etc. Mediante el moldeo en resina y arena aglomerada por procedimientos químicos y tecnología de avanzada, utilizando para la fusión 2 modernos hornos eléctricos de inducción de 1.3 TM cada uno.

2.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.

2.2.1 ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA.

<i>DESCRIPCION</i>	<i>OCUPACION</i>	<i>CANTIDAD</i>
GERENCIA ADMINISTRACION GENERAL	GERENTE GENERAL	1
	GERENTE DE OPERACIONES	1
	DEPARTAMENTO DE VENTAS	2
	ADMINISTRADOR	1
	CONTABILIDAD	1
	SECRETARIA	1
PLANTA	JEFE DE PLANTA	1
	JEFE DE PLANEAMIENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCION	1
	SUPERVISOR DE AREA	3
	ALMACEN	1

TECNICOS Y OBREROS	MODELERIA	2
	MOLDEO - ALMAS	10
	TAPADO	3
	FUNDICION - COLADA	2
	ACABADOS	9
	MANTENIMIENTO	2
	VIGILANCIA	2
	LIMPIEZA	1
TOTAL		44

2.2.2 ORGANIGRAMA

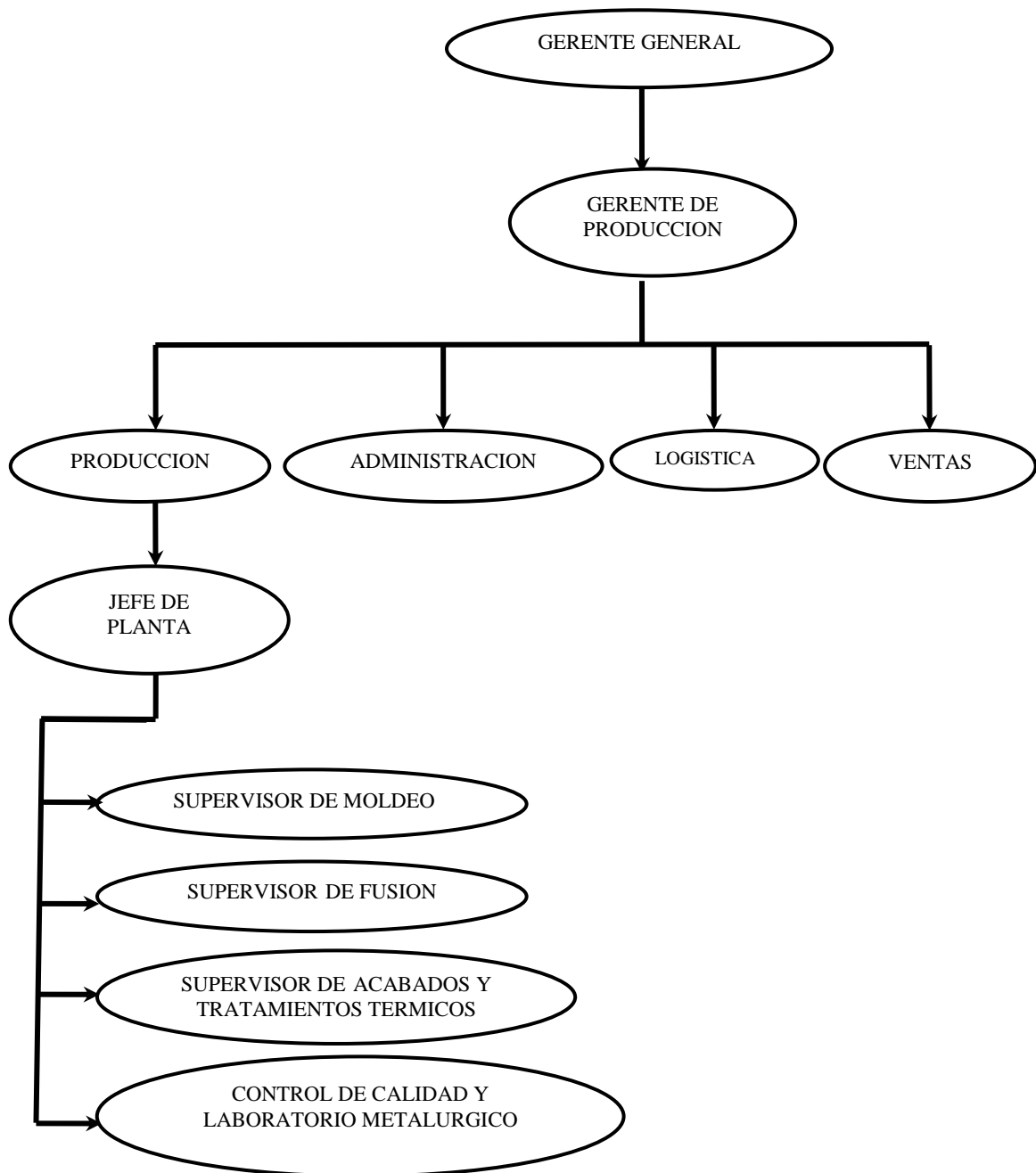


Fig. N° 2-1: Organigrama de la empresa

2.3 VISION Y MISION.

2.3.1 Misión.

Estamos abocados a maximizar las exigencias de nuestros clientes en términos de calidad, servicio y oportunidad.

Con nuestros empleados nos obligamos a mantener un ambiente de trabajo seguro y adecuado, con una remuneración justa y capacitación constante.

Cumplimos puntualmente con nuestras obligaciones tributarias y en equilibrio con el medio ambiente, dentro de la ley.

Con nuestros proveedores, establecemos relaciones de mutuo beneficio, que permiten un crecimiento conjunto.

2.3.2 Visión

Queremos ser líderes en el suministro de bombas y piezas fundidas con la mejor calidad del mercado internacional.

Queremos ser los líderes de la innovación a través de investigación, para la simplificación y mejora continua en la calidad de nuestros productos.

Queremos proporcionar soluciones integrales a nuestros clientes, maximizando rendimientos y minimizando las horas improductivas.

Empleamos tecnología de punta y un sistema de gestión de calidad, que trabaja en cada uno de sus procesos productivos bajo la norma ISO 9001 y compañías de Inspección Homologado, contando con un plantel de ingenieros y técnicos para la producción y asesorías diversas.

2.4 PRODUCTOS.

La gama de productos que se fabrica en la empresa esta orientada a la minería, petrolera, gasífera y otras como se describe a continuación:

2.4.1 INDUSTRIA MINERA.

A. BOMBAS CENTRÍFUGAS DE LODO.



Fig. N° 2-2: Bomba centrífuga.

a. Repuestos para bombas centrífugas de lodo.

Resistentes a la abrasión y corrosión, disponemos de la capacidad para fabricar todo tipo de Repuestos para Bombas Centrífugas de Lodo, tales como:

- Impulsores
- Carcasas
- Plato Seguidor
- Anillo Protector de Marco
- Anillo Dado
- Plato de Succión
- Laina de Tapa de Alimentación



Fig. N° 2-3:pieza de bombas

Estas bombas están diseñadas para transporte de pulpa abrasivas en la Industria Minera, con alta eficiencia y bajo costo. Tamaños variables desde 1.1/2x1.1/4 hasta 10x8.

Ventajas:

1. Mantenimiento fácil a bajo costo.
2. Construcción sencilla y robusta.
3. Conexión directa al motor



Fig. N° 2-4: bombas para transporte de pulpa

Características:

- Caudales desde 50 GPM- 2500 GPM.
- Alimentación de 30-70% de sólidos.
- Impulsor con alma de hierro fundido nodular con revestimiento de caucho natural antiabrasivo.

B. EXTRACCIÓN

- a. Adaptadores, puntas, cantoneras para palas.



Fig. N° 2-5: Piezas de palas

- b. Ruedas para carros mineros U-35, V-40 Gramby 80.

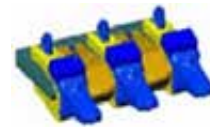


Fig. N° 2-6: ruedas de carros minero

- c. Dientes y sus partes para palas.



d. Zapatas de oruga para palas perforadoras.



e. Polines para oruga de palas perforadoras.



f. Cremalleras.



g. Rastras, labios y cuchillas.



Fig. N° 2-7: Piezas fundidas para la industria

C. CONCENTRADORAS

a. Forros para chancadoras giratorias.

b. Forros para chancadoras de quijadas.

c. Forros para chancadoras de rodillos.

d. Forros para parrillas clasificadoras.

e. Forros para transportar bateas.

f. Forros para molinos de descarga libre y por parrilla.

g. Placas de desgaste.

h. Parrillas para zaranda vibratoria.

i. Bolas fundidas de acero para molienda de minerales.

j. Muñones y tapas para molino.

k. Catalinas para molinos.

l. Alimentadores para molinos.

m. Zapatas para clasificadoras.

n. Bowl Liners, mantles, para chancadoras cónicas.

o. Muelas, placas laterales, toggles.



Fig. N° 2-8: Chaquetas y forros para molino y chancadora

D. MOLIENDA



Fig. N° 2-9: 1 Chancadora



Fig. N° 2-9: 2 Chancadora de Quijada



Fig. N° 2-9: 3 Molino de Bolas



Fig. N° 2-10: 4 Zaranda



Fig. N° 2-11: 5 Molino de Martillo

2.4.2 FUNDICIÓN, REFINERÍA Y OTROS

- a. Ollas, cucharas, moldeos y lingoteras.
- b. Forros para ductos de convertidores.
- c. Marcos, forros, labios, para bocas de convertidores y otras piezas para convertidores.
- d. Partes y piezas para tostadores.
- e. Quemadores y otros.
- f. Partes y piezas para maquinaria de tostación (Rable teeht).
- g. Ruedas, bridas, engranajes, eslabones y parrillas.
- h. Bombas de vacío en acero inoxidable.



Fig. N° 2-12: Bombas de acero inoxidable

i. Winches.



Fig. N° 2-13:winches

2.4.3 INDUSTRIA DEL CEMENTO.

TRITURACION DE CALIZA Y CLINKER en aceros al manganeso, en aceros de alto cromo, resistentes al impacto y abrasión.

- a. Placas de enfriamiento de clinker con agujero.
- b. Martillos para triturar.
- c. Forros para trituradoras.
- d. Barras y parrillas de impacto para trituradoras.



Fig. N° 2-14: Piezas para la industria cemento.

MOLIENDA DE CRUDO Y CEMENTO producidos en aleaciones de acero y hierro de alto contenido de cromo tratados térmicamente, con gran resistencia al impacto y abrasión.

- Forros levantadores para primera Cámara.
- Forros clasificadores para segunda y tercera Cámara.
- Tabiques intermedios y de salidas regulables, sus parrillas y placas ciegas.
- Tabiques regulares intermedios y de salida.
- Parrillas y placas ciegas.

2.4.4 INDUSTRIA HIDROELÉCTRICA.

Rodetes o turbinas: Pelton, Kaplan, Francis.



Fig. N° 2-15: Tapa de Turbina.



Fig. N° 2-16: Mecanizado de caracol pre distribuidor de carga de turbina hidroeléctrica.



Fig. N° 2-17: Muñón corta prensa (industria papelera)



Fig. N° 2-18: Subconjunto de tapa inferior de turbina



Fig. N° 2-19: Rodete de Turbina

2.4.5 ALEACIONES.

- Fierro Fundido Gris
- Fierro Fundido Nodular
- Fierro Fundido Blanco
- Aceros Inoxidables
- Aceros al Manganeso
- Aceros al Carbono
- Aceros al Carbono Aleados
- Aceros Refractarios

PROCESO PRODUCTIVO.

2.4.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FUNDICIÓN.

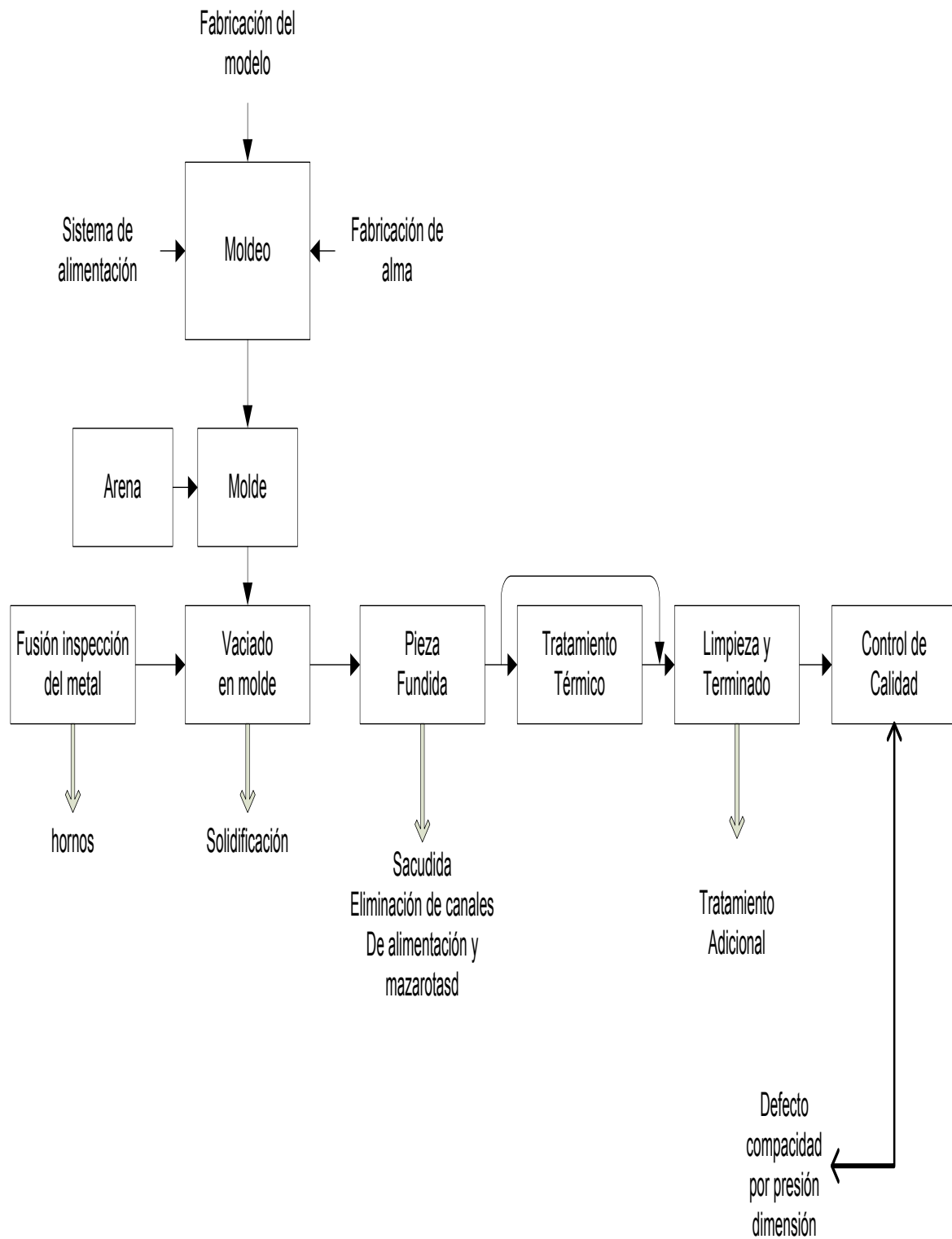


Fig. N° 2-20: Proceso de Fundición

2.5.1.1 ÁREA DE INVESTIGACIÓN, INGENIERÍA Y DISEÑO.

A través de nuestro programa analizamos la geometría de la pieza, con visualización tridimensional, y diseñamos el plano hasta llevarlo en maqueta y empleamos un software de última tecnología para el vaciado y solidificación de la pieza, obteniendo piezas libre de defectos.

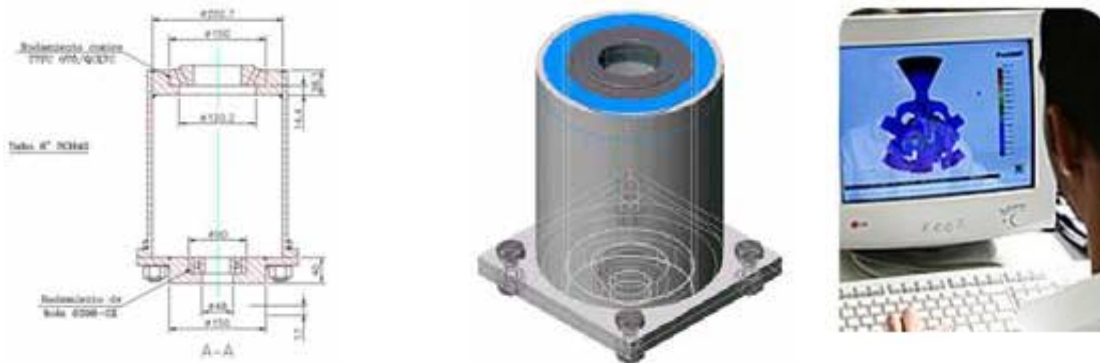


Fig. N° 2-21: Diseño de piezas por computadora

2.5.1.2 ÁREA DE MODELERÍA.

Para la formación de cajas de alma y modelos hechos de madera y resina contamos con maquinarias como: Torno de madera, Lijadora de Banco con grado de inclinación, galopa o cepilló, sierra circular, sierra cinta y herramientas diversas.



Fig. N° 2-22: proceso de preparación de modelo

2.5.1.3 ÁREA DE MOLDEO.

Moldeamos piezas con dimensiones variadas, obteniendo excelentes acabados superficiales, usando maquinarias como: Gaseadora, Mezcladora continua de arena, Recuperadora de arena, Batidora de pintura, Sopladora neumática para hacer alma, Mezcladora de resina. Moldeadores altamente calificados.



Fig. N° 2-23 A: Preparación de arena



Fig. N° 2-23 B: moldeo de piezas

➤ **Almas.**

Construidos de la mezcla de arena de sílice con silicato de sodio, con secado mediante oxígeno.

2.5.1.4 ÁREA DE FUNDICIÓN.

