



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA
DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

Edgar Roberto Ramírez Espinal

Asesorado por el Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA
DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR ROBERTO RAMÍREZ ESPINAL

ASESORADO POR EL ING. VICTOR MANUEL RUIZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 27 de mayo de 2013.



Edgar Roberto Ramírez Espinal

Guatemala 17 de febrero de 2014.

Ing. Julio César Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Campos:

Cordialmente me dirijo a usted para hacerle de su conocimiento que he asesorado el trabajo de graduación titulado "**Práctica de nitrocarburoción en piezas de acero H-13 según la Norma DIN 17211 en el Laboratorio de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, USAC**" realizado por el estudiante de ingeniería mecánica Edgar Roberto Ramírez Espinal.

El trabajo ha sido revisado y en la calidad de asesor, doy mi aprobación al mismo, por lo que considero puede continuarse con el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo a usted. Atentamente,



Victor Manuel Ruiz Hernández
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO 4620

Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández

Colegiado 4620

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

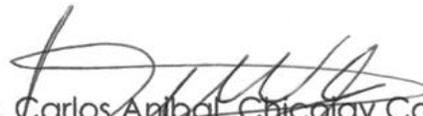


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ref.E.I.Mecanica.31.2014

El Coordinador de los Laboratorios, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC,** del estudiante **Edgar Roberto Ramírez Espinal**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicajay Coloma
Coordinador de Laboratorios



Guatemala, febrero de 2014.



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.60.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con la aprobación del Coordinador de Laboratorios del trabajo de graduación titulado **PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, del estudiante **Edgar Roberto Ramírez Espinal**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, marzo de 2014.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN EN PIEZAS DE ACERO H-13 SEGÚN LA NORMA DIN 17211 EN EL LABORATORIO DE METALURGIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC,** presentado por el estudiante universitario: **Edgar Roberto Ramírez Espinal,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, marzo de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Padre que enseña el buen camino en cada etapa de mi vida. Pilar fundamental de enseñanza. Por su infinita voluntad de permitirme culminar esta etapa.
- Virgen María** Madre que protege en toda situación con su amor. Gracias por guiar mis acciones e iluminar mis pensamientos.
- Mis padres** Edgar Roberto Ramírez Marroquín, Gilda Esperanza Espinal de Ramírez. Con su amor y apoyo he logrado toda meta propuesta. Este triunfo es de ustedes.
- Mis hermanos** Luis Roberto y Sofía Monserrat Ramírez Espinal, como parte importante en mi vida, es una muestra de la gran unión que existe entre nosotros.
- Mis abuelos** Efrain Espinal Jumique (q.e.p.d.), Rosario de Espinal, José Luis Ramírez (q.e.p.d.) y Leticia del Carmen Marroquín. Por sus consejos e influencia en mi vida.

Mi tía

Noemí Espinal, sin importar la distancia ha sido otro apoyo en toda ocasión. Muchas gracias por tu cariño.

Mi familia

Tíos, primos y sobrinos. Gracias por su cariño.

Mi asesor

Por su guía, las enseñanzas recibidas y atención oportuna en todo momento.

Mis amigos

Todos aquellos que participaron en esta etapa, en especial a Carlos Coronado, Darlineth Alonzo, Débora Calderón, Dennis Pérez, Edwin Salas y Manuel Echeverría, por su amistad, colaboración y experiencias vividas a lo largo de esta aventura.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma máter que ofreció una grandiosa oportunidad de superación personal.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segunda casa y por todo el conocimiento recibido.
Escuela de Mecánica	Escuela que brindó la formación para convertirme en un profesional. Al igual que los medios necesarios para concluir este proyecto.
INTECAP	Por su colaboración y las enseñanzas recibidas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. INTRODUCCIÓN A LOS ACEROS.....	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Aceros utilizados para nitrocarburation.....	4
1.1.1.1. Acero AISI H-13.....	7
1.1.1.2. Acero AISI 1045.....	8
1.2. Especificaciones de ensayo de dureza	9
1.2.1. Ensayo de dureza Brinell.....	9
1.2.2. Ensayo de dureza Vickers	10
1.2.3. Ensayo de dureza Rockwell C	11
1.3. Especificaciones de ensayo micrográfico	14
2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS	19
2.1. Temple.....	20
2.2. Revenido	28
2.3. Normalizado	29
2.4. Recocido.....	30

3.	TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS	31
3.1.	Cementación	34
3.2.	Nitruración.....	37
3.3.	Nitrocarburoción.....	41
3.3.1.	Tipos de nitrocarburoción	42
3.3.1.1.	Nitrocarburoción sólida.....	42
3.3.1.2.	Nitrocarburoción gaseosa.....	42
3.3.1.3.	Nitrocarburoción por sales fundidas	43
3.3.2.	Composición y estructura	43
3.3.3.	Ventajas y desventajas de la nitrocarburoción	46
3.3.3.1.	Ventajas	46
3.3.3.2.	Desventajas.....	46
3.3.4.	Aplicaciones de la nitrocarburoción	47
4.	HORNOS	49
4.1.	Tipos de hornos	49
4.1.1.	Hornos calentados por productos de combustión ...	49
4.1.2.	Hornos calentados por resistencia eléctrica	51
4.1.3.	Hornos calentados por arco eléctrico	52
5.	REACTIVOS	55
5.1.	Código NFPA 704	55
5.1.1.	Azul/Salud	56
5.1.2.	Rojo/Inflamabilidad.....	56
5.1.3.	Amarillo/Reactividad.....	57
5.1.4.	Blanco/Especial.....	58
5.2.	Cianuro de potasio	59
5.2.1.	Generalidades	59
5.2.2.	Efectos sobre la salud	59

	5.2.3.	Almacenamiento	60
	5.2.4.	Impacto ambiental	60
5.3.		Carbonato de sodio	61
	5.3.1.	Generalidades	61
	5.3.2.	Efectos sobre la salud	62
	5.3.3.	Almacenamiento	62
	5.3.4.	Efecto ambiental	62
5.4.		Cloruro de sodio	63
	5.4.1.	Generalidades	64
	5.4.2.	Efectos sobre la salud	64
	5.4.3.	Almacenamiento	64
	5.4.4.	Efecto ambiental	64
5.5.		Ácido nítrico	65
	5.5.1.	Generalidades	65
	5.5.2.	Efectos sobre la salud	66
	5.5.3.	Almacenamiento	66
	5.5.4.	Efecto ambiental	67
5.6.		Alcohol etílico	67
	5.6.1.	Generalidades	68
	5.6.2.	Efectos sobre la salud	68
	5.6.3.	Almacenamiento	68
	5.6.4.	Efecto ambiental	69
6.		NORMAS DE SEGURIDAD	71
	6.1.	Equipo de protección	71
		6.1.1. Preparación del compuesto de sales	71
		6.1.2. Proceso de difusión en metales	72
		6.1.3. Ataque químico de probetas	72

6.2.	Reglamento de seguridad durante la práctica.....	73
6.2.1.	Resguardo de los participantes	73
6.2.2.	Aspectos a considerar durante el proceso	74
6.2.3.	Almacenamiento de reactivos	74
6.2.4.	Aspectos ambientales	74
6.3.	Primeros auxilios.....	75
6.3.1.	Botiquín de primeros auxilios	75
6.3.2.	Contaminación por contacto dérmico	76
6.3.3.	Contaminación por contacto ocular	76
6.3.4.	Ingestión de productos químicos.....	76
6.3.5.	Inhalación de vapores	77
6.3.6.	Quemaduras.....	77
7.	MARCO PRÁCTICO	79
7.1.	Especificaciones de probetas.....	79
7.2.	Equipos utilizados	80
7.2.1.	Insumos usados en la práctica	80
7.2.2.	Equipo de medición.....	80
7.2.3.	Equipo de fundición.....	81
7.2.4.	Equipo de observación.....	81
7.3.	Guía práctica de ensayo de nitrocarburation.....	81
7.4.	Procedimiento general de ensayo de nitrocarburation en horno diésel y eléctrico.....	83
7.4.1.	Nitrocarburation de probetas 1045, horno con quemador diésel.....	88
7.4.1.1.	Generalidades	88
7.4.1.2.	Datos experimentales.....	91
7.4.1.3.	Análisis de resultados	97

7.4.2.	Nitrocarburación de probetas H-13, horno eléctrico	98
7.4.2.1.	Generalidades	98
7.4.2.2.	Datos experimentales	103
7.4.2.3.	Análisis de resultados	109
CONCLUSIONES		111
RECOMENDACIONES		113
BIBLIOGRAFÍA		115
APÉNDICES		119
ANEXOS		121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Microestructuras posibles en estado de suministro.....	2
2.	Diagrama hierro-carbono.....	3
3.	Forma de la depresión de ensayo Brinell	10
4.	Forma de la depresión de ensayo Vickers	11
5.	Forma de la depresión de ensayo Rockwell C	12
6.	Tabla de conversión de dureza, aceros no austeníticos.....	13
7.	Diagrama de un microscopio metalográfico	14
8.	Dimensionamiento y rectificado de probetas en torno CNC	15
9.	Pulidora de disco BUEHLER	16
10.	Efecto del ataque químico en una superficie pulida	17
11.	Ciclo de permanencia.....	19
12.	Austenita x 100.....	20
13.	Dimensión mínima de pieza sólida.....	21
14.	Dimensión mínima en pieza con forma de anillo	22
15.	Dimensión mínima en cilindros huecos	23
16.	Dimensión mínima en cilindros huecos con uno o ambos extremos cerrados	24
17.	Diámetro efectivo de pieza irregular	24
18.	Diagrama TTT de un acero con 0,3 % C	25

19.	Estructuras moleculares después del temple.....	26
20.	Etapas de enfriamiento brusco de una probeta	27
21.	Horno con ventilador para revenido de piezas.....	28
22.	Estructuras moleculares después del revenido.....	29
23.	Tendencia del proceso de difusión	31
24.	Difusión de átomos en la superficie de un material.....	32
25.	Difusión intersticial de carbono	33
26.	Difusión sustitucional	33
27.	Microestructura de la capa cementada	36
28.	Diagrama hierro-nitrógeno	39
29.	Microestructura de una capa nitrurada de hierro	40
30.	Horno estacionario de atmósfera controlada	42
31.	Microestructura de una capa de nitrocarburo en sales.....	43
32.	Obtención de carbono y nitrógeno elemental.....	44
33.	Carburos en acero rápido	44
34.	Diagrama de fases Fe-C-N, tratamiento de nitrocarburo.....	45
35.	Esquema de un quemador atmosférico SEDIGAS.....	50
36.	Quemador diésel Combustion Technology Inc.	51
37.	Horno eléctrico, Thermolyne	52
38.	Diamante de materiales peligrosos código NFPA 704.....	58
39.	Clasificación de cianuro de potasio en código NFPA 704.....	61
40.	Clasificación de carbonato de sodio en código NFPA 704.....	63
41.	Clasificación de cloruro de sodio en código NFPA 704.....	65
42.	Clasificación de ácido nítrico en código NFPA 704.....	67