La más moderna tecnología de fundición como es nuestros 2 HORNOS ELECTRICOS DE INDUCCIÓN con una capacidad de vaciado de 1 TM y 0.5 TM.



Fig. N° 2-24 A: horno de Inducción



Fig. N° 2-24 B: fundición de metales

2.5.1.5 ÁREA DE ACABADOS Y TRATAMIENTO TÉRMICO.

Contamos con horno eléctrico de tratamiento térmico para piezas grandes, horno a gas para piezas chicas, pozo para apagado de acero al manganeso, esmeril basculante, equipo de soldadura MIG-MAG, TIG, ARCO ELECTRICO, Oxicorte con Acetileno y oxigeno. Esmeril de banco, granalladora, etc. Los tratamientos comunes son:

1. NORMALIZADO: es uno de los tratamientos más conocidos, que se usa para afinar y homogeneizar la estructura interna de los aceros.
2. RECOCIDO: busca "ablandar" el acero para facilitar el mecanizado posterior de la pieza.
3. TEMPLE: consiste en un calentamiento a temperaturas AUSTENITICAS seguido de un enfriamiento. Con este tratamiento se consigue aumentar la dureza y la resistencia mecánica del acero. La rapidez de enfriamiento es el factor que determina la dureza utilizamos para temprar diversos medios como el agua y el aceite, aire forzado, polímeros.
4. REVENIDO: es un tratamiento complementario al temple, se recalienta la pieza a una temperatura inferior a la crítica durante cierto tiempo y luego se deja enfriar al aire tranquilo. Mediante el revenido se consigue cierta tenacidad para evitar posteriores deformaciones.



Fig. Nº 2-25: hornos de tratamiento térmico

2.5.1.6 ÁREA DE MAESTRANZA

A través del mecanizado total o parcial la pieza llega a una precisión milimétrica y contamos con la maquinaria siguiente: Torno al aire, torno paralelo, torno vertical, taladros, soldadura automática MIG-MAG-TIG, arco eléctrico, fresadoras, mandrinadoras, etc.



Fig. N° 2-26: Acabado de piezas

2.5.2 EL CONTROL DE LA CALIDAD.

2.5.2.1 ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD.

Trabajamos con un sistema de gestión de calidad, en cada uno de sus procesos productivos bajo la norma ISO 9001 y compañías de Inspección Homologado.

1. Laboratorios y equipos de calidad.
2. Análisis químico de las aleaciones. espectrómetro de emisión óptica marca espectrocast, pirómetro de lanza y termocupla.
3. Laboratorio de ensayos no destructivos. líquidos penetrantes, durómetro digital portátil, durómetro de golpe.
4. Laboratorio de arenas. durómetro de arenas, viscosímetro de resinas.
5. Pulidoras de muestras metalograficas.

6. Microscopio metalografico.



Fig. N° 2-27: Analisis de probetas

2.5.3 ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROCESO PRODUCTIVO.

2.5.3.1 BALANCE DE CARGA.

- a. Para un acero tipo SAE 1045, fabricado en un horno de inducción:

Considerar las siguientes eficiencias:

C = 92%

FeSi = 75%

FeMn = 75%

- b. Composición Requerida:

Base de Calculo = 1000kg

Tabla N° 2-1: Composición Química según SAE 1045

SAE 1045	COMPOSICION REQUERIDA %	COMPOSICION PROMEDIO %	RENDIMIENTOS
C	0.43 – 0.50	0.46	92
Si	0.30 – 0.60	0.45	94
Mn	0.50 – 0.70	0.60	92
S	0.05 max.	0.005	100
P	0.04 max.	0.004	100

c. Materias Primas a utilizar:

Base de cálculo: 1000kg

Tabla N° 2-2: Análisis química de la materia prima

MATERIAS PRIMAS	%C	%Si	%Mn	%S	%P
RETORNOS (SAE 1045)	0.45	0.55	0.60	0.004	0.004
CHATARRA (bajo C)	0.15	0.20	0.40	0.005	0.004
FeSi (Medio C)	-	75	-	-	-
FeMn Estándar	2	-	75	-	-
RECARBURANTE	90	-	-	-	-

d. Calculo de la cantidad de elementos necesarios, en función de los parámetros de fusión: Rendimientos y Tratamientos del metal líquido.

$$C = \frac{1000kg \left(\frac{0.46}{100} \right)}{\frac{92}{100}} = 5kg$$

$$S = \frac{1000kg \left(\frac{0.005}{100} \right)}{\frac{100}{100}} = 0.05kg$$

$$Si = \frac{1000kg \left(\frac{0.45}{100} \right)}{\frac{94}{100}} = 4.79kg$$

$$P = \frac{1000kg \left(\frac{0.004}{100} \right)}{\frac{100}{100}} = 0.04kg$$

$$Mn = \frac{1000kg \left(\frac{0.60}{100} \right)}{\frac{92}{100}} = 6.52kg$$

e. Calculo de la cantidad de elementos aportados por las materias primas prefijadas.

$$30\% \text{ Retornos} = 300\text{kg}$$

$$C = 300\text{kg} \left(\frac{0.45}{100} \right) = 1.35\text{kg} \quad Si = 300\text{kg} \left(\frac{0.55}{100} \right) = 1.65\text{kg} \quad Mn = 300\text{kg} \left(\frac{0.60}{100} \right) = 1.80\text{kg}$$

$$S = 300\text{kg} \left(\frac{0.004}{100} \right) = 0.012\text{kg} \quad P = 300\text{kg} \left(\frac{0.004}{100} \right) = 0.012\text{kg}$$

2.5.3.2 BALANCE PARA CHATARRA.

$$\text{Total} = \text{Chatarra} + \text{Retorno}$$

$$\text{Chatarra} = \text{Total} - \text{Retorno}$$

$$\text{Chatarra} = 1000 \text{ kg} - 300 \text{ kg}$$

$$\text{Chatarra} = 700\text{Kg}$$

a. Calculo de los elementos aportados por la Chatarra:

$$C = 700\text{kg} \left(\frac{0.15}{100} \right) = 1.05\text{kg} \quad Si = 700\text{kg} \left(\frac{0.20}{100} \right) = 1.40\text{kg} \quad Mn = 700\text{kg} \left(\frac{0.40}{100} \right) = 2.80\text{kg}$$

$$S = 700\text{kg} \left(\frac{0.005}{100} \right) = 0.035\text{kg} \quad P = 700\text{kg} \left(\frac{0.004}{100} \right) = 0.028\text{kg}$$

b. Balance de cada Elemento:

a. Balance para el C:

$$\begin{aligned} \text{Req.} &= \text{Ret.} + \text{Chat.} + \text{FeMn} + \text{Recarburante} \\ 5 &= 1.35 + 1.05 + 2.78(2/100)(92/100) + \text{Recarb.} (90/100)(92/100) \end{aligned}$$

$$5 = 2.45 + \text{Recarb.} (90/100)(92/100)$$

$$\text{Recarb.} = 3.08\text{kg}$$

b. Balance para el Si:

$$\text{Req.} = \text{Ret.} + \text{Chat.} + \text{FeSi}$$

$$4.79 = 1.65 + 1.40 + \text{FeSi} (75/100) (94/100)$$

$$4.79 = 3.05 + \text{FeSi} (75/100) (94/100)$$

$$\text{FeSi} = 2.47\text{Kg}$$

c. Balance para el Mn:

$$\text{Req.} = \text{Ret.} + \text{Chat.} + \text{FeMn}$$

$$6.52 = 1.80 + 2.80 + \text{FeMn} (75/100) (92/100)$$

$$6.52 = 4.60 + \text{FeMn} (75/100) (92/100)$$

$$\text{FeMn} = 2.78\text{Kg}$$

d. Balance para el S:

$$\text{Req.} = \text{Ret.} + \text{Chat.}$$

$$0.05 = 0.012 + 0.035$$

$$0.05 = 0.047$$

e. Balance para el P:

$$\text{Req.} = \text{Ret.} + \text{Chat.}$$

$$0.04 = 0.012 + 0.028$$

$$0.04 = 0.04$$

2.5.3.3 BALANCE GENERAL.

Tabla N° 2-3: Distribución general de carga

MATERIAS PRIMAS	Kg					
	Carga	C	Si	Mn	S	P
RETORNO	300	1.35	1.65	1.80	0.012	0.012
CHATARRA	700	1.05	1.40	2.80	0.035	0.028
RECARBURANTE	3.08	2.55	-	-	-	-
FeSi	2.47	-	1.74	-	-	-
FeMn	2.78	0.05	-	1.92	-	-
Total	1008.33	5.00	4.79	6.52	0.047	0.040

CAPITULO III

PROCESO PRODUCTIVO EN LA PLANTA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE TRABAJO.

3.1.1 DIAGRAMA DE GANTT DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

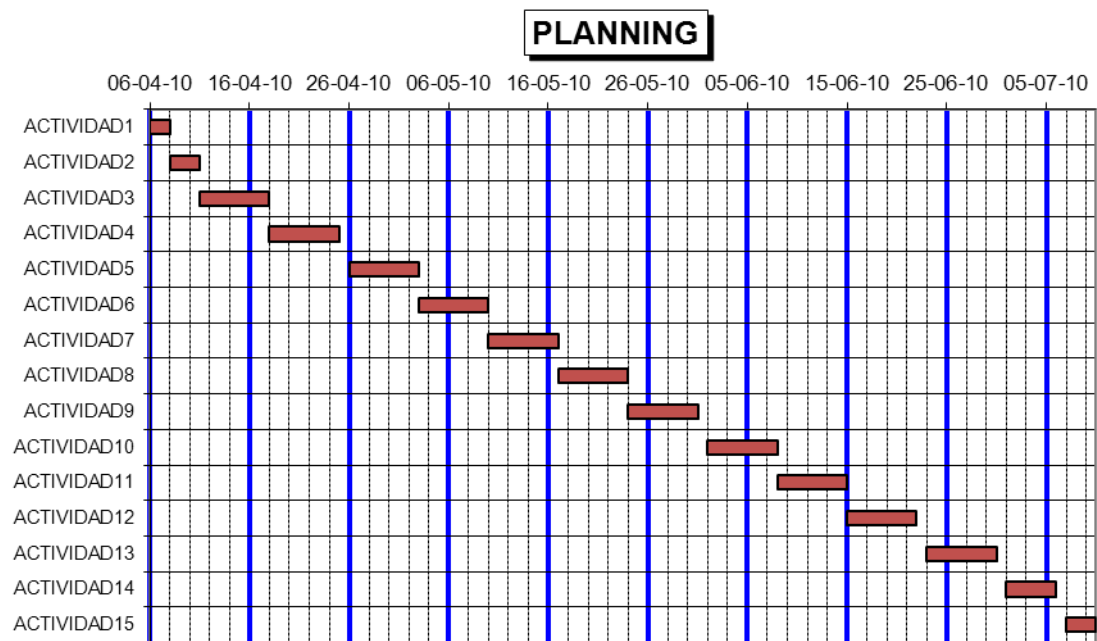


Fig. 3.1: Diagrama de Gantt Practica Pre profesionales

3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DESARROLLADO.

3.1.2.1 RECONOCIMIENTO DE PLANTA.

En los dos primeros días se realizó un reconocimiento de las operaciones de la Empresa Fundición Wayras S.A.C. donde se pudo constatar que esta está constituido por 6 áreas y 3 almacenes conformado de la siguiente manera:

a. Áreas:

Modelaría.
Moldeo y almas.
Tapado.
Fundición y Colada.
Acabados.
Laboratorio Metalúrgico.

b. Almacenes:

Almacén de Insumos.
Almacén de Modelos.
Almacén de Piezas Acabadas.

También cuenta con los siguientes equipos:

1 Mezcladora de Arena.
2 Hornos de Inducción.
1 Horno para Tratamientos Térmicos.
1 Granalladora.

La empresa Fundición Wayras SAC. es una pequeña pero prestigiosa empresa en la industria de la fundición, cuenta con un equipo humano capacitado y una tecnología cuya producción asciende a: 5 TM/D de Acero y 2 TM/D de Hierro, en sus diversas aleaciones tales como:

a. ACERO:

Aceros al carbono

Aceros de baja aleación

Aceros al Cromo Molibdeno

Aceros al Manganeso

Aceros Inoxidables

Aceros Refractarios

b. FUNDICION:

Fundición Gris

Fundición Nodular

Fundición Blanca.

3.1.2.2 CONSTRUCCIÓN DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA

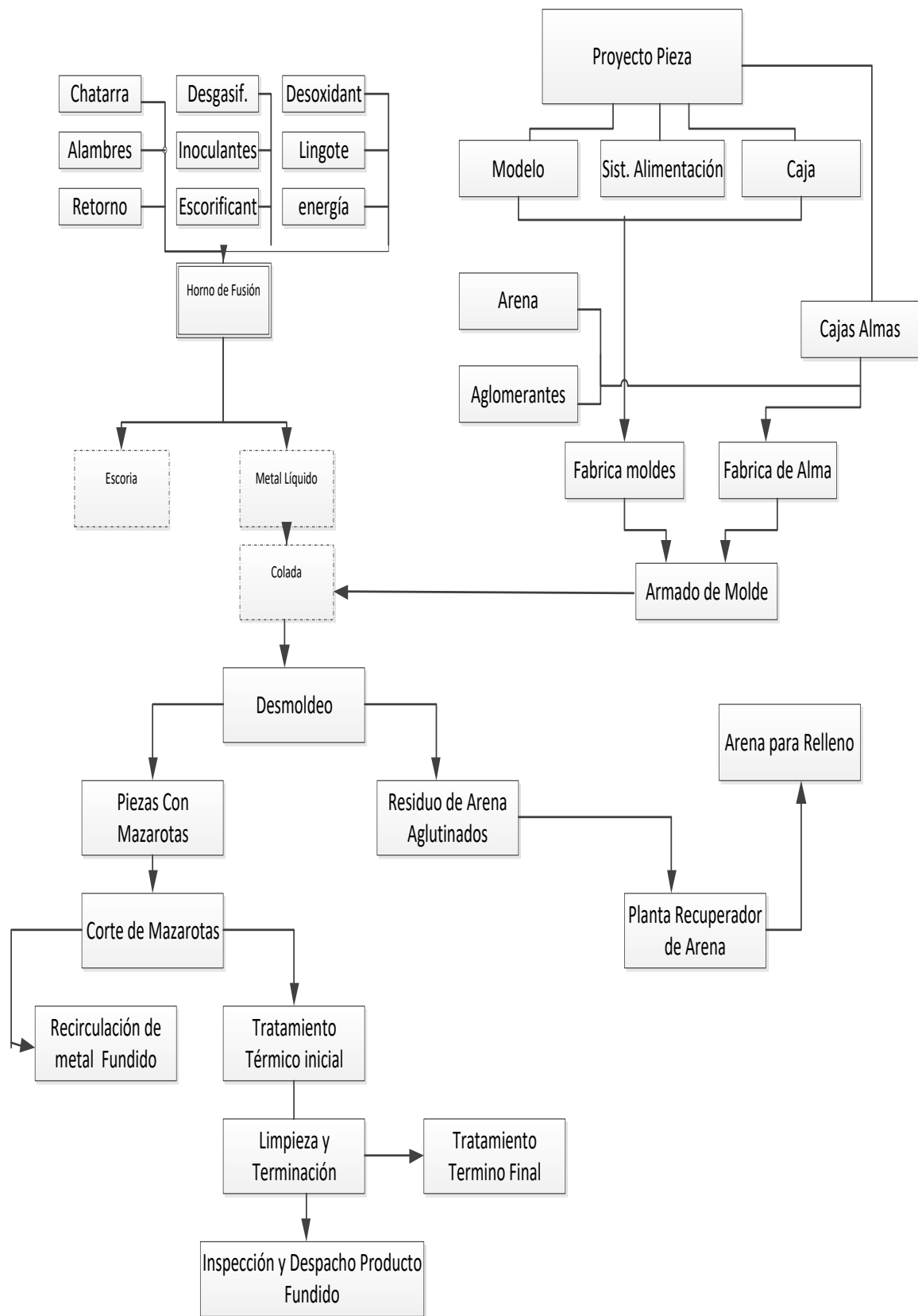


Fig. 3.2: Diagrama de Flujo de la Moldeo y Fundición.

3.1.2.3 BALANCE DE CARGA ALIMENTACIÓN.

Para realizar el balance de carga en el Horno de inducción se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Conocer el tipo de carbón y rendimiento.

Ejm:

Grafito: 95% de eficiencia.

- Conocer la composición de la chatarra.

Ejm:

Chatarra de B/C:

C = 3.3%, Si = 2.3%, Mn = 0.65%, S = 0.1%, P = 0.275%

- Conocer la composición de los retornos.

Ejm:

Retorno SAE 1045

C = 0.45%, Si = 0.50%, Mn = 0.65%, S = 0.04%, P = 0.05%

- Conocer la composición y rendimientos de los ferroaleantes a utilizar.

Ejm:

FeSi

Si = 75%, Fe = 25%

Una vez conocidos esos puntos se pueden hacer los cálculos para llegar a la composición requerida.

Ejm:

Tabla N° 3.3: Balance de Carga para un Fierro

Elemento	Composición Requerida % (~)	Composición promedio %	Rendimientos*
C	2.7-3.0	2.85	92
Si	1.9-2.20	2.05	94
Mn	0.50-0.70	0.6	92
S	0.06-0.12	0.09	100
P	0.10-0.20	0.15	100

Se usaran 15% retornos

Inoculación: 0.70% base silicio

Empleando FeSi con 75% de Si (ASTM A 100-04)

Base de cálculo 100 Kg

Tabla N° 3.4: Balance de carga de FeSi (ASTM A 100-04)

Matérias Primas	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Retornos	2.85	2.05	0.6	0.09	0.15
Ch 1	3.30	2.30	0.65	0.1	0.275
Ch 2	1.1	0.0	0.4	0.05	0.04
FeSi	---	75	---	---	---
Recarburante	90	----	----	----	----

1.- Cálculo de la cantidad de elementos necesarios. En función de los parámetros de fusión: Rendimientos y tratamientos del metal líquido.

$$C = \frac{100kg \left(\frac{2.85}{100} \right)}{\frac{92}{100}} = 3.09kg$$

$$S = \frac{100kg \left(\frac{0.09}{100} \right)}{\frac{100}{100}} = 0.09kg$$

$$Si = \frac{100kg \left(\frac{2.05}{100} - \frac{0.7}{100} \right)}{\frac{94}{100}} = 1.43kg$$

$$P = \frac{100kg \left(\frac{0.15}{100} \right)}{\frac{100}{100}} = 0.15kg$$

$$Mn = \frac{100kg \left(\frac{0.6}{100} \right)}{\frac{92}{100}} = 0.65kg$$

2. Cálculo de la cantidad de elementos aportados por las materias primas prefijadas.

Retornos (15%)

$$15 \% \text{ Retornos} = 15 \text{ Kg}$$

$$C = 15kg \left(\frac{2.85}{100} \right) = 0.42kg$$

$$Si = 15kg \left(\frac{2.05}{100} \right) = 0.3kg$$

$$Mn = 15kg \left(\frac{0.6}{100} \right) = 0.09kg$$

$$S = 15kg \left(\frac{0.09}{100} \right) = 0.013kg$$

$$P = 15kg \left(\frac{0.15}{100} \right) = 0.022kg$$

3. Balance en función de un elemento "crítico". Elemento crítico seleccionado: Si

$$Ch1 + Ch2 = 85 \text{ Kg} \rightarrow Ch1 = 85 - Ch2$$

Req	Ret.	Ch1	Ch2
1.43 Kg	= 0.3 Kg	+ Ch1 (2.3/100)	+ Ch2 (0/100)

$$Ch1 = 49.13 \text{ kg} \rightarrow Ch2 = 35.87 \text{ Kg}$$

4. Cálculo de la cantidad de elementos aportados por

Ch1

$$C = 49.13kg \left(\frac{3.3}{100} \right) = 1.62kg$$

$$Si = 49.13kg \left(\frac{2.3}{100} \right) = 1.13kg$$

$$Mn = 49.13kg \left(\frac{0.65}{100} \right) = 0.32kg$$

$$S = 49.13kg \left(\frac{0.1}{100} \right) = 0.05kg$$

$$P = 49.13kg \left(\frac{0.275}{100} \right) = 0.13kg$$

Ch2

$$C = 35.87kg \left(\frac{1.1}{100} \right) = 0.39kg$$

$$Si = 35.87kg \left(\frac{0.0}{100} \right) = 0.0kg$$

$$Mn = 35.87kg \left(\frac{0.4}{100} \right) = 0.14kg$$

$$S = 35.87kg \left(\frac{0.05}{100} \right) = 0.018kg$$

$$P = 35.87kg \left(\frac{0.04}{100} \right) = 0.014kg$$

5. Balance de cada elemento.

Balance para C

Req.	Ret.	Ch1	Ch2	recarburante	
3.09 Kg	= 0.42 Kg	+ 1.62 Kg	+ 0.39Kg	+ Re (90/100) (92/100)	3.09 Kg=
2.43 Kg	+ Re (90/100) (92/100)				

Re =0.Kg

Balance para Si

Req. Ret. Ch1 Ch2
 1.43 Kg = 0.3 Kg + 1.13 Kg + 0.0 Kg
1.43 Kg = 1.43 Kg O.K.

Balance para Mn

Req. Ret. Ch1 Ch2
 0.65 Kg = 0.09 Kg + 0.32Kg + 0.14 Kg

0.65 Kg = 0.61 Kg queda en el rango con Mn%=0.56 o posiblemente tendríamos que agregar FeMn en una pequeña cantidad, pero posiblemente no sea necesario, hasta observar % de matriz perlítico, y propiedades O.K.

Balance para S

Req. Ret. Ch1 Ch2
 0.09 Kg = 0.013 Kg + 0.05Kg + 0.018 Kg
0.09 Kg > 0.081 Kg O.K.

Balance para P

Req. Ret. Ch1 Ch2
 0.15 Kg = 0.022 Kg + 0.13Kg + 0.014 Kg
0.15 Kg = 0.166 Kg queda en el rango con P%=0.166 O.K.

Tabla N° 3.5: Balance de Carga Retorno Chatarra

Materias primas	Kg	%	Kg				
			C	Si	Mn	S	P
Retornos	15	14.88	0.42	0.3	0.09	0.013	0.022
Chatarra 1	49.13	48.75	1.62	1.13	0.32	0.05	0.13
Chatarra 2	35.87	35.58	0.39	0.0	0.14	0.018	0.014
recarburizante	0.8	0.79	0.8	---	---	---	---
FeSi	---	---	---	---	---	---	---
	100.8	100	3.23	1.43	0.55	0.081	0.166
			3.04	1.43	0.65	0.09	0.15

CANTIDAD DE INOCULANTE

$$\text{FeSi (ASTM A 100-04) (75\%)} \quad FeSi = \frac{100kg \left(\frac{0.7}{100}\right)}{\frac{75}{100}} = 0.93kg$$

3.1.2.4 PREPARACIÓN DE MODELOS.

La fundición en arena requiere un modelo a tamaño natural de madera, plástico y metales que define la forma externa de la pieza que se pretende reproducir y que formará la cavidad interna en el molde.

En lo que atañe a los materiales empleados para la construcción del modelo, se puede emplear desde madera o plásticos como el uretano y el poliestireno expandido (EPS) hasta metales como el aluminio o el hierro fundido.



Fig. 3.3: Modelo de pieza.

Para el diseño del modelo se debe tener en cuenta una serie de medidas derivadas de la naturaleza del proceso de fundición:

- Debe ser ligeramente más grande que la pieza final, ya que se debe tener en cuenta la contracción de la misma una vez se haya enfriado a temperatura ambiente. El porcentaje de reducción depende del material empleado para la fundición.

FORMULA PARA DISEÑAR MODELOS:

$$M = (L + \Delta L) + K / 100 (L + \Delta L)$$

$$M = (100 + K) / 100 (L + \Delta L)$$

L = Distancia entre caras paralelas. (mm)

M = Longitud de la medida del modelo. (mm)

K= Contracción del metal a fundir. (mm)

K= 1 (para Fe- Fundido, Cobre, Estaño, Plomo)

K= 1.25 (para Aluminio, Magnesio moldeado)

K= 1.5 (para Zinc, bronce, latón, Fe- Nodular)

K= 2 (para Fundición maleable)

K= 2.5 (para Acero)

ΔL = Exceso para mecanizado, pudiendo ser: 0, 2.5, 5, -2.5, -5 mm.

Formulas Reducidas:

Fe- Gris: $M = 1.01 (L \pm \Delta L)$

Acero: $M = 1.025 (L \pm \Delta L)$

Fe- Nodular: $M = 1.015 (L \pm \Delta L)$

Bronce: $M = 1.015 (L \pm \Delta L)$

Alumino: $M = 1.0125 (L \pm \Delta L)$

A esta dimensión se debe dar una sobremedida en los casos en el que se dé un proceso adicional de maquinado o acabado por arranque de viruta.

Las superficies del modelo deberán respetar unos ángulos mínimos con la dirección de desmoldeo (la dirección en la que se extraerá el modelo), con objeto de no dañar el molde de arena durante su extracción. Este ángulo se denomina ángulo de salida. Se recomiendan ángulos entre 0,5° y 2°.

Incluir todos los canales de alimentación y mazarotas necesarios para el llenado del molde con el metal fundido.

Si es necesario incluirá estampas, que son prolongaciones que sirven para la colocación del alma. (entre 15 y 40 mm de altura dependiendo del tamaño de la pieza)

3.1.2.5 DISEÑO DE CALADA.

Para efectuar el diseño de colada se debe conocer lo siguiente:

- **Peso de la pieza:** Para ello se tienen los siguientes datos:

Densidades:

Acero = 7.8 kg/cm^3

Fe- Nodular = 7.2 kg/cm^3

Fe- Blanco = 7.6 kg/cm^3

$$P = Ab \times H \times D$$

P = Peso de la pieza (Kg)

Ab = Área de la base del modelo. (cm^2)

H = Altura del modelo

D = Densidad del material a fundir.

- **Modulo de la pieza:**

Empleando método de los nódulos:

Modulo de la pieza = **Mp = Volumen de la pieza / Área de la pieza**

- **Modulo de la mazarota:** $Mm = 1.2 \times Mp$

- **Diámetro de la mazarota:** $D = 5 \times Mm$

- **Altura de la Mazarota:** $H = 1.5 \times D$

- **Nro de Mazarotas:**

#Mazarotas = perímetro de la pieza / distancia entre centros de mazarota

Distancia entre centros de mazarota:

Ejm:

Sistema de alimentación de Fe- Fundido de 2.9%C = 6D

Distancia entre centros de mazarota = 6D + D = 7D



Fig. 3.4: Diseño de Mazarota

3.1.2.6 PREPARACIÓN DE MOLDES

Para los moldes es necesario preparar la arena, añadiéndoles las materias adecuadas para que adquieran las propiedades convenientes para el buen éxito de la colada.

Estas propiedades son:

- **Permeabilidad:** Se debe tener esa cualidad para permitir la salida de los gases formados por el contacto del metal fundido con arena húmeda.
- **Cohesión:** Para facilitar el moldeo de la arena y de elaboración del molde.
- **Refractariedad:** Para resistir las altas temperaturas experimentadas en el momento del vaciado del metal fundido.
- **Deslizamiento:** Con esa cualidad el metal fundido pasará sin dificultad en el interior del molde hasta que este se llene por completo
- **Facilidad de disgregación:** Cuando la pieza es fundida por completo y esta se enfría, es necesario deshacer el molde para obtener a la misma; de esta forma es necesario que la arena no impida disgregar el molde para una rápida extracción de la pieza.

Los moldes, generalmente, se encuentran divididos en dos partes, la parte superior denominada cope y la parte inferior denominada draga que se corresponden a sendas partes del molde que es necesario fabricar. Los moldes se pueden distinguir:

- **Moldes de arena verde:** estos moldes contienen arena húmeda.
- **Moldes de arena fría:** usa aglutinantes orgánicos e inorgánicos para fortalecer el molde. Estos moldes no son cocidos en hornos y tienen como ventaja que son más precisos dimensionalmente pero también más caros que los moldes de arena verde.

- **Moldes no horneados:** estos moldes no necesitan ser cocidos debido a sus aglutinantes (mezcla de arena y resina). Las aleaciones metálicas que típicamente se utilizan con estos moldes son el latón, el hierro y el aluminio.

Fundición en moldes furánicos

Este proceso es bueno para la fabricación de moldes o corazones de arena. Están fabricados con arena seca de grano agudo mezclado con ácido fosfórico, el cual actúa como acelerador en el endurecimiento, al agregarse a la mezcla una resina llamada furánica. Con esta mezcla de ácido, arcilla y resina en dos horas el molde se endurece lo suficiente para recibir el metal fundido.

Fundición con moldes de CO₂

En este tipo de moldes la arena verde se mezcla con silicato de sodio para posteriormente ser apisonada alrededor del modelo. Una vez armado el molde se inyecta bióxido de carbono a presión con lo que reacciona el silicato de sodio aumentando la dureza del molde. Con la dureza adecuada de la arena del molde se extrae el modelo, si este fuera removible, para posteriormente ser cerrado y utilizado.

Características de la resina fenólica:

Resina alcalina de curado en frío, formada por una resina diluida en un medio alcalino y catalizado por esteres orgánicos a temperatura ambiente. Es usada en fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos, en la confección de moldes y machos hasta 200 toneladas, utilizando arena sílica, lavada, seca, libre de impurezas de A.F.S. 45/50, pudiendo usar también arena de cromita, zirconio. Se usa 1.2% a 1.5% de resina sobre el peso de arena y de 20% a 30% de catalizador.

Propiedades principales de la resina:

Formol libre: máximo 0.80%

Peso específico (25°C) 1.240 - 1.280 g/cm³

Las etapas que se diferencian en la fabricación de una pieza metálica por fundición en arena comprende:

- **Compactación de la arena alrededor del modelo en la caja de moldeo.** Para ello primeramente se coloca cada semimodelo en una tabla, dando lugar a las llamadas tablas modelo, que garantizan que posteriormente ambas partes del molde encajarán perfectamente.



Fig. N° 3.5: Moldeo de piezas.

Actualmente se realiza el llamado moldeo mecánico, consistente en la compactación de la arena por medios automáticos, generalmente mediante pistones (uno o varios) hidráulicos o neumáticos.

- **Colocación del alma o corazones.** Si la pieza que se quiere fabricar es hueca, será necesario disponer almas, también llamados corazones que eviten que el metal fundido rellene dichas oquedades. Las almas se elaboran con arenas especiales debido a que deben ser más resistentes que el molde, ya que es necesario manipularlos para su colocación en el molde. Una vez colocado, se juntan ambas caras del molde y se sujetan. Siempre que sea posible, se debe prescindir del uso de estos corazones ya que aumentan el tiempo para la fabricación de una pieza y también su costo.



Fig. N° 3.6: Pieza Moldeada.

3.1.2.7 FUNDICIÓN Y COLADA.

En estos hornos el calentamiento viene a causa de la corriente inducida en la masa metálica por una bobina, que circunda el crisol, alimentada por una corriente alterna.

La bobina es constituida de muchos espirales de tubo de cobre refrigerado por agua, las corrientes inducidas se ponen en la periferia de la masa metálica y circulan en un estado anular de pequeño espesor. Este anillo constituye un espiral cerrado en corto circuito y funciona como el secundario de un transformador cuyo primario es la bobina exterior. Como se trata de un solo espiral las corrientes inducidas tienen una intensidad elevada y por esta razón el calentamiento de la masa metálica viene con rapidez (se puede alcanzar temperaturas entre 2800 y 3000o C).

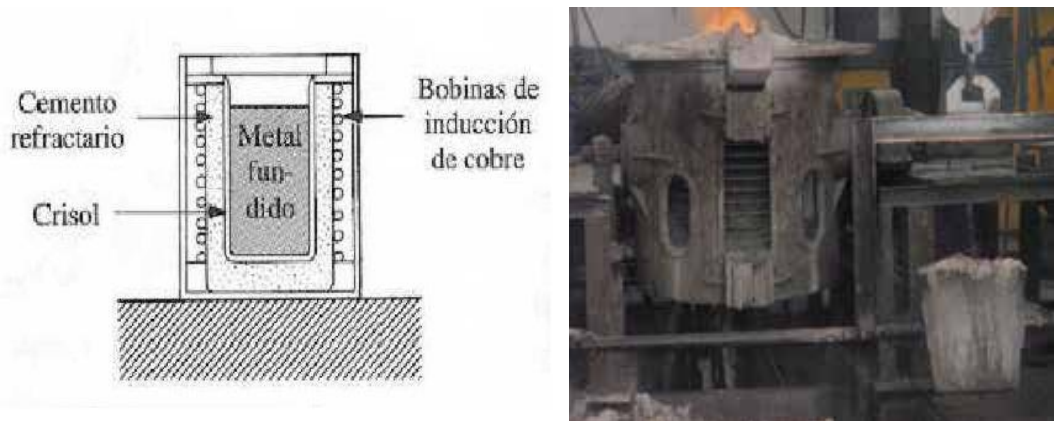


Fig. N° 3.6: Fundición de Carga.

Se producen un promedio de 5 coladas de 1TM por día, una vez fundida la carga, el metal es vaciado a una callana de 300 kilos que es movida con ayuda de una grúa hacia los moldes tapados listos para ser llenados con la aleación respectiva.

Para el vaciado en los moldes de deben tener presenten los siguientes factores:

- Temperatura de vaciado.
- Velocidad de vaciado.
- Tiempo de vaciado.
- Área de choque.
- Fuerza de empuje del metal.



Fig. N° 3.7: Colada de pieza.

3.1.2.8 ACABADO.

En el proceso de acabados de piezas se toman en consideración el tipo de material y la forma externa de la pieza para evitar causar daños a la estructura de la pieza en el proceso de desbastado.

El acabado de una pieza consta de:

- **Desencajonado:** Esta operación tiene por objeto separar la pieza de la caja sobre una parrilla vibratoria.
- **Corte:** La pieza una vez fundida, es llevada al área de acabado en donde con ayuda de un esmeril y un disco de corte son eliminados: los canales, los ductos de alimentación, bebedero y desfuegos.





Fig. N° 3.8: Corte de Pieza.

- **Granallado**: Una vez que la pieza pasó el proceso de corte, esta es sometida a una limpieza mediante la acción de granallanas que son disparadas a presión de aire en un compartimiento cerrado, el producto es una pieza libre de los restos de arena que se adhieren a la estructura en el proceso de fundición.



Fig. N° 3.9: Granalladora.

- **Esmerilado**: En esta parte del proceso con ayuda de un esmeril con un disco de desbaste, un esmeril de banco y piedras son quitadas las rebabas procedentes de la junta de ambas caras del molde, imperfecciones, etc. propio de fundición.



Fig. N° 3.10: Esmerilado de Pieza.

- **Soldado:** las piezas salidas de fundición no son 100% perfectas, por tanto las imperfecciones tales como: juntas frías, porosidad, sopladuras, fisuras, deben ser soldadas para la recuperación la pieza, cabe resaltar que la condición de la pieza es indispensable en la recuperación o el desecho de la misma.



Fig. N° 3.11: Soldadura de Pieza

3.1.2.9 TRATAMIENTO TÉRMICO

- **NORMALIZADO:** Aplicado generalmente a acero del tipo: SAE 1020, SAE 1045 y SAE 1060; también a acero especiales tales como: VCL y VCN.

El tratamiento consiste en llevar las piezas a 920C°, manteniendo las piezas a esa temperatura por 3 horas, luego son sacadas del horno y enfriadas a temperatura ambiente.

Para el caso del acero VCL y VCN es el mismo procedimiento, llevar las piezas a 920C°, mantener por 3 horas y luego enfriar con ayuda de un ventilador, la insuflación de aire le da a las piezas la dureza necesaria propia del material.