43.	Clasificación de alcohol etílico en código NFPA 704.....	69
44.	Equipo de seguridad personal.....	72
45.	Probeta acero 1045 en estado de suministro	79
46.	Microscopio óptico Nikon.....	81
47.	Guía práctica de ensayo de nitrocarburation	82
48.	Pulido de probetas	83
49.	Medición de dureza superficial de probetas	84
50.	Acabado superficial inadecuado de nitrocarburation	84
51.	Amarre de probetas pulidas y desengrasadas	85
52.	Composición en peso del medio saturante.....	86
53.	Enfriamiento súbito de probetas	87
54.	Probetas pulidas – atacadas con reactivo químico	88
55.	Horno artesanal de quemador diésel	89
56.	Crisol cilíndrico de acero	90
57.	Probetas de acero 1045 nitrocarburation	90
58.	Probetas 1045, probeta 0 – probeta nitrocarburation	91
59.	Microfotografía probeta 0 acero 1045, 500 X	92
60.	Microfotografía probeta 1 acero 1045, 500 X	93
61.	Microfotografía probeta 2 acero 1045, 500 X	93
62.	Microfotografía probeta 3 acero 1045, 500 X	94
63.	Microfotografía probeta 4 acero 1045, 500 X	94
64.	Microfotografía probeta 5 acero 1045, 500 X	95
65.	Microfotografía probeta 6 acero 1045, 500 X	95
66.	Crisol dentro horno eléctrico.....	99

67.	Crisol rectangular de acero	100
68.	Probetas de acero H-13 en estado suministro, temple y revenido antes de nitrocarburar	102
69.	Probetas de acero H-13 nitrocarburadas	102
70.	Microfotografía probeta 0 acero H-13, 500 X	105
71.	Microfotografía probeta 1 acero H-13, 500 X	105
72.	Microfotografía probeta 2 acero H-13, 500 X	106
73.	Microfotografía probeta 3 acero H-13, 500 X	106
74.	Microfotografía probeta 4 acero H-13, 500 X	107
75.	Microfotografía probeta 5 acero H-13, 500 X	107
76.	Microfotografía probeta 6 acero H-13, 500 X	108

TABLAS

I.	Composición química de aceros de nitruración – H-13, 1045.....	7
II.	Dureza superficial de probetas acero 1045 nitrocarburadas en horno diésel	92
III.	Dureza superficial de probetas acero H-13.....	103
IV.	Dureza superficial probetas acero H-13 expuestas a 60 minutos en baño de sales fundidas, horno eléctrico.....	104
V.	Dureza superficial probetas acero H-13 expuestas a 90 minutos en baño de sales fundidas, horno eléctrico.....	104

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
α	Alfa. Letra del alfabeto griego
Al	Aluminio
S	Azufre
C	Carbono
Cr	Cromo
ϵ	Épsilon. Letra del alfabeto griego
P	Fósforo
gal	Galones. Medida de volumen inglés
γ	Gamma. Letra del alfabeto griego
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
g/mol	Gramos/mol. Medida de peso atómico
H	Hidrógeno

h	Hora
Kg	Kilogramo
Mn	Manganeso
pH	Medida de acidez o alcalinidad de una sustancia
ml	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
Mo	Molibdeno
Ni	Níquel
O	Oxígeno
Si	Silicio
Tc	Tiempo de calentamiento
Te	Tiempo de enfriamiento
Tm	Tiempo de permanencia
V	Vanadio

GLOSARIO

Acero bonificado	Acero templado y revenido previamente.
Ácido	Solución que muestra un pH menor que 7. Presenta una concentración de iones hidrógeno H ⁺ mayor que la de iones hidróxilo OH ⁻ .
AISI	American Iron and Steel Institute. Instituto Americano del Hierro y el Acero.
Aleación	Combinación de dos o más elementos, de los cuales al menos uno es metal.
Alotrópico	Propiedad de un material de presentar estructuras químicas diferentes.
ASTM	American Society for Testing and Materials. Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.
Austenita	Estructura cristalina del hierro-carbono dada como cúbica centrada en las caras. Esta forma del hierro puro es estable a temperaturas de 910 - 1 400 °C. No tiene características magnéticas.
Bainita	Mezcla de estructuras de ferrita – cementita. El carbono se divide por difusión entre las fases.

Base	Sustancia que en disolución acuosa aporta iones OH ⁻ al medio. Presenta un pH mayor a 7.
Carburos	Compuestos que surgen a partir de la unión de carbono y un elemento E más electropositivo, de forma E _x C _y .
Cementita	Carburo de hierro Fe ₃ C. Es el constituyente más duro del acero con un contenido fijo de 6,67 % de carbono.
Corrosivo	Sustancia que puede destruir o dañar irreversiblemente otra sustancia o superficie, en la cual entra en contacto por reacción química.
Criogénico	Conjunto de técnicas utilizadas para enfriar un material a la temperatura de ebullición del nitrógeno (-195,79 °C) o aún más bajas.
Crisol	Recipiente que es capaz de contener compuestos fundidos dentro de un horno.
DIN	Deutsches Institut für Normung. Instituto Alemán de Normalización.
Dúctil	Propiedad de algunos materiales a deformarse sosteniblemente y estirarse en forma de hilos o alambres sin romperse.

Dureza	Resistencia que ofrece un material al ser penetrado, rayado o desgastado.
Efecto Venturi	Un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar su velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en este punto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido que va a pasar a través del segundo conducto.
Ferrita	Microestructura de hierro que cristaliza en el sistema cúbico centrado de cuerpo. Constituyente más blando del acero. Exhibe propiedades magnéticas.
Ferroaleaciones	Elementos químicos usados en aleaciones de hierro. Se enlistan como principales el manganeso, cromo, molibdeno, titanio, vanadio, silicio, boro y fósforo.
Fisura	Defecto o hendidura presente en un cuerpo sólido.
Fragilidad	Propiedad de un material para fracturarse con escasa deformación.
Fresadora	Máquina herramienta que realiza mecanizados por arranque de viruta mediante cortadores giratorios de varios filos llamados fresas.

Grano	Agrupación mínima de átomos orientados en una misma dirección y enlazados de tal forma que constituyen un cristal elemental.
Hierro α	Hierro que se muestra por debajo de 910 °C con sistema reticular cúbico centrado en cuerpo.
Hierro γ	Hierro presente entre 910 °C y 1 400 °C con sistema reticular cúbico centrado en las caras.
<i>Liners</i>	Camisas, cilindros que alojan elementos mecánicos como pistones, ejemplo de aplicación en un motor de combustión interna.
Maleable	Material blando que puede ser deformado hasta obtener láminas sin romperse.
Martensita	Estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo, con una sobresaturación de carbono. Más tenaz que un acero perlítico; es producido por un enfriamiento rápido a partir de la austenita.
Mol	Cantidad de materia que contiene $6,022 \times 10^{23}$ unidades elementales, en el caso de los reactivos, moléculas.
Nital	Reactivo químico utilizado en el ataque superficial de probetas para ensayos micrográficos compuesto por 95 % de alcohol etílico y 5 % de ácido nítrico.

Nitruros	Compuestos inorgánicos formado por nitrógeno y otro elemento más electropositivo.
Oxidante	Compuesto químico que oxida a otra sustancia en reacciones electroquímicas. El compuesto oxidante se reduce (gana electrones).
Perlita	Microestructura formada por capas de ferrita y cementita durante el enfriamiento lento de un acero a temperatura eutectoide.
Plasticidad	Propiedad de un material de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando es sometido a tensiones por encima de su rango elástico.
Templabilidad	Es la propiedad que determina en un acero la profundidad y distribución de la dureza producida por temple.
Tenaz	Cualidad de un material para absorber una cantidad considerable de energía de deformación antes de alcanzar la rotura por acumulación de dislocaciones.
Torno	Máquina herramienta que hace girar la pieza a mecanizar mientras la herramienta de corte avanza contra la superficie de la pieza cortando la viruta, según requiera el proceso.

RESUMEN

En general, se hace referencia a la descripción de los tipos más comunes de tratamientos termoquímicos en la industria abarcando la cementación, nitruración y nitrocarburation. Se enlistan las características principales de cada proceso, aplicaciones en la industria, los medios saturantes existentes, tipos de hornos utilizados, intervalos de temperatura, tiempos de permanencia y resultados finales esperados.

Como punto central se describe la práctica de nitrocarburation de piezas metálicas consistió en el sometimiento de probetas de acero 1045 y H-13 a un baño de sales fundidas a una temperatura aproximada de 600 grados Celsius en intervalos de tiempo arbitrarios para alterar sus propiedades mecánicas.

Se proporciona información técnica de los aceros utilizados, condiciones de operación del tratamiento termoquímico establecido por la Norma DIN 17211 y especificaciones tanto del ensayo de dureza como de micrografías para la evaluación del proceso.

Debido a que este tema incluye el manejo de productos químicos es de suma importancia dar a conocer las características y riesgos potenciales de los reactivos, requisitos del equipo de protección personal necesario, así como, establecer un reglamento de seguridad interno para proporcionar una práctica no perjudicial a la salud de los participantes dentro del Laboratorio de Metalurgia.

OBJETIVOS

General

Proponer la práctica de nitrocarburation en piezas de acero H-13 en el Laboratorio de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, USAC.

Específicos

1. Definir qué es un tratamiento termoquímico, tipos existentes y métodos utilizados en la industria.
2. Incrementar las expectativas del estudiante proporcionándole conocimiento práctico sobre tratamientos termoquímicos.
3. Instruir al estudiante sobre las medidas de seguridad que requiere la manipulación y uso de los insumos de la práctica.
4. Proponer una guía práctica para los cursantes del Laboratorio de Metalurgia en donde se normalice el procedimiento de la práctica y se especifiquen las características de las probetas a utilizar.

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos termoquímicos conforman un grupo de procedimientos que alteran las propiedades mecánicas de los elementos por medio de la formación de una capa protectora y endurecimiento superficial, con el fin de optimizar su funcionalidad. Sus aplicaciones abarcan la producción de componentes mecánicos, utensilios o herramientas.

Este tipo de procesos consisten en modificar la resistencia superficial de las piezas a través de la difusión de elementos químicos, dado por varios procedimientos que, en función de la aportación de calor y el contacto con diversos compuestos, originan un cambio en la estructura molecular superficial. Modifican las propiedades dadas en condición inicial, como es el endurecimiento exterior, mejoramiento de la tenacidad e incremento de la resistencia a altas temperaturas, condiciones necesarias para una aplicación en específico, donde se es indispensable que no se comprometa la estabilidad estructural interna de la pieza.

Existen diversos procesos definidos en función del elemento químico a difundir, resaltando la carburación, nitruración y nitrocarburación. Estos se subdividen según el método requerido para llevar a cabo el tratamiento termoquímico. Se distinguen los medios gaseosos, hornos herméticos de atmósfera controlable; baños de sales fundidas contenidas en crisoles dentro de hornos convencionales; reacción iónica o de plasma, sometimiento de tensiones eléctricas a las piezas con atmósfera controlada y medios sólidos a partir de recubrimientos de pastas o material granulado.

La exigencia de piezas con mejores propiedades en la industria requiere preparar a los futuros profesionales de la ingeniería con el conocimiento teórico-práctico sobre tratamientos termoquímicos, por lo que un aporte, es realizar la práctica de nitrocarburation de piezas de acero por baño de sales fundidas en el Laboratorio de Metalurgia, representando un proceso didáctico para el estudiante de pregrado y posgrado de la escuela de Ingeniería Mecánica.

Dicha práctica consistió en utilizar probetas de acero 1045 y H-13 en presentación de ejes de 25,4 milímetros x 12,7 milímetros, que fueron sumergidas en un baño de nitrocarburation a una temperatura aproximada de 600 grados Celsius, en intervalos de tiempo establecidos, lo que modificó sus propiedades mecánicas superficiales. Se tabuló los datos iniciales y finales de dureza, así como, un análisis cualitativo de microfotografías a cada probeta para determinar la efectividad del proceso.