- **RECOCIDO:** Este tipo de tratamiento es aplicado a piezas que por su contenido de carbono, cromo, etc son generalmente difíciles de mecanizar. Estas piezas pueden ser en: SAE 1060, Cr-Moli, ECN, Fe blanco alto Cr. El procedimiento para un SAE 160 y un acero ECN, es llevar las piezas a 920 C°, mantenerla la temperatura por 3 horas, y dejarlos enfriando dentro del horno con la puerta cerrada herméticamente, el enfriamiento lento bajara la dureza de las piezas y las hará maquinables.

Para el caso de Fe Blanco alto Cr, se llevan las piezas a 1050C°, elevando la temperatura muy lentamente ya que este tipo de material es muy delicado y se raja con facilidad (50C° por cada ½ hora aprox. dependiendo del espesor de la pieza), hasta llegar a los 600Co – 650Co, luego mantener la temperatura por 1/2h y llevar finalmente a 1050Co, una vez que la temperatura llego a 1050C° esta se mantiene por 3 horas y luego se procede al enfriamiento:

Para piezas con 12%Cr: el enfriamiento es en aceite.

Para piezas con 15%Cr: el enfriamiento mediante la insuflación de aire, hasta aproximadamente 450C°, luego dejar enfriar a temperatura ambiente.

- **REVENIDO:** Tratamiento aplicado a piezas que fueron recocidas para el alivio de tensiones que se generaron en el Recocido, en el caso del Fe Blanco alto Cr, el tratamiento consiste en llevar las piezas a 230C°, y mantener las piezas a esa temperatura por 3 horas, luego enfriar a temperatura ambiente.
- **TEMPLE:** Tratamiento aplicado a piezas con 13%Mn, como es el caso del Acero al Mn, el tratamiento consiste en llevar las piezas a 1050C°, elevando la temperatura aproximadamente 130C° por hora, mantener las piezas a esa temperatura por 3 horas y luego enfriar utilizando con medio el agua.



Fig. N° 3.12: Tratamiento Térmico de Piezas

3.1.2.10 ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURA.

El examen microscópico proporciona información sobre la constitución del metal o aleación, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño, y distribución de grano, inclusiones y microestructura metalográfica en general. La microestructura puede reflejar la historia completa del tratamiento mecánico o térmico que ha sufrido el metal.

El análisis metalográfico comprende las siguientes etapas:

1. Selección de la muestra.

La elección de la muestra o localización de la parte que va a ser estudiada debe hacerse de tal modo que represente todo el metal o puede ser el sitio de la falla de una pieza o el límite entre una soldadura y el metal base.

2. Toma o corte de la muestra.

El corte de la probeta puede realizarse con seguetas, cortadora de cinta o disco abrasivo, teniendo la precaución de evitar el calentamiento que puede ocasionar alteraciones estructurales, por lo tanto no es conveniente realizar el corte de la muestra con soplete oxiacetilénico.

El tamaño óptimo de la probeta debe ser tal que pueda sostenerse con la mano durante su preparación, (una pulgada de diámetro por una pulgada de altura).

3. Montaje y preparación de la muestra.

El montaje consiste en comprimir un plástico fundido sobre la muestra metálica y dejar enfriar el sistema bajo presión hasta la solidificación del plástico o resina sintética.

La preparación de la probeta consiste en el desbaste y el pulido.

Se aconseja pasar la probeta por toda la serie de abrasivos: 150, 220, 280, 320, 400, 500, y 600, pues eliminar algún abrasivo retarda la operación en vez de acelerarla.



Fig. N° 3.13: Preparación de Probeta.

4. Ataque de la muestra.

Para el ataque, se toma la probeta con la pinza y se sumerge con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristalizador. Se tiene la probeta sumergida un segundo, se extrae, se lava con alcohol, se seca y se observa al microscópio, se registra el campo observado a diferentes aumentos.

Algunos de los reactivos de ataque son los siguientes:

➤ **Acido pícrico (picral).**

4g. de ácido pícrico cristalizado, 100 cm³, de alcohol etílico al 95%.

Utilizable con todos los aceros aleados, aceros especiales y fundición gris, así como para estructuras particularmente finas. Oscurece la martensita, el ataque se

prolonga desde 10 segundos hasta unos cuantos minutos, si se desea un ataque más lento, se sustituye el alcohol etílico por el amílico.

➤ **Acido nítrico (nital).**

4 cm³ de ácido nítrico concentrado (d= 1,4) 100 cm³, de alcohol etílico al 95%.

5. Análisis microscópico.

El microscopio metalográfico está formado por: Banco óptico, aparato para la iluminación de la probeta, objetivo, ocular para la observación directa y cámara fotográfica; el principio de funcionamiento es análogo al microscopio de Le Chatelier, con un arreglo tal que permite observar la luz reflejada por la superficie opaca del metal.

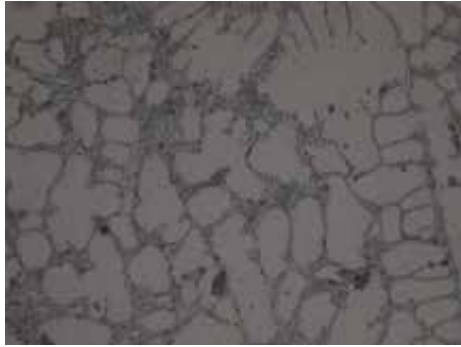
El aumento total (X) del microscopio, está dado por el producto del aumento del ocular y el aumento del objetivo.

La observación microscópica de la probeta pulida permite reconocer la presencia de inclusiones no metálicas como sulfuros, silicatos, aluminatos, óxidos, microporosidades, microgrietas, y grafito.

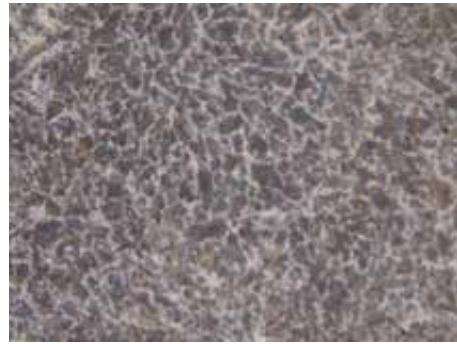


Fig. N° 3.13: Análisis Microscópico de Pieza

6. Obtención de microfotografías o video grabaciones.



Fe-Blanco 200x



SAE 1045 200x

Fig. N° 3.14: Microfotografía de Probeta

3.1.2.11 ANÁLISIS DE ENSAYOS DE DUREZA.

Luego de la fundición de las piezas, estas serán trabajadas en el Área de Acabados de la Empresa Fundición Wayras S.A.C, dichas piezas traen consigo, alimentadores, ataques, bebederos y canales del cual de este último cortaremos con el esmeril con un disco de corte nuestras muestras representativas para cada tipo de material a analizar, de las cuales algunas probetas serán sometidas a Tratamiento Térmico.

El Durometro Rockwell consta de:

- a. Un soporte plano de acero lo suficientemente duro y rígido para prevenir su deformación, el que se encontrará fijado simétricamente debajo del penetrador.
- b. Un indicador dial de dureza, el cual esta diseñado para medir la profundidad diferencial, la lectura del dial corresponde a la cifra de dureza Rockwell del tipo de ensayo Rockwell realizado.
Cada indicación en el dial o valor de incremento de profundidad del penetrador equivale a una magnitud de 0,002 mm y representa una unidad de dureza. Este dispositivo deberá indicar la carga con un error máximo de 1 %.
- c. Una palanca lateral para aplicar la carga principal (P1).
- d. Una manilla giratoria para elevar el soporte rígido, que además permite la aplicación de la carga inicial (Po).
- e. Indicador de escala.
- f. Tornillo regulador de escala, permite ajustar la maquina a la escala deseada.

Esta máquina de ensayo permitirá la aplicación de la carga en forma perpendicular a la superficie de la pieza, además de permitir la mantención de la carga de trabajo durante el tiempo especificado de manera constante.

Para obtener un buen ensayo se debe tener en cuenta:

- Se debe calibrar la maquina al inicio y al final de una serie de ensayos en una misma escala.
- Verificar que este aplicada correctamente la carga inicial de 10 Kp, para lo cual, la aguja debe pasar dos veces por el cero, y a la tercera vez quedar allí.
- Después de aplicar la carga inicial $P_0 = 10 \text{ Kp}$, se debe coincidir la aguja con el cerodel dial indicador de dureza, tratando de que la aguja este vertical y apuntando hacia arriba.
- Para comprobar la validez del ensayo se deben realizar al menos 5 ensayos.
- Una vez realizadas las cinco mediciones de una misma probeta, y con las lecturas obtenidas, calcularemos la media aritmética que nos entregará el resultado del ensayo Rockwell.

Se evitará hacer una nueva penetración sobre otra penetración.



Fig. Nº 3.15: Durómetro Rockwell

3.1.2.12 ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO.

La inspección por líquidos penetrantes es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados. Generalmente se emplea en aleaciones no ferrosas, aunque

también se puede utilizar para la inspección de materiales ferrosos cuando la inspección por partículas magnéticas es difícil de aplicar.

El ensayo consta de los siguientes pasos:

- **Limpieza inicial:** Consiste en eliminar de la zona a inspeccionar cualquier resto de contaminante que dificulte, tanto la entrada del penetrante en las discontinuidades como la posterior eliminación del que queda sobre la superficie.
- **Aplicación del líquido penetrante y tiempo de penetración:** Consiste en cubrir la superficie a inspeccionar con el líquido penetrante y dejar transcurrir el tiempo necesario para que dicho líquido pueda llenar por capilaridad las discontinuidades.
- **Eliminación del exceso de penetrante:** Con esta etapa se evita la posterior formación de indicaciones falsas.
- **Aplicación del revelador:** Una vez eliminado el exceso de penetrante se aplica un revelador en forma seca o finamente pulverizado en una suspensión acuosa o alcohólica de rápida evaporación. Al final queda una fina capa de polvo cubriendo la zona a ensayar.
- **Inspección para interpretar y evaluar las indicaciones:** La fina capa de revelador absorbe el líquido penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie donde puede registrarse y evaluar.
- **Limpieza final:** Se trata de eliminar los restos de todos los agentes químicos empleados, para prevenir posibles daños o malfuncionamientos de la pieza cuando vuelva a ser utilizada.



Fig. N° 3.16: Líquido Penetrante

3.1.2.13 MECANIZADO

Las piezas acabadas son trasladadas al área de mecanizado para el proceso que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción

de material, ya sea por arranque de viruta. Los productos obtenidos pueden ser finales o semielaborados que requieran operaciones posteriores.

El material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a un desperdicio o viruta. La herramienta consta, generalmente, de uno o varios filos o cuchillas que separan la viruta de la pieza en cada pasada. En el mecanizado por arranque de viruta se dan procesos de desbaste (eliminación de mucho material con poca precisión; proceso intermedio) y de acabado (eliminación de poco material con mucha precisión; proceso final). Sin embargo, tiene una limitación física: no se puede eliminar todo el material que se quiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan liviano que la herramienta no penetra y no se llega a extraer viruta.



Mecanizado CNC



Mecanizado en Torno

Fig. N° 3.16: Acabado de pieza.

3.1.2.14 CONTROL DE CALIDAD

Se realiza una verificación minuciosa de las dimensiones finales de la pieza con instrumentos de medición calibrados según norma ISO.



Fig. N° 3.17: Calibración de Piezas

3.1.2.15 DESPACHO

Las piezas terminadas son apiladas en el almacén para una vez completado el pedido bajo la supervisión del Jefe de PCP, las piezas son enviadas a sus respectivos clientes.

3.2 SITUACION ACTUAL Y PROBLEMÁTICA EN EL AREA DE TRABAJO ASIGNADO

El área de Acabados y Tratamientos Térmicos de la Empresa Fundición Wayras SAC, cuenta con un horno de capacidad de 800 kg, todo los productos para que cumplan con las especificaciones es necesario realizarle el tratamiento térmico por ello es necesario realizar pruebas para poder buscar la eficiencia del horno de tratamiento y garantizar la calidad del producto. Que debe de cumplir con las normas establecidas tanto nacionales como internacionales.

3.3 APRECIACIÓN CRÍTICA TÉCNICO-ORGANIZACIONAL.

La Empresa Fundición Wayras, SAC, es una pequeña empresa dedicada a la industria de la fundición por ende es un rubro que tiene alto índice de contaminación por las emisiones de gas, trabajo a alta temperatura, utiliza equipos de alto riesgo, por ello es necesario contar con los equipos de protección personal adecuados para este tipo de trabajo, renovando en un periodo de acuerdo las especificaciones del producto. En el área de Laboratorio Metalúrgico al no contar con un extractor de gas es necesario implementar para así reducir el grado de contaminación del área.

CAPITULO IV

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO TERMICO NORMALIZADO DE PIEZAS DE ACERO SAE 1045

4.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Es eficiente el Tratamiento Térmico, que se realizan a las piezas de acero al carbono en la Empresa Wayras S.A.C.?

4.2 PREMISAS.

Realzar tratamiento térmico a piezas de acero al carbono para producir la austenitización para su normalizado de las piezas en la empresa Fundicion Wayras S.A.C.

4.3 OBJETIVOS.

4.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el tratamiento térmico a piezas de acero al carbono para producir la austenitización para su normalizado de las piezas en la empresa Wayras S.A.C.

4.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar de una manera experimental y analítica, la eficiencia del tratamiento térmico de normalizado de las piezas.
- Evaluar la temperatura de austenitización (800°C – 925°C) al máximo para compensar las pérdidas de calor del horno, para obtener la temperatura propia de un normalizado.
- Evaluar el tiempo de recocido para de esa manera las piezas permanezcan más tiempo a temperatura de austenitización, para lograr de esa manera eliminar la acritud que produce el trabajo en frio y las tensiones internas.

4.4 MARCO TEÓRICO.

4.4.1 ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

4.4.2 NORMAS INVOLUCRADAS: ASTM A108.

1. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)

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

2. Propiedades físicas.

- Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

3. Propiedades químicas.

- 0.43 – 0.50 % C
- 0.04 % P máx
- 0.60 – 0.90 % Mn
- 0.05 % S máx

4. **Usos:** los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

4.4.3 NATURALEZA FÍSICA Y QUÍMICA DEL ACERO.

Acero en realidad es un término que nombra a una familia muy numerosa de aleaciones metálicas, teniendo como base la aleación Hierro Carbono. El hierro es un metal, relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico $d_A = 2,48 \text{ \AA}$ ($1 \text{ amstromg } \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), con temperatura de fusión de 1535°C y punto de ebullición 2740°C . Mientras el Carbono es un metaloide, con diámetro mucho más pequeño ($d_A = 1,54 \text{ \AA}$), blando y frágil en la mayoría de sus formas alotrópicas (excepto en la forma de diamante en que su estructura cristalográfica lo hace el más duro de los materiales conocidos). Es la diferencia en diámetros atómicos lo que va a permitir al elemento de átomo más pequeño difundir a través de la celda del otro elemento de mayor diámetro. Cuando una sustancia logra disolverse en otra se tiene una solución, donde a la primera, que es minoritaria, se le llama soluto y a la segunda, que es mayoritaria, se le llama solvente. Estas sustancias pueden ser sólidas, líquidas o gaseosas.

Al igual que el carbono, actúan otros elementos que devienen en intersticiales. Debido a su diámetro atómico menor a 2 \AA , lo que les da mayor posibilidad de difusión a través de los intersticios de la estructura cristalina del hierro. Estos elementos son el Nitrógeno ($d_A = 1,42 \text{ \AA}$), Hidrógeno ($d_A = 0,92 \text{ \AA}$), Boro ($d_A = 1,94 \text{ \AA}$), Oxígeno ($d_A = 1,20 \text{ \AA}$), etc. Va a ser esta posibilidad de difusión intersticial la responsable de una gran cantidad de posibilidades tecnológicas y variantes de propiedades en el acero, especialmente las vinculadas al endurecimiento, gracias a la solución sólida intersticial de carbono en hierro, y a la formación de compuestos intersticiales como carburos y nitruros que aparecen como componentes usualmente muy duros en los aceros aleados.

Por otro lado, otros elementos como el cromo, níquel, titanio, manganeso, vanadio, cobre, etc. con diámetros atómicos cercanos al del hierro (condición indispensable), formarán soluciones sólidas sustitucionales en un intervalo que dependerá de la semejanza de estructura cristalina, de la afinidad química y de las valencias relativas. Estas soluciones sustitucionales son las más frecuentes y numerosas

entre los metales, especialmente en el acero. . En un metal que está formado por la unión de electrones girando alrededor de un núcleo, como es posible que pueda tener tan buena solidez, tenacidad y dureza.

¿Qué fuerzas explican esta cohesión? El enlace metálico es un enlace muy peculiar que permite la movilidad de los electrones alrededor de los núcleos generando una cohesión entre ellos, gracias a fuerzas de repulsión entre núcleos y entre electrones, y a fuerzas de atracción entre núcleos positivos y electrones; y, a la vez, permite un ordenamiento muy regular de los iones (átomos que han perdido o ganado electrones, según su valencia) dando lugar a una estructura cristalina. La estructura cristalina se caracteriza por una distribución regular de los átomos (y iones) en el espacio. Hay 14 estructuras posibles de cristalización, aunque la mayor parte de los metales cristalizan en tres tipos de estructuras, dos de ellas cúbicas y una hexagonal. El enlace metálico es el responsable de la dureza, la resistencia mecánica y la plasticidad que caracterizan a los metales. Es su gran movilidad de los electrones lo que explica también el brillo metálico y las conductividades térmica y eléctrica.

Formas alotrópicas son las diversas formas en que un metal alotrópico puede presentarse, según su estructura cristalográfica. Cuando un metal monocomponente o monofásico, sin haber variado su composición química, sufre un cambio reversible de estructura cristalina, se dice que es alotrópico.

Se llama fase a un componente que constituye una entidad diferenciada de las otras fases, en base a su composición química, a su naturaleza física, a su estructura cristalográfica, a sus propiedades físicoquímicas, etc.

El hierro es un metal alotrópico pues pasa de una estructura b.c.c., conocida como hierro alfa, que existe desde temperatura ambiente hasta los 910 °C, a una estructura f.c.c. del hierro gamma, que existe entre los 912 y 1 500°C, y luego retorna a la estructura b.c.c., esta vez, del hierro delta, que existe hasta los 1 540°C.

El enlace metálico es el responsable de la dureza, la resistencia mecánica y la plasticidad que caracterizan a los metales. Es su gran movilidad de los electrones lo que explica también el brillo metálico y las conductividades térmica y eléctrica.

Formas alotrópicas son las diversas formas en que un metal alotrópico puede presentarse, según su estructura cristalográfica. Cuando un metal monocomponente o

monofásico, sin haber variado su composición química, sufre un cambio reversible de estructura cristalina, se dice que es alotrópico.

Se llama fase a un componente que constituye una entidad diferenciada de las otras fases, en base a su composición química, a su naturaleza física, a su estructura cristalográfica, a sus propiedades físicoquímicas, etc.

El hierro es un metal alotrópico pues pasa de una estructura b.c.c., conocida como hierro alfa, que existe desde temperatura ambiente hasta los 910 °C, a una estructura f.c.c. del hierro gamma, que existe entre los 912 y 1 500°C, y luego retorna a la estructura b.c.c., esta vez, del hierro delta, que existe hasta los 1 540°C.

Celdas unitarias b.c.c. (estructura cúbica de cuerpo centrado) y f.c.c. (estructura cúbica de cara centrada), correspondientes al hierro alfa y hierro gamma, respectivamente. Serán estas fases del hierro las cuales asimilarán los átomos de carbono principalmente, pero también átomos de otros elementos en menor cantidad, para dar lugar a la formidable familia de aleaciones conocida como acero. De tal forma que estas fases también estarán presentes en los aceros aunque, lógicamente, presentarán cambios de composición que incluyen a los nuevos elementos presentes. Las propiedades mecánicas en los aceros son influenciadas fuertemente por el contenido de carbono, ya que determinan cantidades diferentes de uno de los componentes más duros en el acero, como es la cementita, o de su mezcla eutectoide, la perlita. Aún en estado de temple (endurecido por enfriamiento rápido), el contenido de carbono del acero sigue siendo importante pues una martensita de mayor contenido de carbono será también más dura.

4.4.4 MICROESTRUCTURA.

Veamos un poco más adentro en la estructura del acero. Un producto de acero, como una barra o una plancha, es un sólido que está formado por granos. Al microscopio son granos los que se observan como microcomponentes del acero.

Estos granos pueden ser de alguna de las fases, o mezcla de fases, que están presentes en todo acero normal: ferrita, perlita, cementita; por lo que pueden tener diferente aspecto. De esta forma un acero al carbono, de un contenido de carbono de 0,20 %, estará formado por una proporción de 75% de fase ferrita (cuyo contenido de carbono, a temperatura ambiente, no pasa de 0,008 %) y aproximadamente 25 % de

perlita (cuyo contenido de carbono es fijo y corresponde a 0,8 %); mientras un acero de mayor contenido de carbono (por ejemplo, 0,40 %) tendrá mayor proporción de perlita (aproximadamente 50 %).

Los granos, a su vez, están formados por agregados de cristales. Son estos cristales los que van a determinar en gran medida las propiedades del acero. Como ya ha sido dicho, cada fase tiene diferente estructura cristalina o cristalográfica, y, por tanto, cada fase posee diferentes propiedades.

El acero poseerá, en general y proporcionalmente, las propiedades promedio del conjunto.

4.4.5 DIAGRAMA DE FASES DEL ACERO

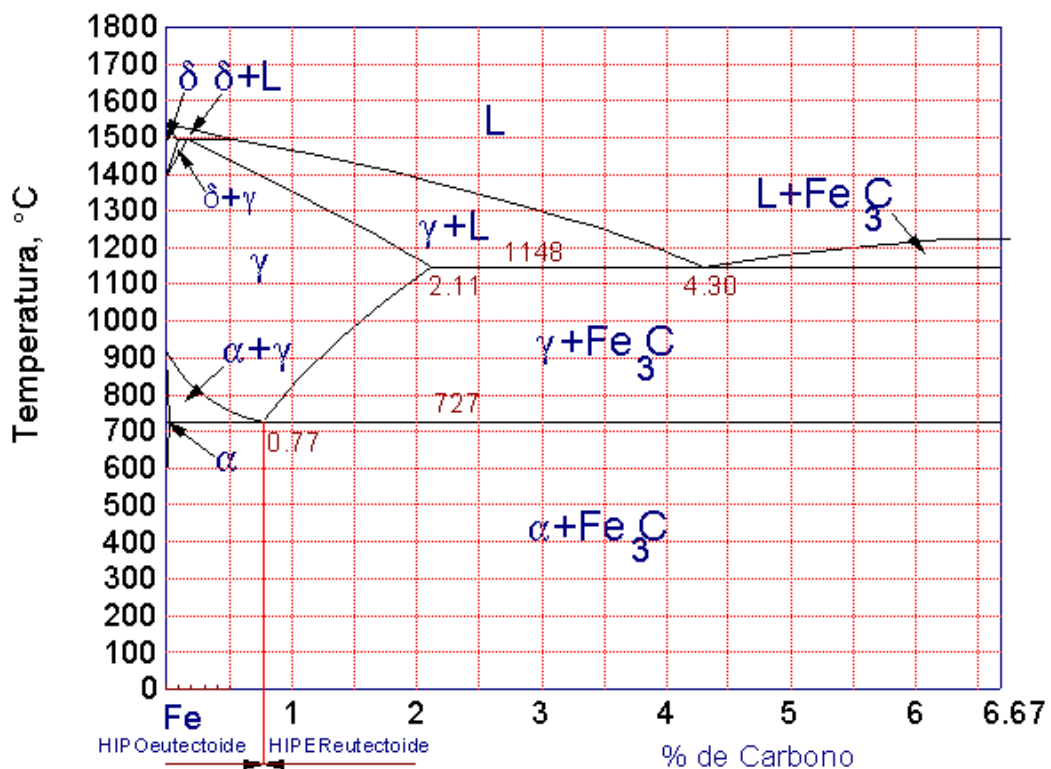


Fig. N° 4.1: Diagrama de Fase del acero.

Bien, ya hemos dicho que los aceros están compuestos por ciertas fases, las cuales a su vez tienen ciertas características diferenciadas. La diferente proporción de estas fases determinará en mucho las propiedades del acero. También se ha dicho que el contenido de carbono y de otros elementos influye sobre las propiedades del acero, esto

quiere decir que estos elementos se meterán dentro de estas fases cambiando a su vez sus propiedades. La forma más simple de visualizar este hecho es a través de un diagrama de fases en equilibrio hierro-carbono.

El diagrama hierro-carbono solo tiene una zona de interés tecnológico que lo constituye la porción hierro-carburo de hierro. El carburo de hierro conocido como cementita es un compuesto Fe_3C con 6,67 % de carbono. Este es un diagrama metaestable, pues para fines prácticos se puede considerar que la cementita es una fase metaestable y técnicamente representa condiciones de equilibrio útiles para entender las transformaciones que veremos en los aceros. Considerando el contenido de carbono, es práctica común dividir este diagrama en dos partes: la de las fundiciones (entre aproximadamente 2 y 6,67 % de carbono) y la de los aceros (entre 0 y 2 % de carbono). Vemos, además varias zonas definidas dentro del diagrama. Tenemos varias soluciones sólidas. La solución sólida gamma (derivada de la fase gamma del hierro) se llama austenita y posee una estructura f.c.c. A alta temperatura se tiene la región de la solución sólida delta (derivada de la fase delta del hierro) con estructura f.c.c. Mientras que a menor temperatura se tiene la región de la ferrita (derivada de la fase alfa del hierro) también con estructura f.c.c.

La transformación más importante en este diagrama, desde el punto de vista de su utilización técnica, lo constituye la transformación austenítica: Austenita ! Ferrita + Cementita

Esta transformación se verifica a 723°C, que es conocida como la temperatura eutectoide, y su control constituye un poderoso medio de determinar las propiedades mecánicas del acero adecuándolas a nuestro uso. El control y aprovechamiento de esta transformación constituye una buena parte del campo de aplicación de los tratamientos térmicos.

La velocidad de enfriamiento determinará la microestructura final presente en el acero, decidirá si la fase presente es de naturaleza metaestable o estable o si es una fase fuera del equilibrio; y por tanto determinará las propiedades mecánicas, físicas, químicas, etc. asociadas a las fases presentes.

Si esta transformación se realiza enfriando lentamente se producirá la mezcla eutectoide conocida como perlita, formada por finas capas alternadas de cementita y ferrita. Cuanto más lentamente se realice esta transformación más gruesas serán estas

capas y mayor será el tamaño de grano del acero (esto sucede en el tratamiento térmico conocido como recocido). Si el enfriamiento es menos lento se tendrá una perlita con capas o lamelas más finas, como sucede en el normalizado. El acero recocido es más blando que el acero normalizado.

Si mediante un enfriamiento acelerado, desde la zona austenítica, logramos evitar la transformación eutectoide tendremos una fase fuera del equilibrio llamado martensita. Este nuevo componente microestructural posee alta dureza aunque con una cierta fragilidad. La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en hierro alfa lo que lleva a una estructura tetragonal de cuerpo centrado derivada de la estructura b.c.c. El eje z de la celda cúbica es mayor debido a la inclusión de átomos de carbono. Esta fuerte alteración de la red es la responsable de la alta dureza de la martensita y también de su aspecto microestructural acicular.

4.4.6 TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Los tratamientos térmicos consisten en someter al acero a una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento con tiempos determinados, con el fin de variar las proporciones de sus constituyentes y así producir las propiedades deseadas sobre él. Las variaciones de las propiedades en el material que se producen como resultado del tratamiento térmico deben ser permanentes, de lo contrario el tratamiento térmico no tendría ningún sentido.

Los tratamientos térmicos más utilizados son el temple, el revenido, el recocido y la normalización. Todos los procedimientos se basan en la transformación o descomposición de la austenita. Por tanto, el primer paso en cualquier tratamiento térmico de un acero será calentar el material a la temperatura que conlleve la formación de la austenita.

La temperatura y el tiempo son los factores principales que influyen en un tratamiento térmico y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas que se desean obtener.

Todos los procedimientos de tratamientos térmicos de aceros, incluyen la transformación o descomposición de la austenita, por lo que el primer paso en cualquier proceso de tratamiento del acero, será el calentar el material a alguna temperatura, que como mínimo sea la del intervalo crítico que lleva a la formación de la austenita.

Los factores fundamentales que influyen en el tratamiento térmico, son la temperatura y el tiempo, tanto es así que el proceso del tratamiento se caracteriza por la temperatura de calentamiento máxima t_{max} , que es la temperatura hasta la cual se calienta el material durante el tratamiento, el tiempo que se mantiene a la temperatura de calentamiento, por las velocidades de calentamiento V_{cal} , y de enfriamiento V_{enfr} , las cuales se toman en su valor medio ponderado en todo el proceso, y este valor se hace extensivo a todo el intervalo de temperaturas deseado. Según sea esta velocidad de enfriamiento, dará una estructura cristalina diferente, y unas propiedades físicas y químicas diferentes, para cada acabado, (según lo comentado en la parte del diagrama de fases).

El tratamiento puede ser simple, complejo (varios calentamientos y enfriamientos), escalonado, intermitente, etc, pero todos ellos se pueden representar mediante una grafica de la Temperatura frente al Tiempo.

Durante los tratamientos térmicos, los aceros sufren deformaciones importantes, debidas al desigual y rápido enfriamiento de las diferentes partes de las piezas, asimismo experimentan cambios de volumen, debidos a dilataciones térmicas (al calentarse el acero, este se dilata aumentando su volumen, a medida que se eleva su temperatura, según su coeficiente de dilatación térmica, que esta del orden de 14×10^{-6}) y a modificaciones en la microestructura del acero (al calentar un acero, la zona critica se contrae, y luego al enfriarse cuando llega aproximadamente sobre los 710° – 680° , se vuelve a dilatar, esto se produce por los cambios de estructura, es decir, a la transformación de perlita en austenita en el calentamiento, y al contrario en el enfriamiento), debido a estos cambios de volumen, hay que tener cuidado con los tratamientos elegidos, ya que cuando el enfriamiento es lento (recocido), estos cambios ocurren a alta temperatura y los cambios no son importantes, ya que el acero caliente es plástico y admite ciertas deformaciones, pero cuando se temple un acero, la transformación ocurre a baja temperatura y aparecen en la estructura cristalina, cristales de martensita en vez de perlita, entonces es mas peligroso porque el acero frio no es plástico, y el aumento de volumen suele ser bastante mayor, además algunas veces este cambio de volumen solo lo sufren ciertas partes de las piezas, y otras no, con lo que existe un riesgo de rotura mucho mayor.

Las variaciones de las propiedades del material, que se producen como consecuencia de los tratamientos térmicos, deben de ser permanentes, para poder beneficiarnos constructivamente de estos cambios, ya que si no tendría ningún sentido. Los tratamientos térmicos se pueden clasificar en tres tipos, los cuales tienen ciertas semejanzas, en los tres se calienta el acero a una temperatura ligeramente superior a la crítica, y luego, después de un periodo de permanencia en esta temperatura, suficiente para conseguir el estado austenítico, se enfrían las piezas. La diferencia fundamental entre los tres tratamientos es la velocidad de enfriamiento, que es lo que caracteriza a cada tratamiento, siendo así que las dos primeras partes (calentamiento y permanencia).

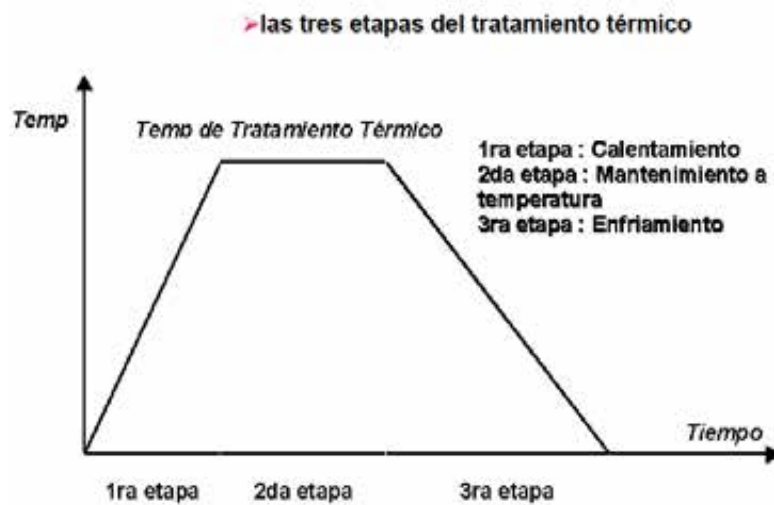


Fig. Nº 4-2: Representación de un tratamiento térmico sencillo

El diagrama de fases Fe-Fe₃C (figura 4-3) es la base para el estudio de los tratamientos térmicos de los aceros, en particular solo la parte del diagrama correspondiente a las aleaciones cuya concentración no supera el 2% de C, de manera que la parte que realmente interesa es la coloreada.

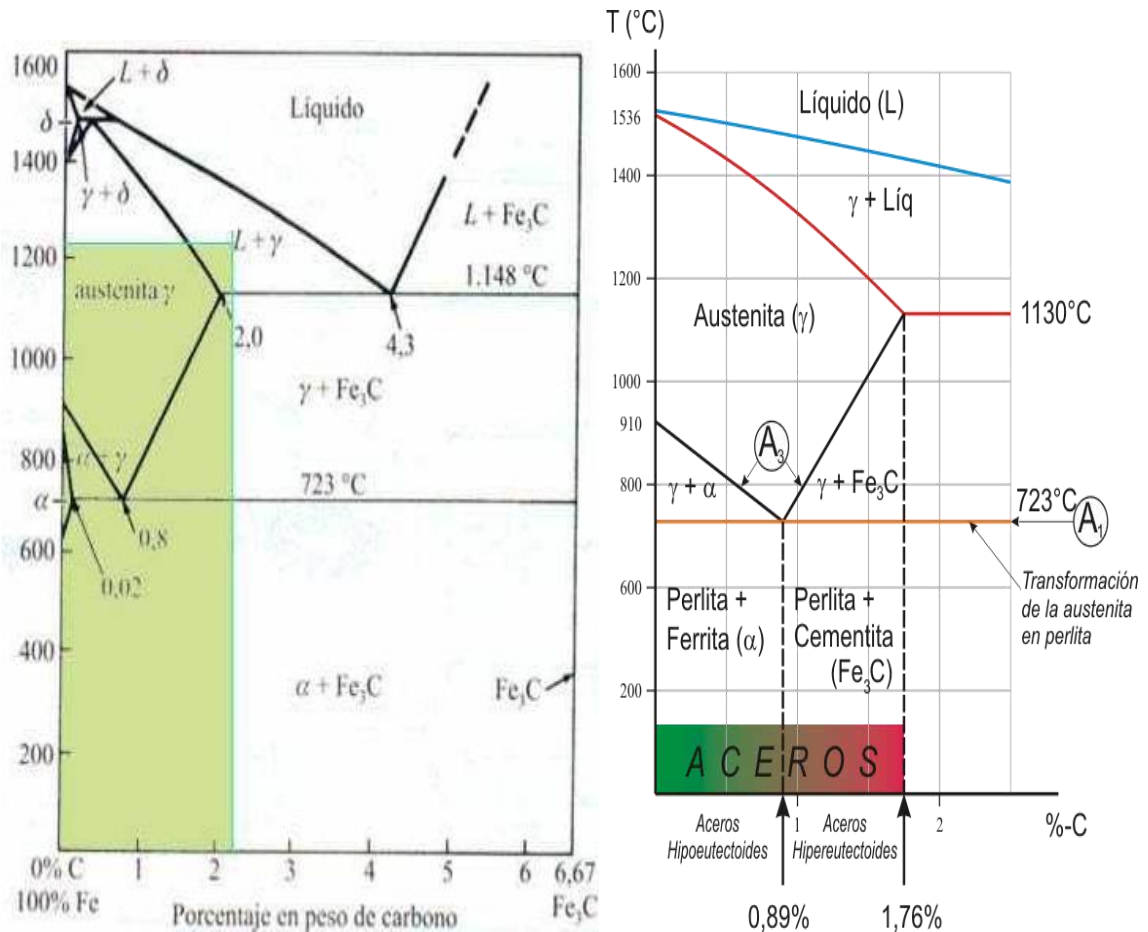


Fig. Nº 4-3: Diagrama de fases carburo de hierro-hierro

4.4.7 CARACTERÍSTICAS

Una característica fundamental de los tratamientos térmicos es que estos son realizados al acero, y su meta principal es trabajarlo de manera óptima para lograr tener materia prima y productos terminados con el fin de lograr un desarrollo en determinadas industrias.