Esto implica una aportación adicional dentro del pènsuim de estudios necesarios del egresado, para mejorar las competencias laborales en las áreas de manufactura y metalúrgica, expandiendo los límites de cualquier proyecto que lo requiera en función del material y sus propiedades.

Como todo proceso industrial surgen riesgos de accidentes laborales, por lo tanto, se guía al estudiante con una serie de normas sencillas de seguridad que manifiestan la precaución necesaria para la manipulación de reactivos químicos. También se incluye indicaciones básicas de primeros auxilios en el caso de ocurrir algún incidente.

1. INTRODUCCIÓN A LOS ACEROS

Los aceros conforman gran parte de los metales más utilizados en la industria por sus características físicas, mecánicas y costo. Están presentes como herramientas, utensilios de corte, elementos de máquinas hasta infraestructura; aplicaciones que requieren determinadas cualidades obtenidas a partir de tres formas generales de modificación del acero: adición de carbono, formas de mecanización y tratamientos térmicos/termoquímicos; tecnologías que han permitido transformar el acero a las necesidades que surgen de la humanidad.

Se define como acero a la aleación de hierro con un porcentaje de carbono comprendido entre 0,03 % a 2,06 %. Además incluye otros elementos en pequeñas proporciones como manganeso, silicio, fósforo y azufre. En el mercado local, el acero se obtiene en varias presentaciones como ejes, tubos, varillas, perfiles, barras y láminas, en infinidad de medidas disponibles en estado de suministro o con un proceso posterior como los aceros bonificados.

1.1. Generalidades

El acero es un material tenaz, relativamente dúctil y maleable según su composición química. Compuesto alotrópico, característica fundamental que permite obtener diversas estructuras cristalinas para una aplicación específica.

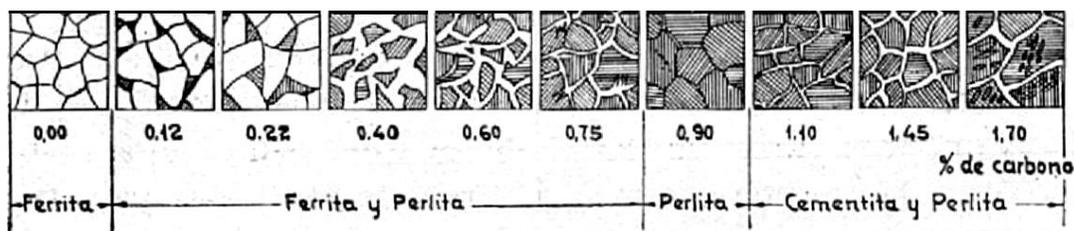
La dureza, resistencia mecánica y su comportamiento bajo cargas externas está en función de las aleaciones presentes, así como, de sus estructuras cristalinas.

La Norma DIN 17211 (1987) establece como densidad media del acero un valor de $7\,850\text{ kg/m}^3$. Presenta características magnéticas con excepción en su estructura austenítica.

Las estructuras posibles de los aceros en estado de suministro dependen del porcentaje de carbono dividiéndose en aceros hipoeutectoides que abarcan de $0,03 - 0,79\%$ de carbono; aceros eutectoides conformados entre $0,79 - 0,83\%$ y aceros hipereutectoides que comprenden del $0,83$ hasta $2,06\%$.

Los aceros hipoeutectoides presentan una estructura ferrita – perlita, los aceros eutectoides muestran perlita y los aceros hipereutectoides se caracterizan por una estructura perlita – cementita.

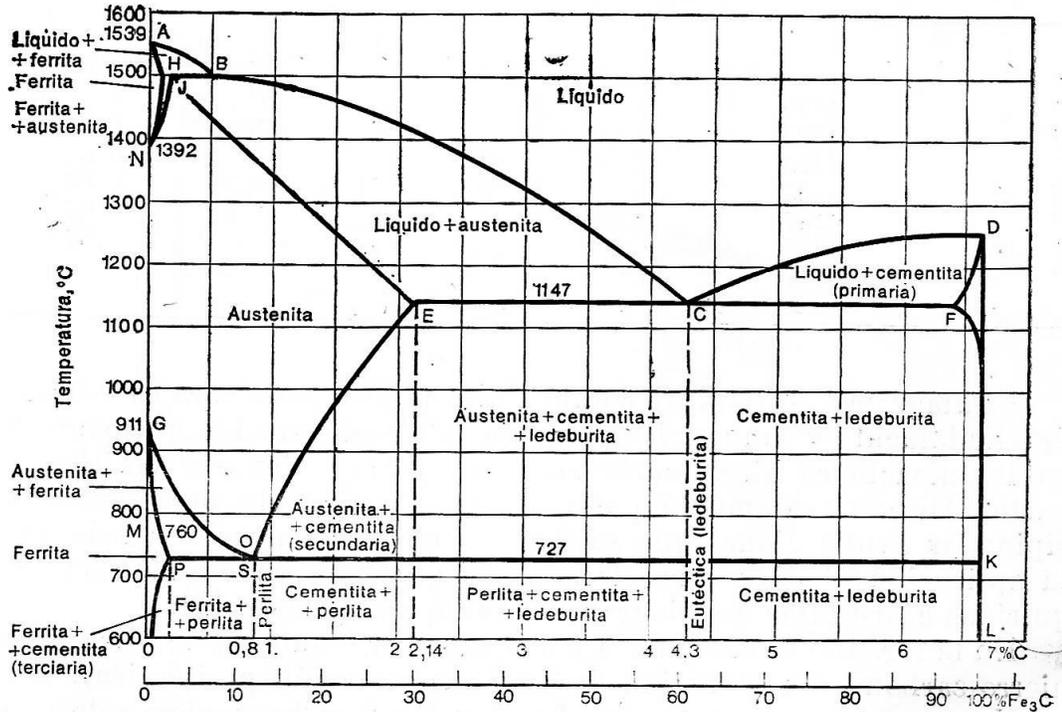
Figura 1. **Microestructuras posibles en estado de suministro**



Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 12.

Para establecer un análisis microestructural se debe indicar puntos críticos o predecir el comportamiento de un acero a partir de la cantidad de carbono y temperatura, se recurre al diagrama hierro-carbono. El diagrama hierro-carbono es una representación gráfica que se extiende desde el hierro hasta el carbono. Debido a la vasta información proporcionada por este diagrama, se limitará en su estudio la región comprendida por los aceros, profundizando en las propiedades y estructuras de sus componentes.

Figura 2. Diagrama hierro-carbono



Fuente: GULIÁEV, P. Metalografía, tomo 1. p. 165.

Los aceros se clasifican en dos grandes bloques, aceros al carbono y aceros aleados. En los aceros al carbono o no aleados, se enlista acero de bajo carbono 0,03 – 0,2 % C, medio carbono 0,21 – 0,5 % C y acero de alto carbono 0,51 – 0,77 % C. Esta sección de aceros presentan una composición química de silicio < 0,5 %, manganeso < 0,8 %, aluminio < 0,1 % y cobre < 0,25 % en peso.

Los aceros aleados se dividen en baja aleación que corresponde a ferroaleaciones, menor del 5 % en peso, conformado por cromo, vanadio, molibdeno, cobalto y tungsteno. Los aceros de alta aleación presentan componentes aleados mayor al 5 % en peso como níquel, aluminio, cromo.

1.1.1. Aceros utilizados para nitrocarburoación

Se denominan aceros de nitruración al tipo de aceros que tienen el propósito de adquirir una elevada dureza y alta resistencia al desgaste. Dentro de esta gama se recomiendan para tratamientos termoquímicos aceros de contenido medio de carbono que contengan aleaciones principales de elementos que propician la formación de carburos y nitruros como aluminio, cromo, vanadio y molibdeno en porcentajes establecidos.

La finalidad de cada aleación en un acero nitrurante es:

- Carbono

Elemento que proporciona las características mecánicas a las probetas, no influye en la profundidad o dureza del proceso de nitruración. Cantidades reducidas de carbono ocasionan descarburización de las piezas por las condiciones de exposición al calor, produciendo el desprendimiento de la capa superficial donde están contenidos los nitruros de hierro. La formación de fisuras y grietas por las tensiones inducidas de las probetas al cambio brusco de temperatura es otra causa originada por una baja cantidad de carbono.

- Cromo

Elemento que incrementa la capacidad de endurecimiento, propicia la formación de carburos y nitruros. Mejora la resistencia a la corrosión, tracción, a la fatiga, resistencia mecánica en caliente, incrementa la dureza y aporta templabilidad a la pieza de trabajo.

- Aluminio

Aleación con tendencia a mayor formación de nitruros que otras aleaciones. De igual manera mejora la resistencia a la corrosión, así como, la formación de cascarilla en la superficie. Es un desoxidante y afinador de grano durante el proceso de fundición.

- Vanadio

Utilizado para incrementar la resistencia mecánica y la tenacidad del acero, también como afinador de grano. Es un buen formador de carburos, por lo que no aumenta la templabilidad del acero, debido a que son tan estables los carburos que permanecen incluidos en la solución sólida austenítica y actúan como centros de cristalización.

- Manganeso

Elemento formador de carburos, dentro de las aleaciones hierro-carbono, forma carburos complejos tipo $(FeMn)_3C$. Previene la fragilidad cuando se combina con el azufre.

- Molibdeno

Aumenta la dureza en la superficie y contribuye a la tenacidad en el núcleo de la probeta. Comparado con el carbono, el molibdeno es un gran formador de carburos. En aceros que contengan una cantidad menor de 0,8 % de carbono, se forman carburos complejos $(FeMo)_3C$. Inhibe el crecimiento de grano.

- Níquel

El níquel es más resistente que el hierro puro, pero posee alta plasticidad y viscosidad de impacto. Este elemento no forma carburos. Tiende a desarrollar segregaciones de azufre, fósforo y otras impurezas. Incrementa la ductilidad.

- Nitrógeno

Elemento saturante que en la superficie de las probetas de aceros mejora su templabilidad, incrementa su dureza debido a la formación de nitruros y difusión intersticial, aumenta la resistencia a la corrosión, al desgaste; aporta resistencia a la tracción y mejora la resistencia mecánica en caliente, sobresaliendo de los límites de temperatura de trabajo respecto a elementos cementados.

La Norma DIN 17211 (1987) dicta utilizar las aleaciones 31CrMo12, 31CrMoV9, 15CrMoV 5 9, 34CrAlMo5 y 34CrAlNi7 como aceros de nitruración. Debido a la falta de disponibilidad en el mercado local se eligen probetas de acero AISI H-13 para este ensayo, por su semejanza en composición química con los intervalos de porcentaje en peso de elementos aleantes descritos en dicha norma. Además, por su resistencia que ofrece en un ambiente a altas temperaturas, se espera un resultado de difusión de material sin aparición de grietas en la superficie por concentración de tensiones.

De forma comparativa, se ensayó con un acero al carbono AISI 1045, este representa un costo menor al igual que sus cualidades a ofrecer, con el propósito de comparar los resultados obtenidos de un acero no recomendado para nitrocarburar.