4.4.8 TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los principales tratamiento térmicos aplicable en el acero son:

- Temple
- Revenido
- Recocido
- Cementación
- Nitruración
- Carbo nitruración

Un tratamiento de temple seguido de un revenido, se denomina corrientemente bonificación.

4.4.9 DESARROLLO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Los tratamientos térmicos se desarrollan en tres fases:

4.4.10 CALENTAMIENTO HASTA LA TEMPERATURA MÁXIMA.

De cuanto queda expuesto que para el buen éxito del temple es necesario conocer la temperatura a la que, durante el enfriamiento se inicia la formación de martensita para escoger en base de ella el enfriamiento más adecuado.

Esta temperatura se representa generalmente por M_s y depende esencialmente de la composición del acero. En los aceros al carbono es inversamente proporcional al contenido del mismo.

A título orientativo se puede considerar:

- Para aceros hipoeutectoides: $C < 0.87\%$ $M_s \approx 500^\circ\text{C}$
- Para aceros eutectoides: $C = 0.87\%$ $M_s \approx 220^\circ\text{C}$.
- Para aceros hipereutectoide: $C > 0.87\%$ $M_s \approx 150^\circ\text{C}$

El fenómeno se puede explicar en líneas generales, considerando la cantidad de Fe_3C contenida en la austenita, es decir la concentración de carbono en el hierro.

4.4.11 PERMANENCIA A LA TEMPERATURA MÁXIMA.

Para conseguir un buen temple es necesario calentar el acero y mantenerlo durante un cierto tiempo, a una temperatura tal que provoque la austenización completa de la estructura. En consecuencia, la temperatura de calentamiento depende del contenido de carbono.

- Para los aceros hipoeutectoide, es superior al punto crítico A_{c3} .
- Para los aceros hipereutectoide, es superior al punto crítico A_{c1} .

En general, esta temperatura la señala el proveedor, y normalmente de unos 40°C a 50°C por encima del punto crítico.

Una temperatura demasiado alta engrosa demasiado el grano austenítico, aumentando la fragilidad y las tensiones internas en la pieza templada.

En la siguiente tabla se indica, a título orientativo las temperaturas de austenitización de algunos aceros al carbono.

Porcentaje de carbono	0,4 - 0.5	0.8 - 1.2
Temperatura de austenitización respectivamente °C	850 - 820	780 - 770.

4.4.12 ENFRIAMIENTO DESDE LA TEMPERATURA MÁXIMA HASTA LA TEMPERATURA AMBIENTE.

Los sistemas de enfriamiento utilizados para los tratamientos térmicos se eligen tomando en cuenta tres parámetros: Composición del metal a tratar dimensiones de la pieza y propiedades a obtener.

4.4.13 HORNOS UTILIZADOS PARA LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

El horno es el elemento principal de los tratamientos térmicos es un instrumento constituido por una caja susceptible de calentamiento y que permite el control y la regulación del tiempo, de la temperatura, de la atmósfera, y de las velocidades de calentamiento y de enfriamiento.

a. Tipos de hornos.

- Calentamiento: Eléctrico (por resistencia, por inducción), a Gas, a fuel Oil.
- Según la atmósfera reinante en el horno: Vacío, Neutra (Argón, Helio, Nitrógeno), Reductora (Exogas, Endoga, Amoníaco Disociado, Hidrogeno de atmósfera sintética).
- Según la Solera: Discontinua, Continua, (Horizontal, Vertical).

Todos nuestros hornos se caracterizan por su adecuación o adaptación a la aplicación concreta exigida. Dicha exigencia se refiere siempre a aspectos de:

- Comodidad y funcionalidad operativa.

- Dimensionado de la cámara de tratamiento particularizando en función del tipo de piezas a tratar.
- Fabricación adaptada a las diversas fuentes de energía.

4.4.14 HORNOS PARA TEMPLES / RECOCIDO.

Se diseña para poder alcanzar unas temperatura de trabajo de 1100 °C - 1400 °C, máximas capaces de provocar el cambio necesario de la estructura metalográfica del metal a tratar.

En la versión de horno eléctrico se prevé una entrada de gas protector (generalmente nitrógeno) a la cámara de tratamiento con el fin de proteger a las piezas a tratar contra la descarburación.

Cuando se trata de hornos a combustible líquido o gaseoso la regulación del circuito de combustión permite obtener en la cámara de tratamiento una atmósfera oxidante, neutra o reductora.

En este caso los quemadores a instalar son básicamente de dos tipos en función del sistema de aportación del aire necesario para la combustión.

Hornos según el sistema de calentamiento: El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como inconveniente la dificultad del control de la temperatura.

El sistema de resistencia eléctrica que aprovecha el calor generado según la ley Joule. La disposición de la resistencia da nombre a los hornos, que son de tipo mufla o cajas.

4.4.15 ENFRIAMIENTO O CALENTAMIENTO DEL ACERO.

En la figura 4-3 se muestra el sector izquierdo del diagrama Fe-C (hierro carbono). En él, se han marcado las líneas correspondientes a las soluciones de 0.6, 0.8, y 1.2 % de carbono.

La línea G-H corresponde a los 723°C temperatura límite de existencia de la austenita.

Observemos que para los tres casos, de la solución líquida al enfriarse comienzan a formarse cristales de austenita, los que conviven en equilibrio con la solución líquida entre las líneas A-B y C-D.

Al bajar de la temperatura de solidificación (línea C-D), toda la solución se convierte en austenita. Con el ulterior enfriamiento y en dependencia del contenido de carbono se van formando estructuras diferentes, a saber:

1. Para el acero de 0.6% de carbono o menos, al alcanzar la línea F-E comienza a desprenderse ferrita y hay una zona (entre F-E y G-H) donde conviven ambas formas estructurales.

La formación de la ferrita con muy poco carbono disuelto hace que el resto de la austenita pase a ser mas rica en carbono, con lo que se alcanza el 0.8% necesario para la formación de la cementita, con ello se puede producir la mezcla mecánica de ferrita y cementita que ya hemos visto se denomina perlita. El resultado final de esta aleación cuando llega a la temperatura normal es una mezcla de ferrita y perlita.

2. Para el acero de 0.8% de carbono, como tiene la composición adecuada para la reacción de formación de cementita (0.8% de carbono) el final del proceso de enfriamiento conduce a perlita en casi toda la masa sólida.
3. Para el acero de 1.2% de carbono o mas, una vez que se alcanza la línea E-D comienza a segregarse la cementita secundaria por la sobresaturación de la austenita con carbono, con el enfriamiento posterior y al sobrepasar la línea G-H se produce cierta cantidad de ferrita que junto a la cementita forma la perlita. Finalmente queda una mezcla de perlita y cementita secundaria.

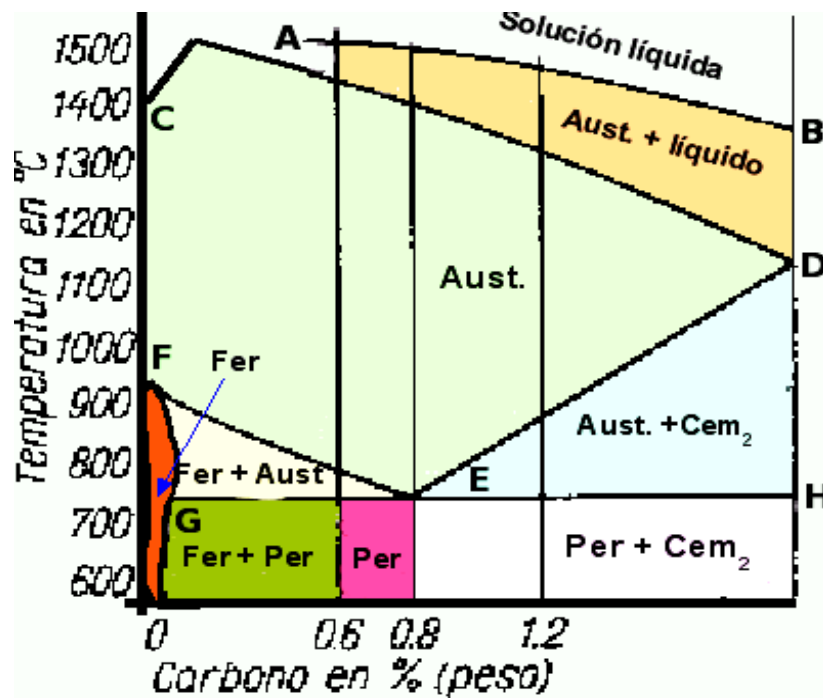


Fig. N° 4-4: Diagrama de Fe-FC

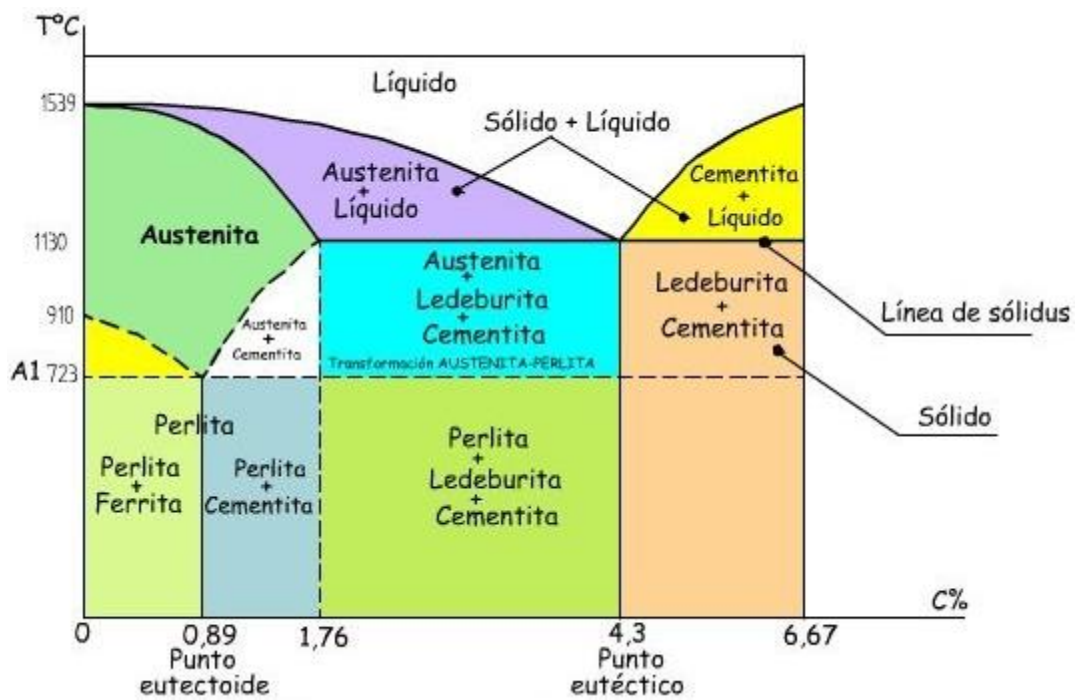


Fig. N° 4-5: Diagrama Eutéctico de Fe-FC

4.4.16 TEMPLE Y REVENIDO.

El temple y el revenido se utilizan ampliamente para mejorar las propiedades de resistencia de los aceros de construcción e impartirles dureza y altas propiedades cortantes a los aceros de herramientas.

Por temple se comprende la fijación de las estructuras, a temperatura normal, que son propias de temperaturas altas. Por eso las estructuras templadas son inestables o, como dicen los físicos metaestables.

Si el acero se enfría rápidamente desde la zona de austenita (figura 4-2) el carbono no puede desprenderse, y como es imposible detener la transformación de hierro gamma a hierro alfa con capacidades de disolución de carbono muy diferentes, se produce una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa que se conoce como martensita.

La estructura de la martensita es inestable, con una gran dureza y fragilidad considerable.

La dureza de la martensita es tanto mayor, cuanto mas cantidad de carbono esté disuelto en esta, y se explica por el fenómeno de que su red cristalina está muy deformada por los átomos de carbono. Esto hace que el cristal elemental de la red cristalina de la martensita nos sea cúbico sino tetragonal. Lo que a su vez dificulta su deformación plástica.

El acero tiene la capacidad de ser templado si contiene mas del 0.3% de carbono.

El enfriamiento para el proceso de templado puede efectuarse a diferentes velocidades de acuerdo a los fines perseguidos y del tipo de acero (cantidad de carbono y otros elementos aleantes) los más usados son:

- Agua.
- Aceite.
- Sales fundidas.
- Soluciones salinas.
- Y hasta el aire para ciertos aceros aleados.

Si tomamos la capacidad refrigerante del agua a temperatura de 20 °C como la unidad, entonces, la capacidad refrigerante relativa de la solución acuosa de cloruro de sodio al 10% será de 1.23; del aceite mineral 0.20 y del aire ambiente 0,03. Después del temple se efectúa el revenido, cuyo fin es el aumento de la plasticidad (disminución de la fragilidad) del acero con una disminución mínima de la resistencia o la dureza adquiridas durante el temple.

La temperatura del revenido se escoge de acuerdo a la posterior utilización de la pieza, pero nunca llegará a la temperatura de transformación (línea G-H de la figura 3). Se distinguen tres tipos de revenido:

1. Revenido de bajas temperaturas (entre 180 y 220°C); Con él se reducen las tensiones internas pero se conserva la estructura martensítica. Se usa en el revenido de herramientas de corte, en las que debe mantenerse la dureza y resistencia al desgaste.
2. Revenido a medias temperaturas (entre 300-400 °C); A estas temperaturas la martensita se modifica y se transforma en lo que se conoce como troostita y se aplica en los muelles o matrices.
3. Revenido de altas temperaturas (500-550 °C); A estas temperaturas la troostita se convierte en otra forma llamada sorbita, se aplica fundamentalmente para el acero de construcción.

La troostita y la sorbita obtenidas durante el revenido de la martensita, sobrepasan por su tenacidad, las estructuras análogas que se obtienen durante el enfriamiento directamente a partir de la austenita.

4.4.17 PRIMERA FASE DEL TEMPLE: EL CALENTAMIENTO

Esta fase tiene por objeto, en teoría, transformar toda la masa del acero en austenita. Su desarrollo está definido por tres variables: velocidad de elevación de temperatura, permanencia a la temperatura límite y temperatura límite.

Temperatura límite del temple:

Se define la temperatura límite de temple como la mínima que debe alcanzar un acero de una composición determinada, para que toda su masa pueda transformarse en cristales de austenita. Esta condición debe cumplirse rigurosamente en los aceros hipoeutectoides (de menos de 0.89% de carbono) para que el temple obtenido sea perfecto. En los aceros hipereutectoides, teóricamente y de acuerdo con lo dicho, también debería exigirse que a la temperatura límite de temple toda la masa del acero quedase transformada en austenita. Prácticamente sin embargo, se obtiene tan buenas o mejores características del acero templado sin llegar a la austenización completa de la masa, o sea, rigurosamente hablando con un temple imperfecto.

Temperatura de temple recomendada para los aceros al carbono hipoeutectoides.

4.4.18 SEGUNDA FASE DEL TEMPLE: EL ENFRIAMIENTO

Tiene por objeto, en teoría, transformar la totalidad de la austenita formada en martensita, aunque en alguna variedad de temple el constituyente final deseado es la bainita.

El factor que caracteriza a la fase de enfriamiento es la velocidad de enfriamiento mínimo para que tenga lugar la formación de la martensita. Esta velocidad se denomina velocidad crítica de temple. Para aclarar mejor este concepto, seguiremos el proceso de enfriamiento de un acero eutectoide, o sea, de 0,89 por ciento de C, cuya temperatura teórica de transformación de la austenita es 723°.

Supongamos que lo calentamos hasta 773°, es decir a $A_3 + 50^\circ$. Este margen de 50° se da para tener la seguridad de que se ha rebasado la temperatura límite de austenización a la velocidad de calentamiento que prácticamente se emplee. Supongamos, por tanto, que al terminar de elevarse la temperatura hasta la indicada, y después de mantener el acero en ella el tiempo necesario, todo el material se ha transformado en austenita. A continuación se enfría al acero a distintas velocidades, representadas por las líneas verticales

Procesos de enfriamiento desde el estado austenítico de una aleación hierro - Carbono eutectoide a diferentes velocidades de enfriamiento y productos obtenidos en la transformación de la austenita.

4.4.19 VELOCIDAD CRÍTICA DEL TEMPLE

Se define la velocidad crítica de temple, de acuerdo con lo expuesto en el párrafo anterior, como la velocidad de enfriamiento mínima para que la totalidad de la austenita formada en el calentamiento del acero, se transforme en martensita.

Las velocidades críticas de temple varían, para los aceros al carbono, de 200° a 600° por segundo, según sea el porcentaje de carbono.

Los elementos de aleación hacen, en general, disminuir la velocidad crítica de temple, pudiendo algunos aceros aleados templarse al aire, a velocidades inferiores a 50°/s.