Tabla I. **Composición química de aceros de nitruración – H-13, 1045**

Elemento	Contenido en el análisis de colada en porcentaje, desviaciones de valor límite incluido	Composición química en porcentaje de acero H-13	Composición química en porcentaje de acero 1045
C	$\leq 0,39$	0,39	0,45
Si	$\leq 0,43$	1,10	0,30
Mn	$\leq 1,04$ $> 0,95 \leq 1,15$	0,40	0,70
P	$\leq 0,03$	0,02	0,03
S	$\leq 0,03$	0,03	0,03
Al	$\geq 0,70 \leq 1,30$	-	-
Cr	$\leq 2,05$ $> 1,90 \leq 3,40$	5,20	-
Mo	$\leq 0,33$ $> 0,26 \leq 1,24$	1,30	-
Ni	$\leq 1,20$	0,30	-
V	$\leq 0,22$ $> 0,17 \leq 0,33$	1,00	-

Fuente: elaboración propia.

1.1.1.1. **Acero AISI H-13**

Conocido como W 302, US ULTRA 2, o X40CrMoVSi1 en clasificación DIN, “acero para trabajar en caliente, presenta gran homogeneidad, sin orientación de fibra. Posee gran resistencia a altas temperaturas y al desgaste en caliente, de buena tenacidad y resistencia a las fisuras por recalentamiento. Ideal para herramientas y piezas de formas complicadas”¹. En estado de suministro exhibe una dureza máxima de 230 unidades Brinell.

¹ BÖHLER. Ficha técnica Acero W 302. 2000. p. 1.

Recomendado para herramientas de trabajos en caliente sometidas a grandes exigencias como punzones, contenedores, *liners*, cuchillas para corte en caliente, moldes para plásticos, herramientas de extrusión por impacto en caliente, herramientas para fundición a presión y matrices para la fabricación de tuercas, tornillos, remaches, extrusión de barras, tubos y perfiles.

Este acero puede ser tratado por nitruración en baño de sales a 580 grados Celsius, templado a 1 020 – 1 080 grados Celsius. Puede ser enfriado en aceite, baño de sal o aire comprimido. La dureza obtenible estimada es de 52 – 56 unidades Rockwell C por enfriamiento al aceite y de 50 – 54 unidades Rockwell C enfriado al aire. El revenido de este compuesto se establece de 250 – 600 grados Celsius, dependiendo de la dureza a obtener.

1.1.1.2. Acero AISI 1045

Denominado CK45 en clasificación DIN es un acero al carbono hipoeutectoide. “Sus aplicaciones comprenden partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Se incluyen árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, herramientas de mano y portamatrices”².

Puede ser tratado por nitruración en baño de sales a 580 grados Celsius, aunque no es recomendable, templado a 820 – 850 grados Celsius si se enfría en agua y templado a 830 – 860 grados Celsius si se enfrían piezas de dimensiones menores en aceite. La dureza de suministro se establece en 163 unidades Brinell, la dureza obtenible estimada es de 52 – 60 unidades Rockwell C. El revenido de este compuesto se establece según el uso de 100 – 300 o 550 – 660 grados Celsius.

² BÖHLER. Ficha técnica Acero 945. 2000. p. 1.

1.2. Especificaciones de ensayo de dureza

El rendimiento del ensayo de nitrocarburo se cuantificó en función de la dureza superficial obtenida en las probetas y las características particulares presentes en las microfotografías, siendo la medición de dureza un parámetro práctico de obtener para estimar la mejora de la resistencia mecánica y al desgaste de los elementos expuestos al ensayo.

Para medir la dureza de un material, se cuenta con varios tipos de ensayo, de los que sobresale para el propósito de este trabajo Brinell, Vickers y Rockwell C. El principio de funcionamiento de estas pruebas se basa en el uso de penetradores a cargas establecidas relacionando las dimensiones de la huella de indentación con la dureza del material.

1.2.1. Ensayo de dureza Brinell

Esta prueba utiliza un balín de acero templado de diámetro D como penetrador, el cual presiona una superficie plana del material sometido con una fuerza P . Después se mide con la ayuda de un microscopio de baja potencia el diámetro medio d de la huella impresa en la pieza. Con estos datos se establece la dureza Brinell HB como el cociente entre la carga y el área de depresión:

$$HB = \frac{P}{(\pi D / 2) \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Ec. 1.

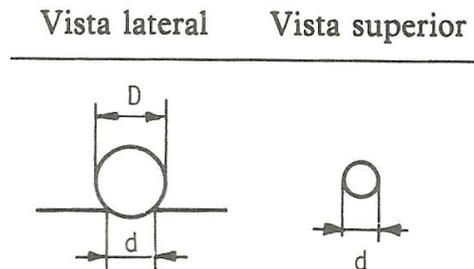
Donde:

P : carga aplicada medida en kilogramos

D : diámetro del balín en milímetros

d : diámetro medio de la depresión en milímetros

Figura 3. **Forma de la depresión de ensayo Brinell**



Fuente: ALTING, Leo. Procesos para Ingeniería de Manufactura. p. 58.

Las cargas aplicadas están estandarizadas y corresponden a masas de 500, 1 000 y 3 000 kilogramos aplicadas en un intervalo de 10 – 15 segundos. Según el material a ensayar se utiliza la carga de 500 o 1 000 kilogramos para metales blandos como cobre o aluminio con un diámetro de balín de 10 milímetros. Para materiales duros como acero y hierro gris se utiliza la carga de 3 000 kilogramos.

1.2.2. **Ensayo de dureza Vickers**

La forma del penetrador de esta prueba utiliza una pirámide de diamante con un ángulo de 136 grados y base cuadrada. De igual forma las unidades de dureza Vickers HV se definen como la carga dividida por el área de contacto.

$$HV = \frac{P}{d^2 / \text{sen}(68^\circ)}$$

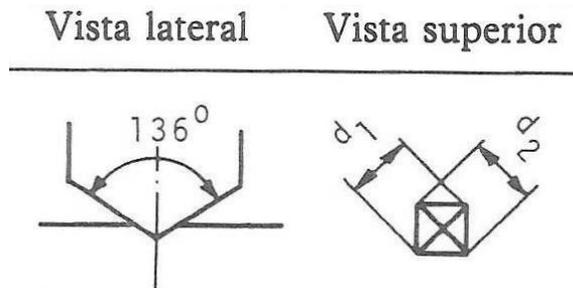
Ec. 2.

Donde:

P: carga aplicada en kilogramos

d: longitud media de las diagonales de la depresión en milímetros

Figura 4. **Forma de la depresión de ensayo Vickers**



Fuente: ALTING, Leo. Procesos para Ingeniería de Manufactura. p. 58.

La carga puede variar entre pasos estandarizados dentro del rango de 2 y 120 kilogramos en función del material. Este tipo de prueba se usa en materiales muy duros.

1.2.3. **Ensayo de dureza Rockwell C**

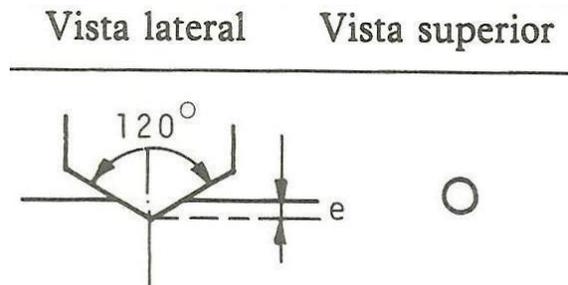
El ensayo Rockwell C se usa para materiales duros, sus características radican en el uso de un penetrador en forma de cono de diamante con un ángulo de 120 grados. Se inicia sometiendo el penetrador a una carga de 10 kilogramos para asentarlos en el material, después se aplica una carga de 150 kilogramos, seguido de retirar la carga en el material se mide la profundidad de penetración. La dureza Rockwell C HRC está descrita como:

$$HRC = 100 - e \quad \text{Ec. 3.}$$

Donde:

e: espesor dado en múltiplos de 0,002 milímetros

Figura 5. **Forma de la depresión de ensayo Rockwell C**



Fuente: ALTING, Leo. Procesos para Ingeniería de Manufactura. p. 58.

Existen varias pruebas Rockwell de dureza, de las cuales sobresale el ensayo Rockwell B que utiliza un balín de acero con diámetro de 1/16 de pulgada. Se aplica para materiales blandos.

En el medio los proveedores de metales establecen la dureza de suministro de un acero en unidades Brinell por ser magnitudes bajas, para durezas considerables se recurre a las unidades Rockwell C. Son menos utilizadas las unidades Vickers, aunque si se presenta la necesidad existen tablas de equivalencias entre unidades de dureza debido a que no presentan una relación constante entre ellas.

La Norma ASTM E-140 (1988) establece tablas de conversión entre las escalas de dureza Brinell, Vickers, Rockwell y Rockwell superficial. Se dividen en conversión de dureza para aceros austeníticos, no austeníticos, conversión para aleaciones de níquel, latón, cobre, hierro blanco y aluminio. Para el uso de esta práctica, se limita a las tablas de conversión para aceros no austeníticos.

Figura 6. Tabla de conversión de dureza, aceros no austeníticos

 E 140

TABLE 1 Approximate Hardness Conversion Numbers for Non-Austenitic Steels (Rockwell C to Other Hardness Numbers)

Rockwell C Hardness Number	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness Number ^A		Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			Scleroscope Hardness ^B	Rockwell C Hardness Number
		10-mm Standard Ball, 3000-kgf Load	10-mm Carbide Ball, 3000-kgf Load		A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	D Scale, 100-kgf Load, Diamond Penetrator	15-N Scale, 15-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	30-N Scale, 30-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator	45-N Scale, 45-kgf Load, Superficial Diamond Penetrator		
68	940	...	...	920	85.6	76.9	93.2	84.4	75.4	97.3	68
67	900	...	...	895	85.0	76.1	92.9	83.6	74.2	95.0	67
66	865	...	...	870	84.5	75.4	92.5	82.8	73.3	92.7	66
65	832	...	739	846	83.9	74.5	92.2	81.9	72.0	90.6	65
64	800	...	722	822	83.4	73.8	91.8	81.1	71.0	88.5	64
63	772	...	705	799	82.8	73.0	91.4	80.1	69.9	86.5	63
62	746	...	688	776	82.3	72.2	91.1	79.3	68.8	84.5	62
61	720	...	670	754	81.8	71.5	90.7	78.4	67.7	82.6	61
60	697	...	654	732	81.2	70.7	90.2	77.5	66.6	80.8	60
59	674	...	634	710	80.7	69.9	89.8	76.6	65.5	79.0	59
58	653	...	615	690	80.1	69.2	89.3	75.7	64.3	77.3	58
57	633	...	595	670	79.6	68.5	88.9	74.8	63.2	75.6	57
56	613	...	577	650	79.0	67.7	88.3	73.9	62.0	74.0	56
55	595	...	560	630	78.5	66.9	87.9	73.0	60.9	72.4	55
54	577	...	543	612	78.0	66.1	87.4	72.0	59.8	70.9	54
53	560	...	525	594	77.4	65.4	86.9	71.2	58.6	69.4	53
52	544	500	512	576	76.8	64.6	86.4	70.2	57.4	67.9	52
51	528	487	496	558	76.3	63.8	85.9	69.4	56.1	66.5	51
50	513	475	481	542	75.9	63.1	85.5	68.5	55.0	65.1	50
49	498	464	469	526	75.2	62.1	85.0	67.6	53.8	63.7	49
48	484	451	455	510	74.7	61.4	84.5	66.7	52.5	62.4	48
47	471	442	443	495	74.1	60.8	83.9	65.8	51.4	61.1	47
46	458	432	432	480	73.6	60.0	83.5	64.8	50.3	59.8	46
45	446	421	421	466	73.1	59.2	83.0	64.0	49.0	58.5	45
44	434	409	409	452	72.5	58.5	82.5	63.1	47.8	57.3	44
43	423	400	400	438	72.0	57.7	82.0	62.2	46.7	56.1	43
42	412	390	390	426	71.5	56.9	81.5	61.3	45.5	54.9	42
41	402	381	381	414	70.9	56.2	80.9	60.4	44.3	53.7	41
40	392	371	371	402	70.4	55.4	80.4	59.5	43.1	52.6	40
39	382	362	362	391	69.9	54.6	79.9	58.6	41.9	51.5	39
38	372	353	353	380	69.4	53.8	79.4	57.7	40.8	50.4	38
37	363	344	344	370	68.9	53.1	78.8	56.8	39.6	49.3	37
36	354	336	336	360	68.4	52.3	78.3	55.9	38.4	48.2	36
35	345	327	327	351	67.9	51.5	77.7	55.0	37.2	47.1	35
34	336	319	319	342	67.4	50.8	77.2	54.2	36.1	46.1	34
33	327	311	311	334	66.8	50.0	76.6	53.3	34.9	45.1	33
32	318	301	301	326	66.3	49.2	76.1	52.1	33.7	44.1	32
31	310	294	294	318	65.8	48.4	75.6	51.3	32.5	43.1	31
30	302	286	286	311	65.3	47.7	75.0	50.4	31.3	42.2	30
29	294	279	279	304	64.8	47.0	74.5	49.5	30.1	41.3	29
28	286	271	271	297	64.3	46.1	73.9	48.6	28.9	40.4	28
27	279	264	264	290	63.8	45.2	73.3	47.7	27.8	39.5	27
26	272	258	258	284	63.3	44.6	72.8	46.8	26.7	38.7	26
25	266	253	253	278	62.8	43.8	72.2	45.9	25.5	37.8	25
24	260	247	247	272	62.4	43.1	71.6	45.0	24.3	37.0	24
23	254	243	243	266	62.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36.3	23
22	248	237	237	261	61.5	41.6	70.5	43.2	22.0	35.5	22
21	243	231	231	256	61.0	40.9	69.9	42.3	20.7	34.8	21
20	238	226	226	251	60.5	40.1	69.4	41.5	19.6	34.2	20

^A The Brinell hardness numbers in boldface type are outside the range recommended for Brinell hardness testing in 3.2.2 of Test Method E 10.
^B These Scleroscope hardness conversions are based on Vickers—Scleroscope hardness relationships developed from Vickers hardness data provided by the National Bureau of Standards for 13 steel reference blocks, Scleroscope hardness values obtained on these blocks by the Shore Instrument and Mfg. Co., Inc., the Roll Manufacturers Institute, and members of this institute, and also on hardness conversions previously published by the American Society for Metals and the Roll Manufacturers Institute.

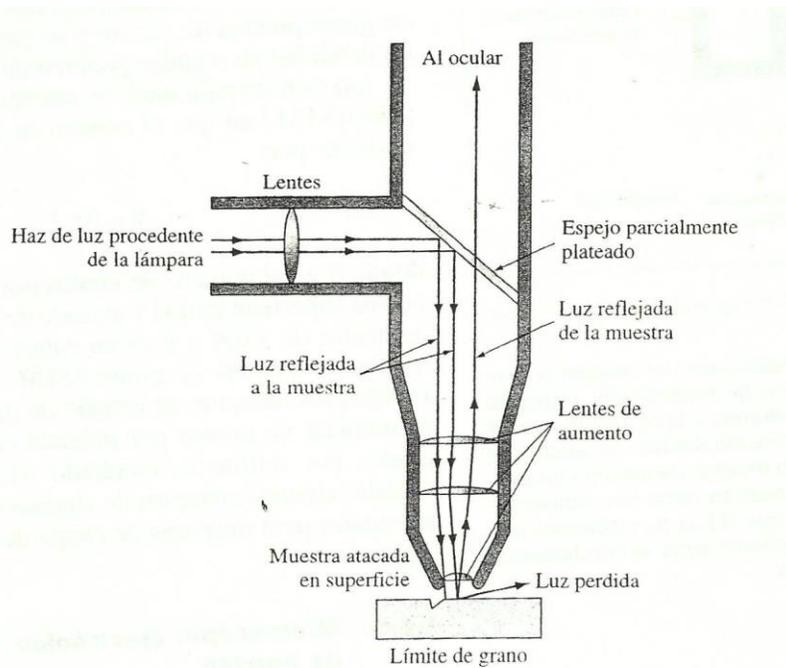
Fuente: Annual Book of ASTM Standards 1988, Vol 03.01. Norma ASTM E-140. p. 324.

1.3. Especificaciones de ensayo micrográfico

Este ensayo consiste en el estudio de una probeta en forma cualitativa el cual se basa en la amplificación de la superficie mediante un microscopio metalográfico. Con este tipo de ensayo es posible observar estructuras de metales, comparar modificaciones realizadas en piezas por tratamientos térmicos/termoquímicos ó analizar fracturas presentes en las muestras.

Un microscopio metalográfico funciona por reflexión de rayos luminosos que inciden sobre la muestra hacia el ocular, las irregularidades como límites de grano no refleja la luz. Mediante un sistema de lentes se amplifica la imagen según lo requiera el observador.

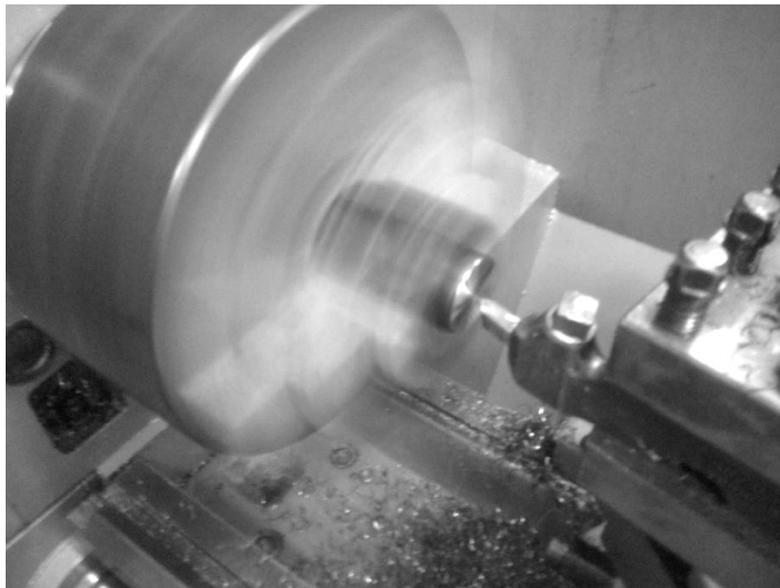
Figura 7. Diagrama de un microscopio metalográfico



Fuente: ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. p. 92.

La preparación superficial de una probeta para un ensayo micrográfico requiere de un pulido casi perfecto, iniciando con una rectificación de superficie por medio de máquinas de corte como tornos o fresadoras.

Figura 8. **Dimensionamiento y rectificando de probetas en torno CNC**



Fuente: Laboratorio de Procesos de Manufactura, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Para un desbaste grueso se usa papel lija 100 y 200. Su finalidad es obtener una superficie plana y libre de marcas de herramienta. Se logra un mejor acabado si se realiza un desbaste húmedo.

Después se efectúa a un desbaste fino. Este proceso requiere una superficie plana (vidrio) y papel lija con granos más finos, de 300 en adelante. Al apreciar en la probeta marcas en una misma dirección, se lava la muestra y se cambia a una lija más fina, rotando la pieza de tal forma que las nuevas marcas formen ángulos rectos con las anteriores.

El indicativo para continuar con el pulido es que la probeta presente una superficie plana con rayas muy finas en un solo sentido utilizando el papel lija de mayor finura. En esta fase se recurre a una rueda giratoria cubierta de tela y un fino abrasivo, alúmina. La superficie de la pieza se cubre con alúmina y es sujeta sobre la rueda en movimiento. Cada cierto tiempo se rota la probeta de la misma forma como en el desbaste con papel lija, hasta que desaparezcan las rayas finas.

Figura 9. **Pulidora de disco BUEHLER**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales INTECAP, Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

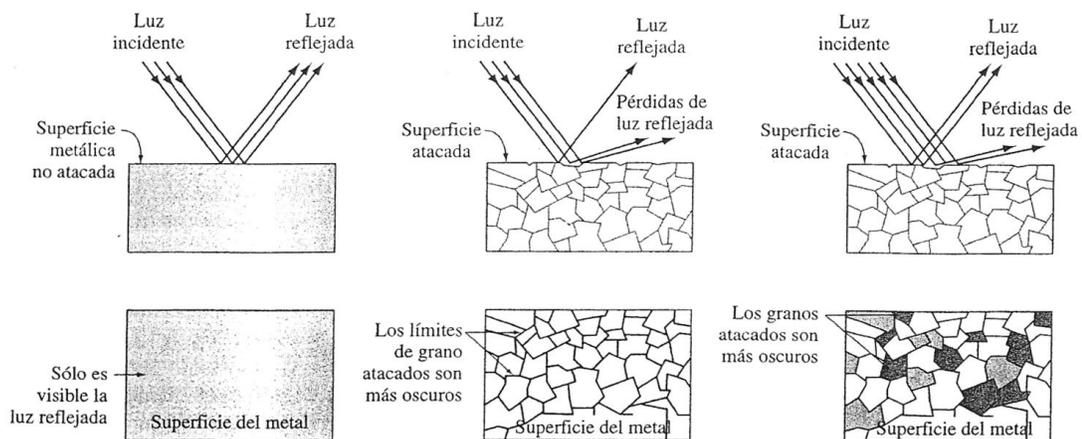
El ataque químico revela la estructura de la aleación por medio de coloración o corrosión de la superficie, donde el constituyente de menor velocidad de reacción permanecerá más brillante y el más vulnerable al ataque se verá oscuro en el microscopio. De la misma forma resalta tanto las impurezas como las zonas de imperfección, en las que se incluyen límites de grano, fisuras o grietas. Además los granos están orientados en diversos sentidos por lo que exhiben diferente intensidad.

La cara pulida de la probeta se sumerge en el reactivo adecuado durante un tiempo necesario o se aplica una capa de reactivo en la superficie a estudiar con un algodón. Luego se lava la pieza con agua y se deja secar en una corriente de aire.

Para esta práctica se utilizó nital en el ataque químico superficial, compuesto de 95 % alcohol etílico a 96 grados y 5 % de ácido nítrico. El tiempo promedio de exposición es de 5 a 7 segundos. Debe evitarse un exceso de ataque, ya que oscurece la probeta dificultando su análisis micrográfico.

En micrografías de aceros, sus componentes se identifican de acuerdo con la coloración resultante, por ejemplo, la ferrita y cementita se perciben como regiones claras. Las secciones oscuras indican la presencia de estructuras perlíticas.