4.4.20 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRÁCTICA DEL TEMPLE

Los factores que más influyen en el temple son:

El tamaño de las piezas, su composición, el tamaño de su grano y el medio de enfriamiento aplicado.

4.4.21 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LAS PIEZAS

Uno de los factores que más influyen en las características finales que se obtienen al templar una pieza de acero, es su tamaño. En los perfiles delgados, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, se observará muy poca diferencia de temperatura entre la periferia y el interior de las piezas. Pero si se trata de piezas de gran espesor o gran diámetro, se comprende perfectamente que la temperatura en su interior sea inferior en el calentamiento y superior en el enfriamiento a la de su periferia, ya que el calor no se transmite directamente al interior, sino a través del espesor de la pieza, necesitando la transmisión de un tiempo determinado, que es el que produce el retraso con relación al proceso que se sigue.

Si se trata de calentamientos, el tamaño de las piezas no tiene otra influencia que aumentar la duración del proceso, pues, en general, no está limitada (hasta una temperatura determinada) la duración del calentamiento más que por razones económicas. Si la temperatura es muy elevada, ya hemos dicho que la duración del calentamiento aumenta el tamaño del grano.

Pero si se trata de un enfriamiento y siempre 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. Y 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.

Sí esta barra se parte, se observan dos zonas perfectamente diferenciadas: una interior, de grano grueso, que es la zona que no ha adquirido temple por que la velocidad de enfriamiento ha sido inferior a la crítica, y otra zona periférica, de grano fino, que es la zona templada

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.

4.4.22 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. En el cuadro 4.1 se dan las temperaturas de temple correspondientes a aceros de diferente contenido de carbono.

La velocidad crítica de temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta
Velocidades críticas de temple de los aceros al carbono hipoeutectoides

Por tanto, para las mismas condiciones de enfriamiento, el temple obtenido es más enérgico y la dureza en los aceros al carbono templados es mayor cuando más alto su porcentaje de carbono.

Los elementos de aleación cambian la posición del punto eutectoide en el diagrama hierro-carbono ya conocido, y el acero aleado eutectoide no tiene ya el mismo porcentaje de carbono y, por tanto, se desplaza a derecha y a izquierda, ni la misma temperatura de transformación, y por tanto se desplaza hacia arriba o hacia abajo. En líneas generales, ocurren las siguientes variaciones:

1. - El aluminio, el berilio, el niobio, el tántalo, el titanio y el circonio forman carburos y aumentan, por tanto, el contenido de carbono del eutectoide desplazándolo hacia la derecha. Influencia del contenido carbono en el endurecimiento obtenido por el temple de los aceros al carbono.
2. El cobalto, el cobre y el silicio forman soluciones sólidas con el hierro, pero no dan ningún carburo. Como consecuencia, baja el contenido de carbono del eutectoide, desplazándose hacia la izquierda.
3. El molibdeno, el cromo, el wolframio, el manganeso y el níquel disminuyen o aumentan el contenido de carbono del eutectoide, según la importancia de la aleación, pues de ella depende que formen soluciones sólidas con el hierro y el carbono o carburos metálicos.

Tabla nº 4.1: Temperaturas recomendadas para el temple de los aceros al carbono

%C	°C	Austenización
0.10	925	
0.20	900	
0.30	870	
0.40	840	
0.50	830	
0.60	810	
0.70	780	
0.80	770	
0.90	770	Incompleta
1.00	760	Completa
1.20	760	Completa
1.40	760	Completa

M. Aall ha tratado de concretar los desplazamientos del punto eutectoide, tanto vertical como horizontal, del diagrama hierro-carbono, en función de los porcentajes de aleación de los elementos. Una vez situado el nuevo punto eutectoide, se dibuja el diagrama hierro-carbono, que sirve en primera aproximación para estudiar las transformaciones de la nueva aleación.

Los valores de los desplazamientos se obtienen en función de dos coeficientes: uno para los desplazamientos verticales y otro para los horizontales.

Se multiplican estos coeficientes por el tanto por ciento de la aleación, y sobre el diagrama hierro-carbono se llevan los resultados obtenidos con el signo que corresponda. Los coeficientes propuestos para algunas aleaciones son los siguientes:

Desplazamientos Ni Cr . Mn Ti V Mo Co

Verticales 11,5 +8.3 -32.5 +7 +28 +3 -9,6

Horizontales - 0,03 -0,065 -0,09 -0,08 -0,30 -0,13 -0,06

Por ejemplo, la aleación que contenga el 1 por ciento de manganeso, produce un desplazamiento de $32,5^\circ$ hacia abajo, o sea, que el punto eutectoide estará a $723^\circ - 32,5^\circ = 690,5^\circ$. Y un desplazamiento de 0,09 unidades hacia la izquierda, o sea, que el punto eutectoide tendrá la abscisa correspondiente al contenido de carbono de $0.89 - 0,09 = 0,8$ % Influencia de los elementos de aleación de los aceros en la posición de los puntos críticos.

Si los elementos aleados son dos o más, se suman las traslaciones obtenidas

Además de variar los elementos aleados, la temperatura de temple, varía también la velocidad crítica, desplazando las curvas de los diagramas TTT hacia la derecha.

Influencia del porcentaje de manganeso en la velocidad crítica de temple de un acero de 0.60% de Cr, 0.91% de Mn, 1.32% de Mn

Los elementos que más disminuyen la velocidad crítica del temple son el magnesio y el molibdeno, aunque con menos intensidad, el cromo, el silicio y el níquel. Profundidad de temple obtenido en barras de acero al carbono y aceros cromo níquel de diferentes diámetros. La zona sin templar es la oscura. Como consecuencia de la disminución de la velocidad crítica de temple, resulta mayor la profundidad de la zona que queda templada en los aceros aleados con manganeso, molibdeno, cromo, silicio y níquel. Y resulta también mayor el diámetro o espesor de las piezas que pueden quedar totalmente templados en los aceros aleados que en los aceros al carbono.

4.4.23 INFLUENCIA DEL TAMAÑO DEL GRANO.

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

En la figura puede verse como se desplazan hacia la derecha las curvas TTT a medida que aumenta el tamaño del grano, y por tanto, disminuye la velocidad crítica del temple.

Influencia del tamaño del grano en la velocidad crítica de temple de un acero de 0.87% de c, 0.30 de Mn, 0.80% grano fino y grano grueso.

4.4.24 INFLUENCIA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO.

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

- 1.^a Inmediatamente después de introducir la barra se forma una capa de vapor que envuelve el metal y que dificulta el enfriamiento, que 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.
- 2.^a 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. Influyen en esta etapa el calor de vaporización y la viscosidad del líquido.
- 3.^a 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.

4.4.25 RECOCIDO.

El recocido tiene diferentes objetivos en el tratamiento térmico del acero y generalmente suele ser de dos clases:

1. **Recocido de primera clase o subcrítico:** Se aplica para eliminar tensiones residuales, acritud, y cambiar forma de la cementita a cementita esferoidal en los aceros de alto carbono para poder trabajarlos mejor. Por lo común mientras mas alta es la temperatura, tanto mas corto puede ser el tiempo de permanencia, pero, de todos modos, para la esferoidización se requiere una permanencia larga. El recocido para eliminar la acritud se efectúa después de la deformación plástica en frío; con ello no solo se reducen las tensiones, sino también la recristalización de la estructura, por eso se le denomina recocido de recristalización.

2. **Recocido de segunda clase o supercrítico:** Tiene como objeto diferentes finalidades, y exactamente:

- Disminución del grano: El recocido de los aceros de bajo y medio carbono se efectúa por calentamiento a unos 20-50 °C por encima de la temperatura de transformación, es decir por encima de la línea F-E (figura 4-2). Bajo estas temperaturas se verifica la transformación del hierro alfa a hierro gamma y la formación de una gran cantidad de granos pequeños de austenita, independientemente del tamaño original de los granos de ferrita o perlita. El enfriamiento ulterior de piezas con grano pequeño de austenita conduce a la formación de granos pequeños de ferrita y perlita. Un calentamiento considerable por encima de la línea F-E, produce no disminución, sino aumento del tamaño del grano.
- Obtención de una estructura equilibrada y más blanda.
- Modificación de la estructura en piezas fundidas: Las estructuras fundidas, muy a menudo suelen ser de grano grueso y la fase sobrante, por ejemplo, la ferrita en el acero de bajo carbono y la cementita secundaria en los de alto carbono, se distribuyen en granos, formando la armazón alrededor de la cual se solidifica la masa restante. Tal estructura se denomina de Widmastatten y tiene una tenacidad menor en comparación con la estructura normal. Durante el recocido no solo se efectúa la disminución del grano, sino también la liquidación de la estructura de Widmastatten.
- Eliminación de las segregaciones dendríticas: El recocido para eliminar la segregación dendrítica que surge durante la solidificación de los lingotes, se denomina recocido de homogenización. Generalmente este recocido se logra durante el calentamiento de los lingotes para su tratamiento por presión en la fabricación de piezas en caliente. La homogenización exige una temperatura muy alta (unos 1000-1100 °C) y una permanencia larga (15 o más horas). Durante este recocido es inevitable el crecimiento del grano, la disminución de este se realiza después por medio de un recocido de recristalización.

4.4.26 NORMALIZACIÓN.

La estructura que surge después del calentamiento hasta las temperaturas que corresponden a la zona de austenita y enfriamiento en el aire, se considera como normal

en el acero. Por eso la normalización corresponde a un recocido supercrítico con enfriamiento al aire.

La cantidad de ferrita o cementita sobrante, después del normalizado, es menor que después del recocido y la perlita está mas dispersa. Por eso el acero normalizado tiene resistencia y tenacidad un poco más alta y una maquinabilidad más baja que el acero recocido.

En la figura 4-6 se muestra un gráfico en el que se destacan las zonas de temperatura utilizadas mas comúnmente para la realización de los diferentes tratamientos térmicos.

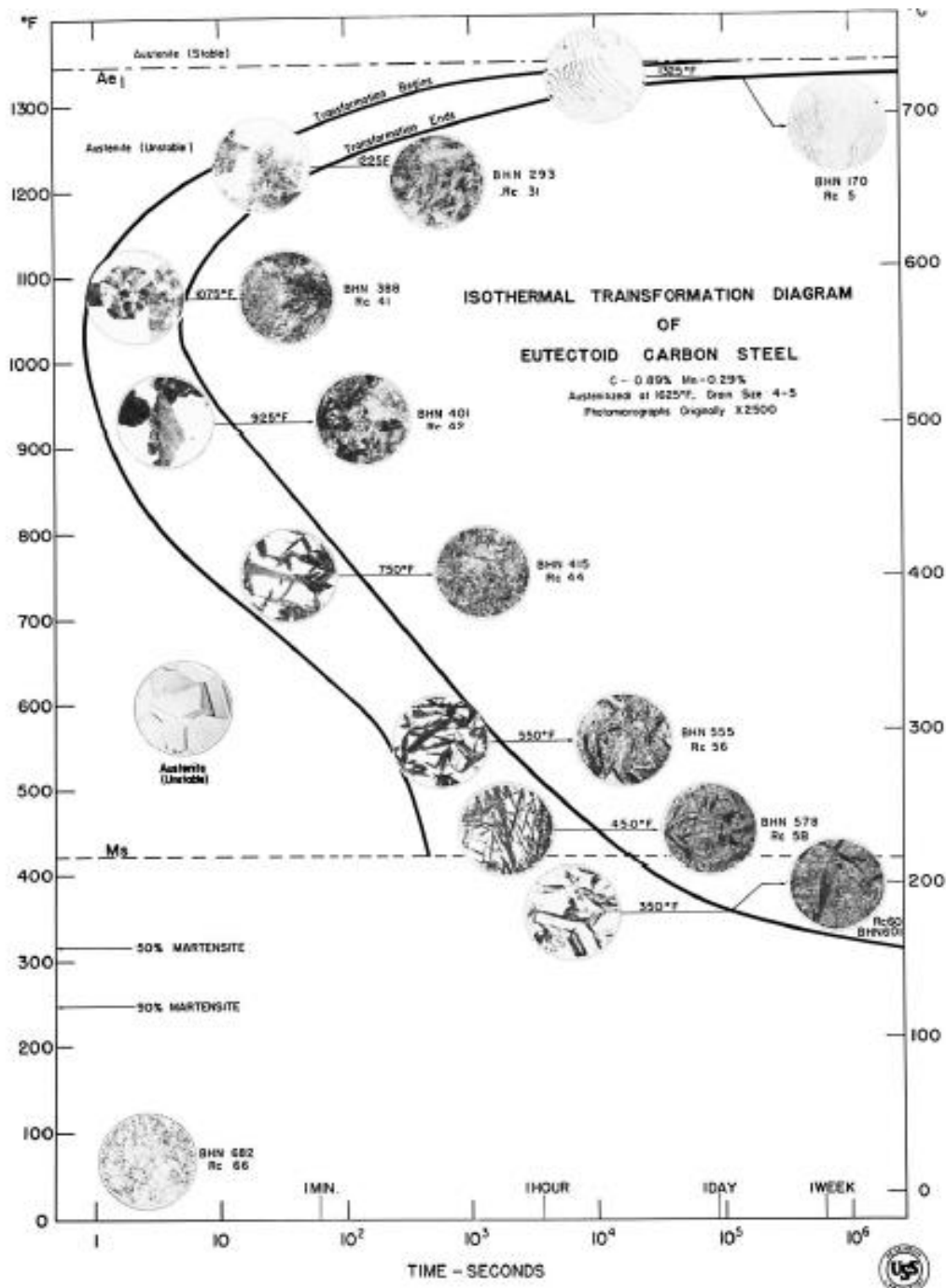


Fig. N° 4-6: Diferentes curvas de tratamiento térmico.

4.4.27 CARACTERÍSTICAS

Se diferencia el normalizado, del recocido de regeneración y del temple, en que el enfriamiento es mucho más lento en el recocido (dentro del horno) y mucho más rápido en el temple (en agua, etc.)

El objeto del normalizado es volver el acero al estado que se supone normal, pues de haber sufrido tratamientos defectuosos, o bien después de haber trabajado en caliente o en frío por forja, laminación, etc. Se consigue así afinar su estructura y eliminar tensiones internas.

Se emplea casi exclusivamente para aceros al carbono de baja aleación: 0,15 a 0,50 por ciento de C.

El resultado de ese tratamiento depende del espesor de la pieza, debido a que las velocidades de enfriamiento son mayores en las piezas delgadas que en las piezas gruesas.

4.4.28 NORMALIZADO DE ACERO SOBRECALENTADO.

Tabla nº 4-2: Temperaturas de normalizado y características obtenidas en aceros al carbono de 25 mm de diámetro

°C	Temperaturas	R Kg/mm ²	E Kg/mm ²	A %	0 Kg/mm ²
0.15	925	45	27	27	23
0.30	880	58	35	20	16
0.50	840	70	42	16	7

4.4.29 ENFRIAMIENTO DEL NORMALIZADO

El tratamiento térmico de normalización del acero se lleva a cabo al calentar aproximadamente a 20°C por encima de la línea de temperatura crítica superior seguida de un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente. El propósito de la normalización es producir un acero más duro y más fuerte que con el recocido total, de manera que para algunas aplicaciones éste sea el tratamiento térmico final. Sin embargo, la normalización puede utilizarse para mejorar la maquinabilidad, modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, refinar el grano y homogeneizar la micro estructura para mejorar la respuesta en las operaciones de endurecimiento.

El hecho de enfriar más rápidamente el acero hace que la transformación de la austenita y la micro estructura resultante se vean alteradas, ya que como el enfriamiento no se produce en condiciones de equilibrio, el diagrama hierro-carburo de hierro no es

aplicable para predecir las proporciones de ferrita y perlita proeutectoide que existirán a temperatura ambiente. Ahora, se tendrá menos tiempo para la formación de la ferrita proeutectoide, en consecuencia, habrá menos cantidad de esta en comparación con los aceros recocidos. Aparte de influir en la cantidad de constituyente proeutectoide que se formará, la mayor rapidez de enfriamiento en la normalización también afectará a la temperatura de transformación de austenita y en la fineza de la perlita. El hecho de que la perlita (que es una mezcla eutectoide de ferrita y cementita) se haga más fina implica que las placas de cementita están más próximas entre sí, lo que tiende a endurecer la ferrita, de modo que esta no cederá tan fácilmente, aumentando así la dureza. El enfriamiento fuera del equilibrio también cambia el punto eutectoide hacia una proporción de carbono más baja en los aceros hipoeutectoides y más alta en los aceros hipereutectoides. El efecto neto de la normalización es que produce una estructura de perlita más fina y más abundante que la obtenida por el recocido, resultando un acero más duro y más fuerte.

4.5 MATERIALES Y METODOS.

4.5.1 MATERIALES.

1. Durómetro de Rockwell

Consta de:

1. Un soporte plano de acero lo suficientemente duro y rígido para prevenir su deformación, el que se encontrará fijado simétricamente debajo del penetrador.
2. Un indicador dial de dureza, el cual está diseñado para medir la profundidad diferencial, la lectura del dial corresponde a la cifra de dureza Rockwell del tipo de ensayo Rockwell realizado.

Cada indicación en el dial o valor de incremento de profundidad del penetrador equivale a una magnitud de 0,002 mm y representa una unidad de dureza. Este dispositivo deberá indicar la carga con un error máximo de 1 %.

3. Una palanca lateral para aplicar la carga principal (P1).
4. Una manilla giratoria para elevar el soporte rígido, que además permite la aplicación de la carga inicial (Po).
5. Indicador de escala.
6. Tornillo regulador de escala, permite ajustar la máquina a la escala deseada. Esta máquina de ensayo permitirá la aplicación de la carga en forma perpendicular a la

superficie de la pieza, además de permitir la mantención de la carga de trabajo durante el tiempo especificado de manera constante.

2. Penetradores

Para la escala B:

Se utilizar un penetrador esférico de acero templado y de una superficie finamente pulida. El diámetro de la esfera será de $1,588 \text{ mm} \pm 0,0035 \text{ mm}$, útil también para las escalas F, G, T-15, T-30 y T-45.