Figura 10. Efecto del ataque químico en una superficie pulida

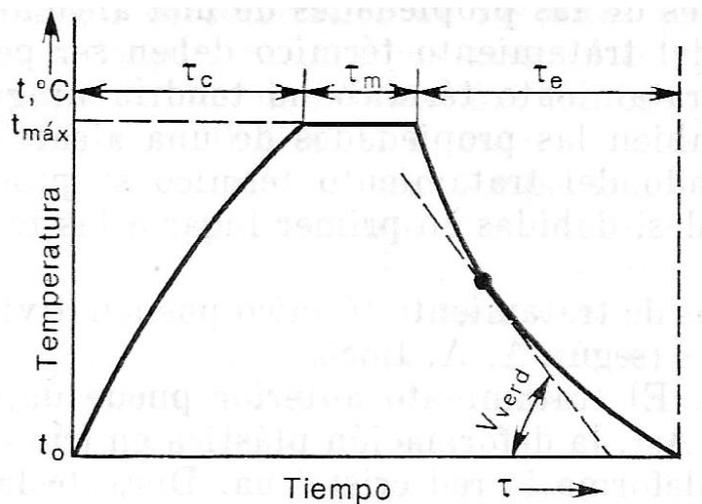


Fuente: ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. p. 93.

2. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos son procesos que modifican la estructura de un metal por medio del calentamiento y enfriamiento a temperaturas determinadas. Los aspectos a considerar en un tratamiento térmico son: temperatura y tiempo; las cuales pueden ser representadas en coordenadas, denominando a este gráfico como ciclo de permanencia.

Figura 11. **Ciclo de permanencia**



Fuente: GULIÁEV, P. Metalografía tomo 1. p. 223.

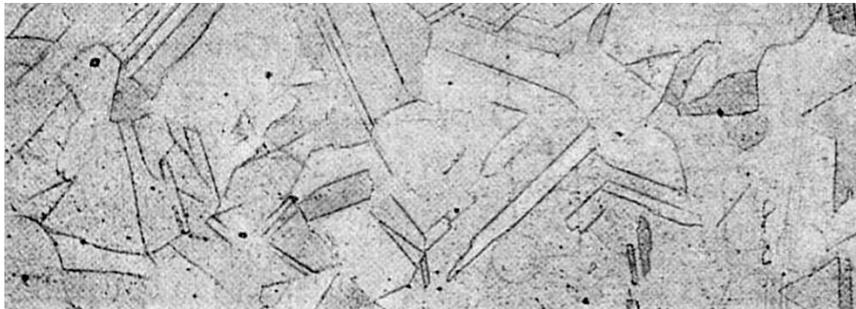
Se identifica el período de calentamiento (T_c), sección donde la pieza alcanza la temperatura máxima; tiempo de permanencia (T_m) se mantiene constante la temperatura del proceso y el tiempo de enfriamiento (T_e), se reduce la temperatura de la pieza en un medio enfriante, expuesta al ambiente o dentro del horno.

Se catalogan como tratamientos térmicos el temple, revenido, normalizado y recocido. La elección de cada tipo de tratamiento depende de las características que se requieran en el elemento a trabajar.

2.1. Temple

Operación térmica sin cambio de composición química se calienta la pieza hasta superar la temperatura de transformación de fase (769 grados Celsius) obteniendo austenita. Seguido del tiempo de permanencia, la pieza se somete a un enfriamiento súbito para obtener una estructura inestable de la aleación: martensita, bainita y austenita residual.

Figura 12. **Austenita x 100**



Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 105.

El propósito de un temple es aumentar la dureza, resistencia mecánica y el límite elástico de una pieza con el fin de prolongar su vida útil.

La estimación del tiempo de permanencia en el temple de un elemento depende de sus dimensiones, cuanto más grande sea la pieza, requerirá de un intervalo de permanencia mayor dentro del horno para que la totalidad de su volumen sufra de una transformación austenítica.

Un método arbitrario para calcular el tiempo de permanencia de un objeto es considerar el tamaño de su sección más pequeña d en milímetros, en la siguiente ecuación con dimensionales finales dadas en minutos:

$$T_m = 20 + \frac{d}{2} \quad \text{Ec. 4}$$

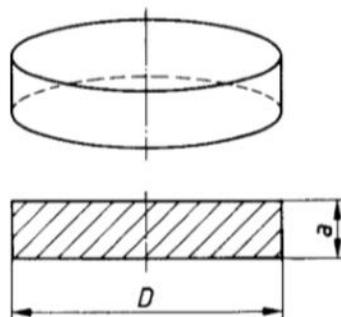
La Norma DIN 17211 (1987) indica coeficientes utilizados cuando las piezas presentan diversas formas y tamaños:

- Piezas sólidas

Para objetos con diámetro menor a 200 milímetros se considera el valor de la arista a . Si el diámetro es mayor a 200 milímetros se utilizará un coeficiente de 1,5 junto a la dimensión de la arista: $d = a \times 1,5$.

De lo contrario, si la longitud es mayor al diámetro, este último será establecido como la menor medida, aplicando las condiciones de diámetro.

Figura 13. **Dimensión mínima de pieza sólida**



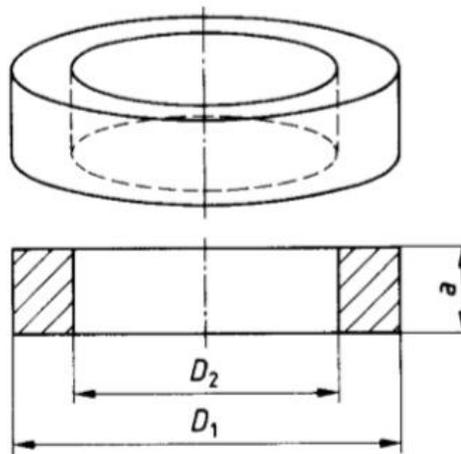
Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 7.

- Anillos

En piezas con diámetro interno menor a 200 milímetros se elige el valor del grosor $(D_1-D_2)/2$ si su magnitud es menor a la arista a . De lo contrario se operará con la longitud a .

Si el diámetro interno es mayor a 200 milímetros se acompañará con un coeficiente de 1,5 junto al grosor del anillo, si este es la dimensión menor: $d = 1,5 \times (D_1-D_2)/2$. Si la arista a es menor al grosor se establece como: $d = a \times 1,5$.

Figura 14. **Dimensión mínima en pieza con forma de anillo**



Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 7.

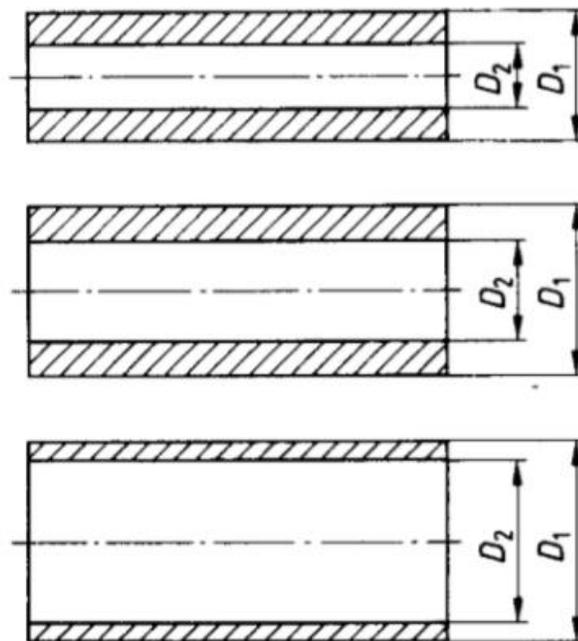
- Cuerpos huecos cilíndricos

Elementos con diámetro interno menor a 80 milímetros se expresa como el doble del grosor: $d = 2 \times (D_1-D_2)/2$.

Si el diámetro interno del elemento mide entre 80 y 200 milímetros, el valor d es de 1,75 veces el espesor de la pared: $d = 1,75 \times (D_1 - D_2)/2$.

Cilindros con diámetro interno mayor a 200 milímetros se estima 1,5 veces el espesor de la pared: $d = 1,5 \times (D_1 - D_2)/2$.

Figura 15. **Dimensión mínima en cilindros huecos**

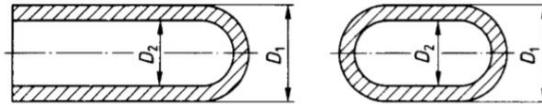


Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 7.

- Cilindros huecos con uno o ambos extremos cerrados

Objetos con diámetro interno de hasta 800 milímetros, d es calculado como 2,5 veces el grosor: $d = 2,5 \times (D_1 - D_2)/2$.

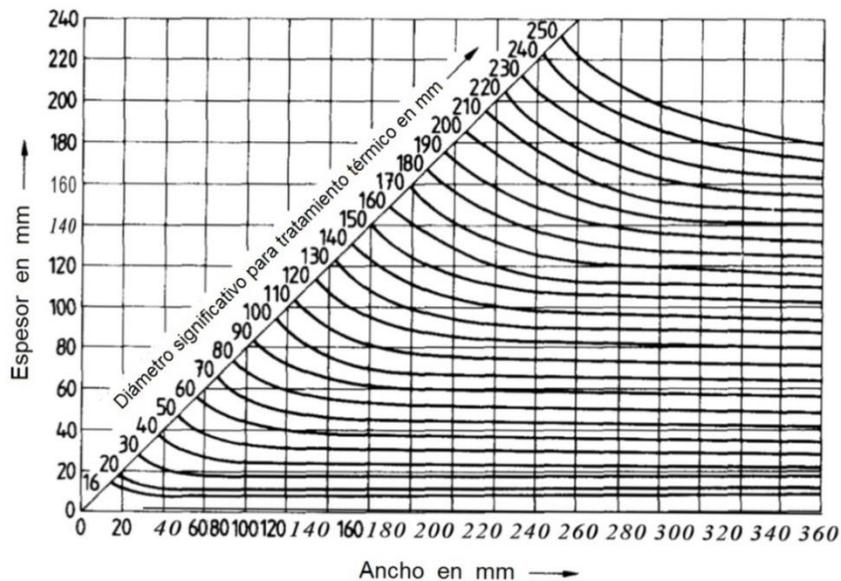
Figura 16. **Dimensión mínima en cilindros huecos con uno o ambos extremos cerrados**



Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 7.

Si la pieza presenta una forma compuesta o irregular dependerá del criterio de la persona encargada del tratamiento térmico definir las dimensiones a considerar. Una guía planteada por la Norma DIN 17211 es un gráfico que está en función de la anchura y espesor crítico en milímetros para establecer un diámetro significativo d del elemento a templar.

Figura 17. **Diámetro efectivo de pieza irregular**

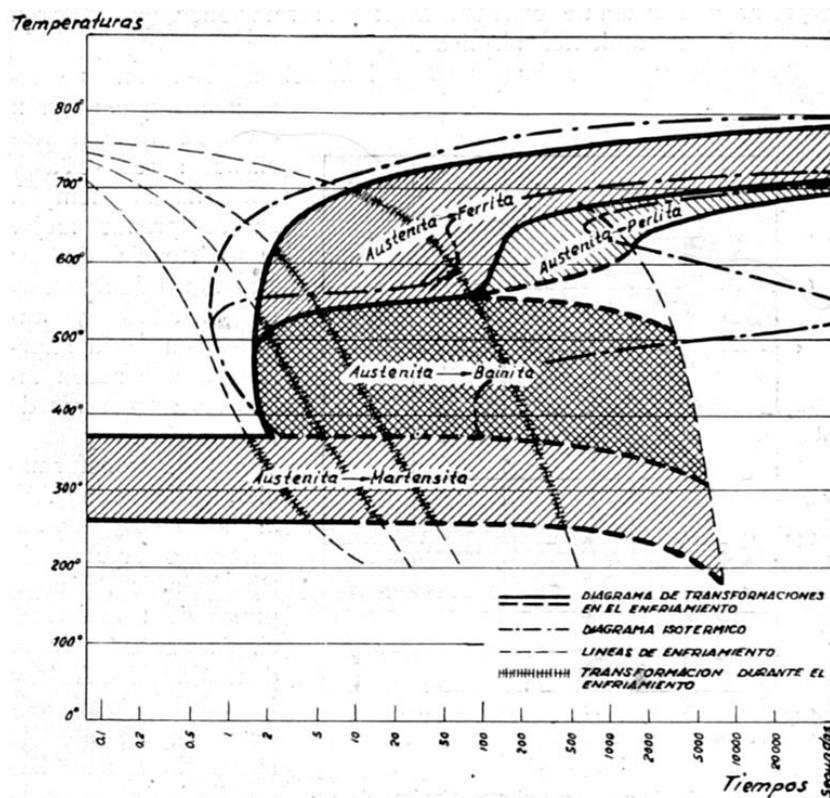


Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 6.

Según la temperatura y velocidad de enfriamiento durante un temple, varía la estructura obtenida del acero, presentando bainita superior en un rango de 650 – 450 grados Celsius, bainita inferior entre 450 – 200 grados Celsius y martensita en un intervalo de 200 – 90 grados Celsius.

Esta distribución se representa mediante un gráfico denominado Curva de la “S” o diagrama “TTT” (Tiempo, Temperatura, Transformación). Describe por regiones, las estructuras obtenidas en función de la temperatura en el eje de las ordenadas y tiempo de enfriamiento a escala logarítmica en el eje de las abscisas.

Figura 18. Diagrama TTT de un acero con 0,3 % C

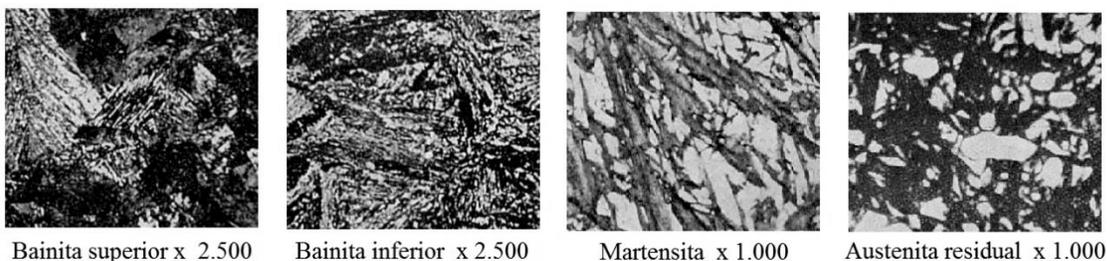


Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 145.

La dureza resultante de un elemento templado se incrementa conforme las condiciones de enfriamiento sean más drásticas. La bainita superior se cuantifica entre 35 – 45 unidades Rockwell C, bainita inferior comprende de 45 – 55 unidades Rockwell C y la martensita se estima entre 55 – 60 unidades Rockwell C.

Debido a que la disminución de temperatura, en una pieza templada no es instantánea en su totalidad, existen regiones que demoran más tiempo en enfriarse, las cuales muestran una estructura más blanda respecto a las anteriores, denominadas austenita retenida o residual.

Figura 19. **Estructuras moleculares después del temple**



Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 90.

El retardo en la velocidad de enfriamiento al final de un temple depende de la composición del acero, lo que varía la velocidad crítica según las aleaciones presentes; el volumen de la pieza, entre mayor sean las dimensiones, más tiempo requiere en enfriar y las condiciones de enfriamiento.

De acuerdo con la elección del medio enfriante, esta rige la cantidad y velocidad de calor disipado de la pieza. La acción de sumergir la probeta en un líquido particular describe 3 etapas características:

- Primera etapa

Al introducir el acero con su alta temperatura en el fluido se produce una capa de vapor que rodea el metal, resultando en un enfriamiento por vaporización relativamente lento.

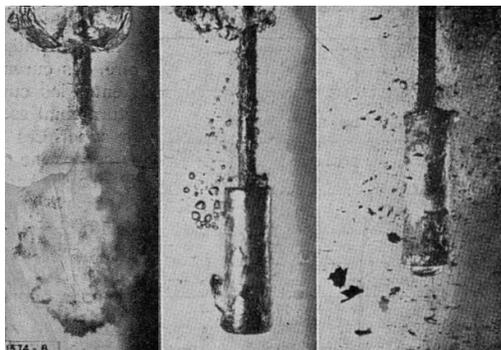
- Segunda etapa

La capa de vapor desaparece y el líquido hace contacto con la superficie del metal. En esta fase se da la mayor disipación de calor. La viscosidad y calor de vaporización del líquido, así como, la agitación de la pieza influyen en este período.

- Tercera etapa

La temperatura superficial de la pieza es menor al punto de ebullición del líquido, por lo que el enfriamiento es más lento y es producido por la diferencia entre la temperatura del acero y el fluido.

Figura 20. **Etapas de enfriamiento brusco de una probeta**



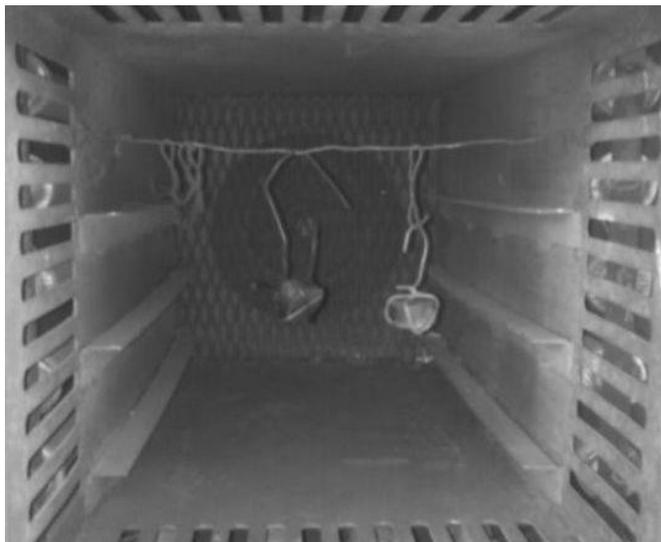
Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 162.

El medio enfriante de un acero durante un temple puede ser agua, aceite, salmuera o aire a presión, su elección depende de la recomendación del fabricante respecto a la composición de aleaciones presentes en el acero.

2.2. Revenido

Tratamiento térmico aplicable a piezas templadas se calienta el elemento hasta una temperatura inferior a la de transformación (200 – 600 grados Celsius), con tiempo de permanencia establecido de 45 minutos a 3 horas. La pieza se enfría al aire libre o en aceite a una velocidad que no sea excesivamente rápida, para obtener una estructura más estable de la aleación. Esto disminuye la dureza y resistencia mecánica, aumenta la tenacidad y elimina las tensiones internas creadas en el temple.

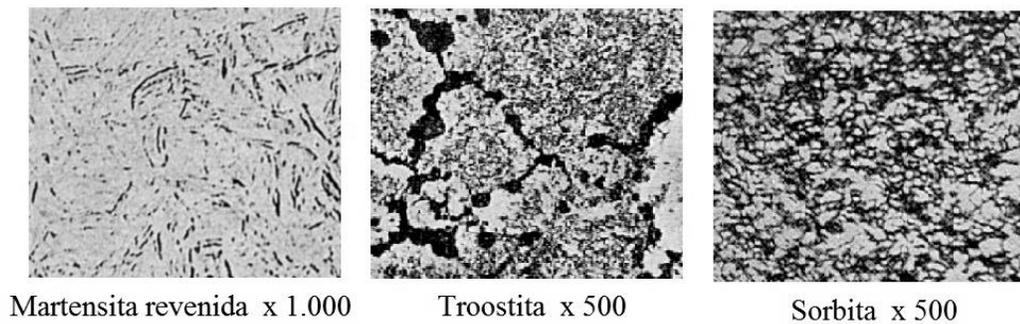
Figura 21. **Horno con ventilador para revenido de piezas**



Fuente: Laboratorio Tratamientos Térmicos INTECAP, Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Según la temperatura de permanencia en el revenido se diferencian otras estructuras en el acero, establecidas como martensita revenida < 200 grados Celsius, troostita 200 – 400 grados Celsius y sorbita 400 – 600 grados Celsius.

Figura 22. **Estructuras moleculares después del revenido**



Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 111.

El temple y revenido se utilizan para concluir un proceso de cementación, lo que le otorga una dureza superficial considerable o antes de una nitruración, con el fin de mejorar la tenacidad de los elementos, así se garantiza un adecuado desempeño bajo esfuerzos de carga y fatiga.

2.3. Normalizado

Consiste en el calentamiento del acero por encima de la temperatura crítica inferior (723 grados Celsius) hasta 50 – 60 grados Celsius, durante un intervalo de tiempo corto y enfriándolo al aire libre. Su objetivo es afinar el tamaño de grano del acero por recristalización al igual que homogenizar la estructura. Devuelve al acero su estado normal de suministro después de un tratamiento.

2.4. Recocido

Proceso en que se calienta una pieza por encima de la temperatura crítica con un enfriamiento lento, generalmente dentro del horno. Ablanda el acero, regenera la estructura de los aceros sobrecalentados o simplemente elimina tensiones. Disminuye la dureza y resistencia mecánica, mejora la facilidad de corte.

Apraiz (1949) define distintos tipos de recocido en función del resultado a obtener, sobresaliendo el recocido total, el cual ablanda el acero y regenera su estructura, su temperatura de operación supera 30 – 50 grados Celsius la temperatura crítica superior (910 grados Celsius).

El recocido de globalización favorece al mecanizado de la pieza se calienta a 15 – 50 grados Celsius por encima de la temperatura de equilibrio (769 grados Celsius). Es utilizado para suavizar aceros que fueron endurecidos por trabajo mecánico o por enfriamiento.

Y el recocido subcrítico, usado para el alivio de tensiones presentes en piezas metálicas, su temperatura de operación es menor a la temperatura crítica inferior (723 grados Celsius).

Los tratamientos térmicos presentan generalmente deformaciones inevitables e impredecibles. Una forma de disminuir la deformación de un elemento es lograr un calentamiento y enfriamiento uniforme si se utilizan los equipos adecuados, así como, la elección de aceros menos deformables. Por este inconveniente es recomendable tratar térmicamente elementos con sobremedida para ser rectificadas al final del proceso y cumplir con las tolerancias estipuladas.

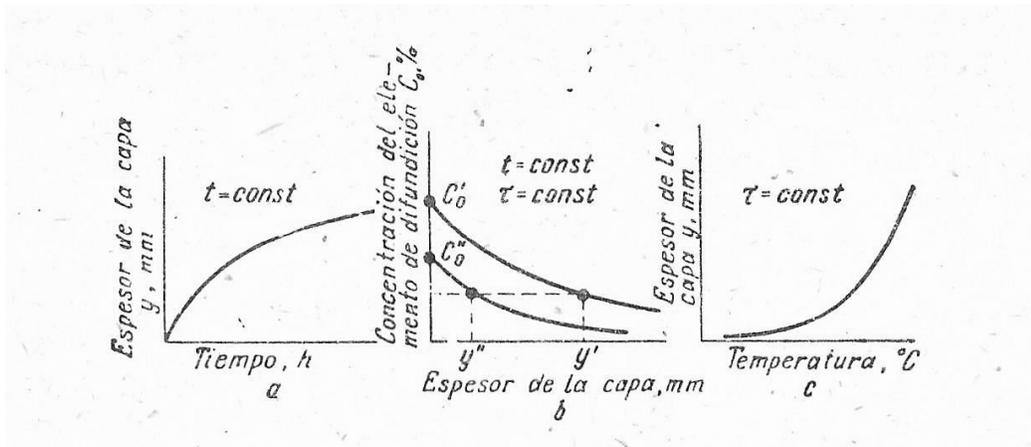
3. TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS

Un tratamiento termoquímico es un proceso de alteración de propiedades de un metal en forma superficial basado en la saturación de elementos químicos por medio de difusión a elevadas temperaturas.