Para la escala C:

Se utiliza un penetrador de forma cónica y con punta de diamante, el ángulo en el vértice del cono será de 120° y la terminación del cono será de forma casquete esférico, con un radio de $0,2 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

Este tipo de penetrador se emplea también para los ensayos en escala A y D.

3. Calibre patrón de Dureza

La dureza de la probeta deberá estar previamente certificada por un laboratorio oficial en cinco puntos de su superficie, poseer un grosor mínimo de 4,8 mm y una superficie de 26 mm². Este calibre patrón se utilizará para calibrar o verificar que el durómetro esté en la escala correspondiente y en perfectas condiciones para realizar el ensayo.

Nota: Para la escala B, se utilizará un patrón que posee un campo de validez de 65,5 a 67,5 HRB, y para la escala C un calibre con un rango de 62 a 64 HRC.

4. Tabla de Equivalencia

Tabla N° 4-3: Escala de dureza Rockwell.

Escala Rockwell	Tipo de ensayo	Color y situación de la escala donde se hace la lectura		Tipo de penetrador	Campo de Validez	Carga inicial	Carga total
B	Normal	Rojo	Dentro	Bola de acero de 1,588 mm	35 a 100 HRB	10 Kp	100 Kp
C	Normal	Negro	Fuera	Cónico de Diamante de 120°	20 a 71 HRC	10 Kp	150 Kp

1. Horno de Tratamiento Térmico.
2. Balones de gas 40 kilos.
3. Probetas de Ensayo.

Para el ensayo de Dureza Rockwell se utilizaran 2 probetas,

Escala B, compuesta por:

SAE 1045

4. Esmeril Bosh
5. Disco de corte de 9"
6. Disco de Desbaste de 9"
7. Pulidora

4.5.2 MÉTODOS.

1. SELECCIÓN DE PROBETAS.

Luego de la fundición de las piezas, estas serán trabajadas en el Área de Acabados de la Empresa Fundición Wayras S.A.C, dichas piezas traen consigo, alimentadores, ataques, bebederos y canales del cual de este último cortaremos con el esmeril con un disco de corte nuestras 2 muestras representativas para cada tipo de material a analizar, de las cuales 1 probeta será sometida a Tratamiento Térmico.



Fig. N° 4-7: Pulido mecánico.

2. TRATAMIENTO TERMICO.

En cuanto a los tipos de tratamientos térmicos que se llevan a cabo en el Área de Acabados de la Empresa Fundición Wayras S.A.C. para el acero SAE 1045 es:

SAE 1045:

TRATAMIENTO TERMICO: Normalizado
TEMPERATURA : 925C°
TIEMPO : 8 horas

Nuestra probeta, será sometida a Tratamiento Térmico, junto a las piezas del mismo tipo de material, Luego de Tratamiento, el enfriamiento será a temperatura ambiente.



Fig. N° 4-8: Probeta en el horno de tratamiento térmico.

4.6. RESULTADOS.

a) SAE 1045 AS CAST

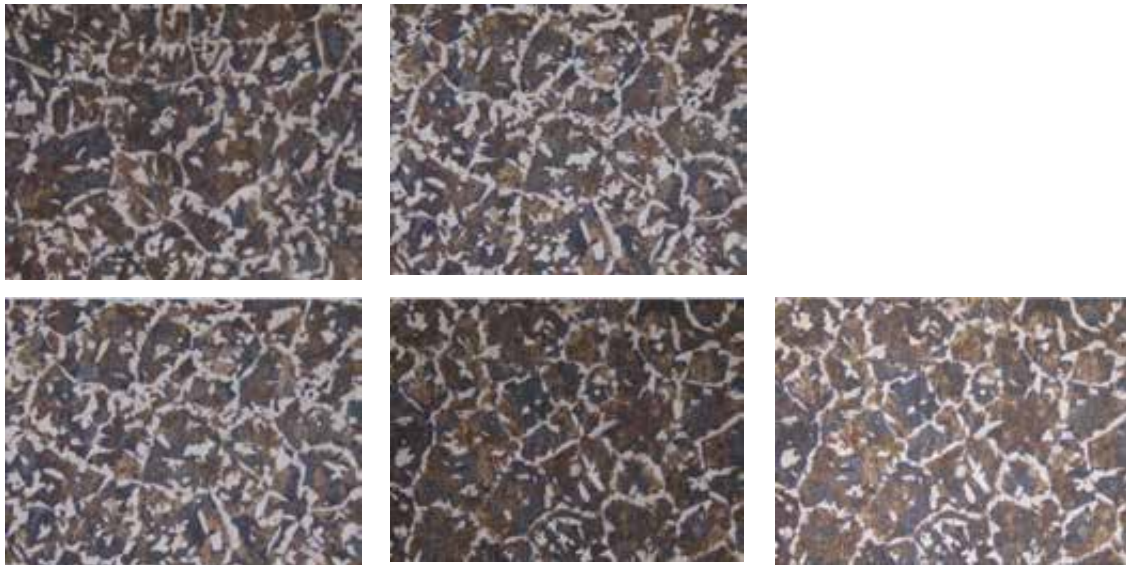


Fig. N° 4-9: Foto de ampliación 100X en microscopio metalográfico



Fig. N° 4-10: Foto de ampliación 100X en microscopio metalográfico



Fig. N° 4-11: Foto de ampliación 500X en microscopio metalográfico





Fig. N° 4-12: Foto de ampliación 1000X en microscopio metalográfico

b) SAE 1045 NORMALIZADO

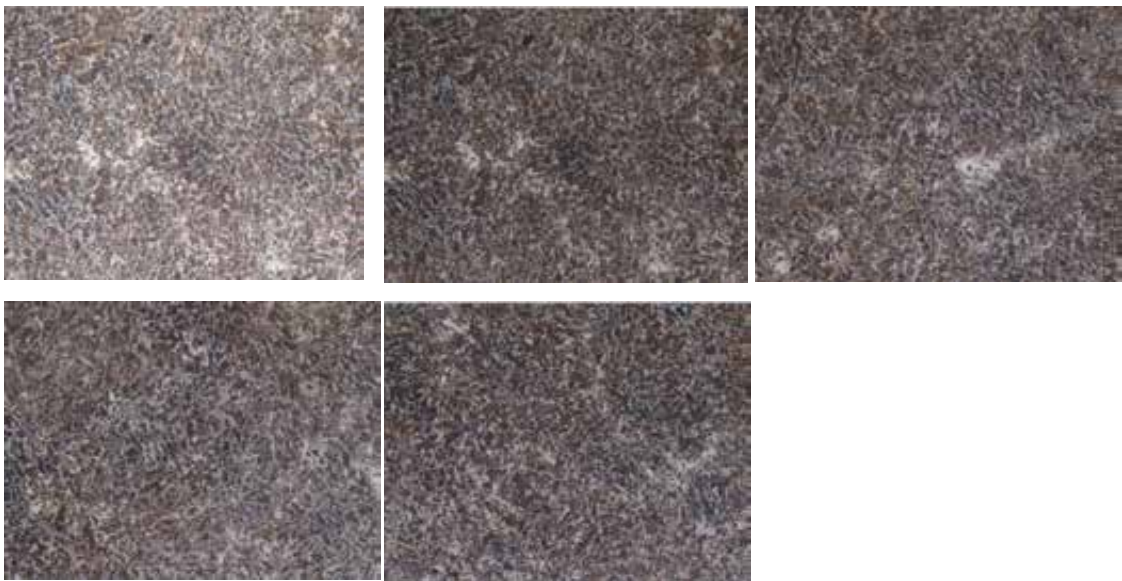


Fig. N° 4-13: Foto de ampliación 100X en microscopio metalográfico



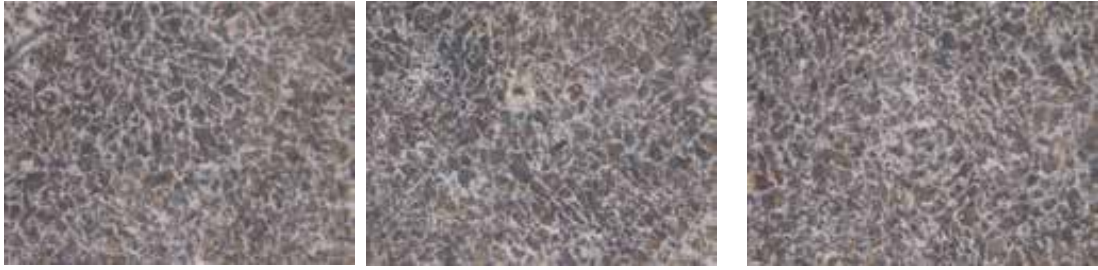


Fig. N° 4-14: Foto de ampliación 200X en microscopio metalográfico

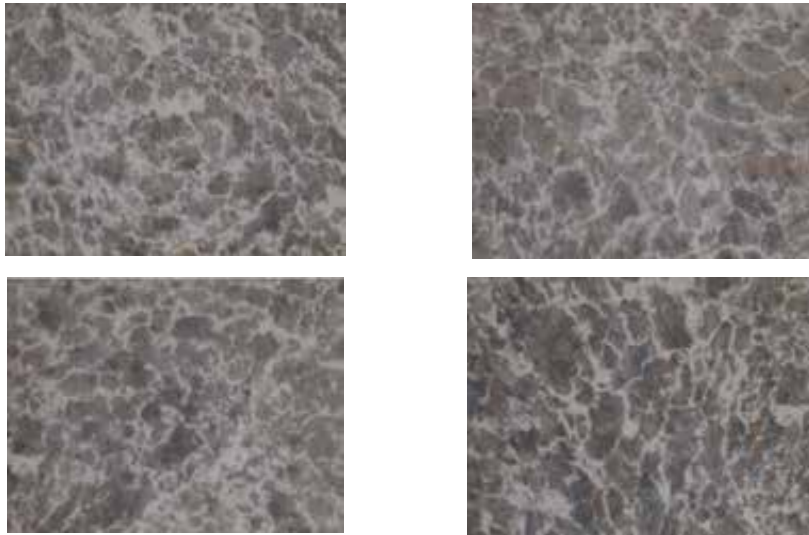


Fig. N° 4-15: Foto de ampliación 500X en microscopio metalográfico

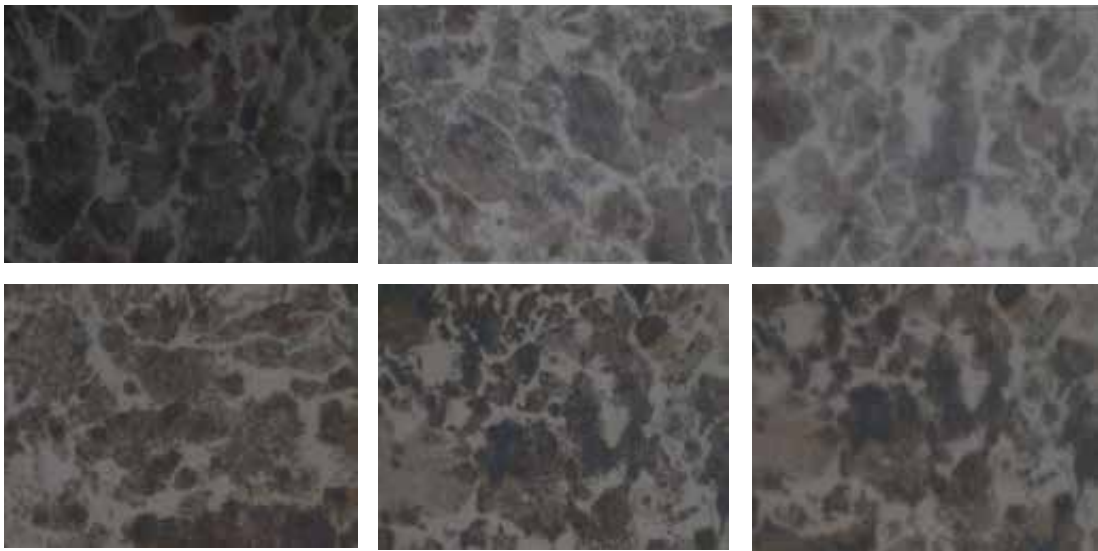




Fig. N° 4-16: Foto de ampliación 1000X en microscopio metalográfico

c) SAE 1045

1. PROBETA Nro. 1 (en As Cast)

N° ENSAYO	HRb	HB	PROMEDIOS
1	96	175.36	97.1HRb 177.36HB
2	98	179.01	
3	97	177.18	
4	97	177.18	
5	97.5	178.09	

2. PROBETA Nro. 2 (con tratamiento térmico)

N° ENSAYO	HRb	HB	PROMEDIOS
1	82	149.78	81.4HRc 148.69HB
2	81.2	148.32	
3	81.4	148.69	
4	81	147.96	
5	81.4	148.69	

4.7. DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

1. Se debe calibrar la maquina al inicio y al final de una serie de ensayos en una misma escala.
2. Verificar que este aplicada correctamente la carga inicial de 10 Kp, para lo cual, la aguja debe pasar dos veces por el cero, y a la tercera vez quedar allí.

3. Después de aplicar la carga inicial $P_0 = 10 \text{ Kp}$, se debe coincidir la aguja con el cero del dial indicador de dureza, tratando de que la aguja este vertical y apuntando hacia arriba.
4. Para comprobar la validez del ensayo se deben realizar al menos 5 ensayos.
5. Una vez realizadas las cinco mediciones de una misma probeta, y con las lecturas obtenidas, calcularemos la media aritmética que nos entregará el resultado del ensayo Rockwell.
6. Se evitará hacer una nueva penetración sobre otra penetración.

CONCLUSIONES.

1. El ensayo Rockwell es uno de los más utilizados, porque no constituye una gran pérdida de material, incluso es posible reutilizar la pieza.
2. Este tipo de ensayo es fácil de llevar a cabo, porque no implica mayores cálculos matemáticos y el resultado de cada ensayo se obtiene de la directa lectura del dial.
3. Es un ensayo que nos deja como resultado, después del cálculo de la media aritmética, un valor bastante exacto sobre la dureza del material.
4. El ensayo Rockwell es de amplia aplicación pues se puede utilizar tanto en materiales duros como blandos.
5. Es fácil el reconocimiento de resultados erróneos, porque varía mucho la lectura entre un ensayo y otro.
6. Es fácil determinar si hemos aplicado a una pieza, una fuerza de una escala que no corresponde, porque los resultados no están dentro del campo de validez de la escala.
7. Se conoció y aprendió a utilizar una máquina de dureza Rockwell.
8. Se logró determinar la dureza Rockwell en las escalas B y C, en los materiales.
9. Por la rapidez y sencillez de los ensayos se pueden efectuar numerosos en muy poco tiempo y así verificar la autenticidad de los resultados.

RECOMENDACIONES.

1. Se debe calibrar la maquina al inicio y al final de una serie de ensayos en una misma escala.
2. Verificar que este aplicada correctamente la carga inicial de 10 Kp, para lo cual, la aguja debe pasar dos veces por el cero, y a la tercera vez quedar allí.
3. Después de aplicar la carga inicial $P_0 = 10 \text{ Kp}$, se debe coincidir la aguja con el cero del dial indicador de dureza, tratando de que la aguja este vertical y apuntando hacia arriba.
4. Para comprobar la validez del ensayo se deben realizar al menos 5 ensayos.
5. Una vez realizadas las cinco mediciones de una misma pieza, y con las lecturas obtenidas, calcularemos la media aritmética que nos entregará el resultado del ensayo Rockwell.
6. Se evitará hacer una nueva penetración sobre otra penetración

BIBLIOGRAFIA.

1. ASM International. ASM Handbook (1977). Tratamiento Térmico Vol 7. Eighth Edition.
2. Avner, Sydney H. (1988). Introducción A La Ingeniería Metalúrgica, Edit. Mc Graw-Hill, México.
3. Donald R. Askeland. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Publicación México: International Thomson Editores.
4. F.A. Calvo (1971). Metalografía Práctica. Editorial Alhambra.
5. John E. Neely. Practical Metallurgy and Materials of Industry.
6. Kleven ,S.- Piecko,E.J. and Hughes,T (1997). Materials Evaluation, January (1997).
7. T. Fernández (1988). Metalografía de Aceros y Fundiciones. Gráficas Urania S.A.
8. Taylor, F. Howard, Fleming, O. Merton (1962). Fundición Para Ingenieros, - Edit. Continental S.A, México D.F.
9. Víctor Vega Guillen (2009). El Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) vvegag@unmsm.edu.pe.
10. William F. Smith. (1996). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. 2º edición.
11. <http://kambry.es/Apuntes%20Web/Tratamientos%20termicos.pdf>
12. <http://materias.fi.uba.ar/7201/TRATAMIENTOS%20TERMICOS.pdf>
13. http://www.dimf.upct.es/personal/MM_I/Practicas%20Materiales.pdf

ANEXOS

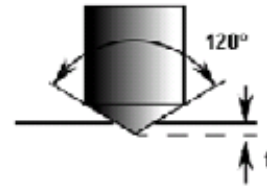
A.2 Cálculos y/o Procedimientos, complementarios

Ensayo ROCKWELL A, C, D

Indentador: Cono de diamante
(HRA, HRC, HRD)

Carga:

$$\begin{aligned}P_A &= 60 \text{ Kg} \\P_C &= 150 \text{ Kg} \\P_D &= 100 \text{ Kg}\end{aligned}$$



Formula:

$$\text{HRA, HRC, HRD} = 100 - 500t$$

A.3 Diagramas y/o figuras, complementarios

Ensayo ROCKWELL B, F, G, E

Indentador:

Esfera de acero $f = 1/16$ "

(HRB, HRF, HRG)

Esfera de acero $f = 1/8$ "

(HRE)

Carga:

$$\begin{aligned}P_B &= 100 \text{ Kg} \\P_F &= 60 \text{ Kg} \\P_G &= 150 \text{ Kg} \\P_E &= 100 \text{ Kg}\end{aligned}$$

Formula:

$$\text{HRB, HRF, HRG, HRE} = 130 - 500t$$