En 1990 Lajtin expone que este tipo de proceso muestra tres fases: obtención del elemento difusor en estado atómico por reacciones químicas, formación de enlaces químicos del material saturante con la superficie del metal base y penetración del elemento difusor al interior de la pieza.

Tanto la velocidad como profundidad de penetración del elemento saturante depende de las variables de temperatura de permanencia, duración del tratamiento y concentración del elemento químico.

Figura 23. Tendencia del proceso de difusión

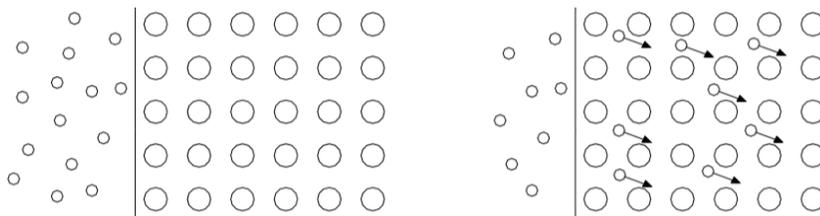


Fuente: LAJTIN, Yu M. Metalografía y tratamiento térmico de los metales. p. 278.

La tendencia de penetración del elemento químico está restringida a un valor determinado con el transcurso del tiempo, figura 23 (a). El espesor de la capa aumentará con una mayor concentración del elemento de difusión, figura 23 (b). Así mismo, se incrementa la capa de difusión al elevar la temperatura del proceso, figura 23 (c).

La difusión es una migración de átomos individuales dentro de un sólido. De acuerdo con las características del elemento saturante y el material base se suscita una difusión intersticial o sustitucional.

Figura 24. **Difusión de átomos en la superficie de un material**

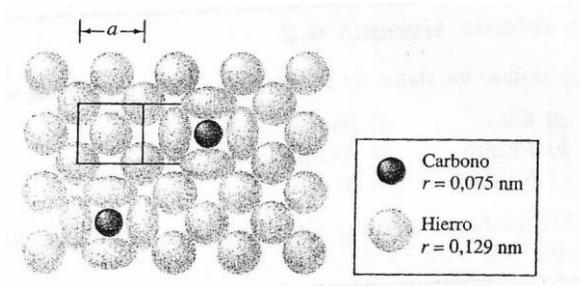


Fuente: DEL CASTILLO, F. Lecturas de Ingeniería 1.
Endurecimiento superficial del acero. p. 20.

El primer caso ocurre cuando un átomo determinado ocupa un espacio entre la red cristalina del sólido formando una solución sólida intersticial. Esta distorsión ocasiona alteraciones en las propiedades físicas y mecánicas de la pieza, tanto por modificación en la composición química como dislocaciones en la estructura metalográfica.

Si los átomos saturantes tienen un menor tamaño respecto a los de la matriz existe mayor facilidad de difusión intersticial. Ejemplo de elementos químicos con pequeños diámetros atómicos son el hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno.

Figura 25. **Difusión intersticial de carbono**

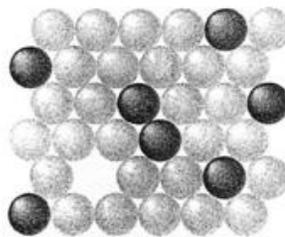


Fuente: ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. p. 86.

La difusión sustitucional se da cuando un átomo difusor tiene la suficiente energía para romper los enlaces de la estructura y reemplazar un átomo del elemento matriz. Askeland (1998) indica las siguientes condiciones que favorecen el surgimiento de una difusión sustitucional:

- Una divergencia máxima de 15 % de los diámetros atómicos entre el material base y saturante.
- Ambos elementos deben presentar las mismas estructuras cristalinas.
- Electronegatividad similar de los elementos químicos.

Figura 26. **Difusión sustitucional**



Fuente: ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. p. 84.

Al ser los átomos de carbono y nitrógeno más pequeños que los átomos de hierro se presenta con facilidad una difusión intersticial en la capa interna de difusión. En la superficie de la pieza se da una interacción de los elementos químicos con el acero base, lo que forma compuestos como carburos y nitruros.

3.1. Cementación

Consiste en la difusión de carbono en una pieza de acero, hasta lograr una concentración de 0,8 a 1,0 % de carbono para el endurecimiento superficial. Se puede realizar por medios sólidos o gaseosos.

Después de la cementación se procede a templar y revenir las piezas para obtener una superficie dura e incremento de la resistencia mecánica. Los aceros usados para cementación son al carbono y aleados con una cantidad de carbono de 0,1 – 0,18 %. El uso de acero con poco contenido de carbono en la cementación busca conservar un núcleo dúctil y tenaz después de la adición del elemento difusor y temple.

Cuando se requieren cementar piezas de mayor tamaño, el porcentaje de carbono en estado de suministro comprende de 0,2 – 0,3 % para disminuir la probabilidad de formación de fisuras o grietas en los elementos metálicos al finalizar el tratamiento.

La temperatura de cementación supera el valor de la temperatura crítica superior comprendido de 900 a 950 grados Celsius. Se inicia la difusión de carbono en la red cristalina del hierro γ . Después de saturar la austenita con carbono se forma una capa de cementita en la superficie, al concluir un enfriamiento lento.

La obtención de carbono elemental se produce por medios gaseosos o sólidos. Respecto al primer entorno, se realiza por disociación de gases que contienen monóxido de carbono CO a partir de hidrocarburos saturados como el metano, etano, propano y butano, en hornos herméticos con atmósfera controlable.

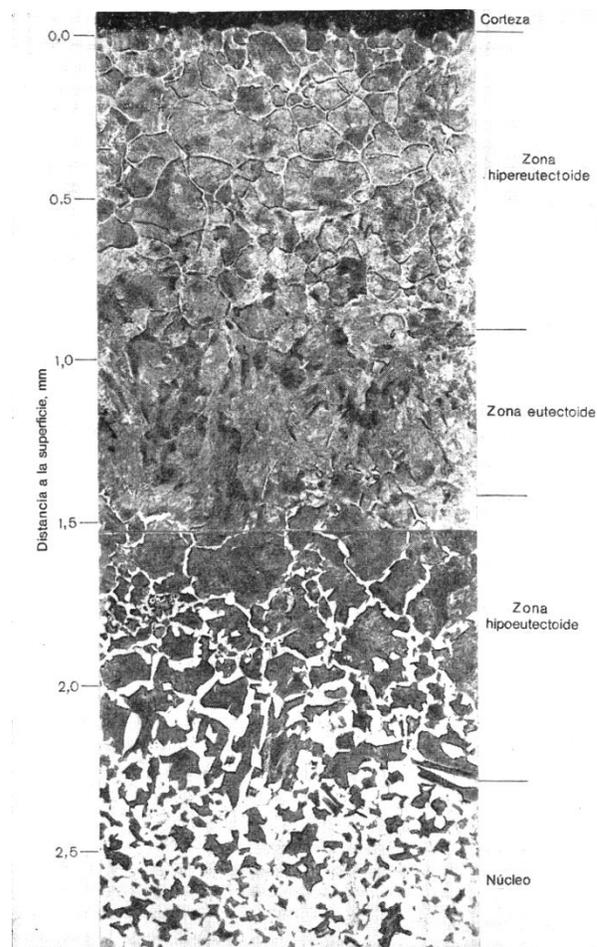
En la cementación sólida se utiliza carbón activado como medio saturante. La combinación de oxígeno del entorno y el carbono del material carburante forman monóxido de carbono, el cual es inestable a la temperatura de cementación, reacciona con la superficie del hierro y se descompone en dióxido de carbono CO₂ y carbono atómico difundido en el metal base.

Kucher (1989) indica que las piezas a cementar se colocan en cajas de acero, iniciando con una capa de carburante de 20 – 30 milímetros de espesor. Sobre esta capa se colocan las primeras piezas con una distancia entre ellas de 10 – 15 milímetros. Luego se aplica otra capa de material carburante de 10 – 15 milímetros. La última fila de piezas se cubre de carburante con una altura de 25 a 40 milímetros. Se cierra la caja con una tapa y se recubren sus bordes con arcilla antes de introducirlos al horno.

El tiempo de calentamiento de las piezas a la temperatura de cementación se considera un parámetro de 7 a 9 minutos por cada centímetro de la dimensión mínima de la caja. La duración de la exposición a la temperatura de permanencia se utiliza un aproximado, para una caja con dimensión mínima de 150 milímetro es de 5,5 – 6,5 horas con un espesor de cementación de 0,7 a 0,9 milímetros y de 9 a 11 horas para un espesor de 1,2 a 1,5 milímetros. Si la dimensión mínima de la caja es de 250 milímetros, el tiempo de exposición radica en 7,5 – 8,5 horas para un espesor de cementación de 0,7 a 0,9 milímetros y de 11 a 14 horas para un espesor de 1,2 a 1,5 milímetros.

La capa cementada se divide en tres regiones por la cantidad de carbono presente partiendo de la superficie al núcleo, está la zona hipereutectoide, conformado por perlita y cementita; sección eutectoide, compuesta de perlita y la región hipoeutectoide, formada por perlita y ferrita, descrito anteriormente. La cantidad de ferrita se incrementa al profundizar hacia el núcleo de la pieza. El espesor comprendido de la zona hipereutectoide, eutectoide y el grosor medio de la región hipoeutectoide oscila entre 0,8 – 1,4 milímetros.

Figura 27. **Microestructura de la capa cementada**



Fuente: GULIÁEV, P. Metalografía tomo 1. p. 323.

Otra característica de la cementación es un sobreespesor de 0,05 a 0,1 milímetros. Cuando se requiere cementar secciones de un elemento, las partes que no son tratadas son cubiertas por una capa de cobre por medios electrolíticos o baños de arcilla refractaria o arena en conjunto con vidrio líquido.

La finalidad de una cementación es adquirir en la superficie una dureza de 58 – 62 unidades Rockwell C y en el núcleo del elemento 25 – 35 unidades Rockwell C en aceros aleados y durezas de menor valor en aceros al carbono.

3.2. Nitruración

Proceso de saturación de nitrógeno en elementos de acero de forma superficial. Este proceso se efectúa a una temperatura de operación de 500 – 600 grados Celsius en un lapso comprendido de 20 – 80 horas, dependiendo del tipo de tratamiento. La Norma DIN 17211 (1987) establece una temperatura de operación de 570 a 580 grados Celsius para una nitruración por gases o baño de sales.

Las piezas exhiben una coloración gris clara. Para obtener un acabado negro marrón – negro azulado, las piezas “hay que introducirlas en soluciones a base de hidróxidos de álcalis con aditivos oxidantes”³.

El resultado de una nitruración es una gran dureza y poca variación de dimensiones, siendo posible utilizar piezas acabadas, ya templadas-revenidas y rectificadas. La profundidad de la capa de difusión se incrementa lentamente por las bajas temperaturas del proceso comparado con la cementación, por lo que el tiempo de exposición de las piezas al medio saturante es aproximadamente diez veces mayor.

³ CALDERÓN, Julia Marilú. Nitruración en baño de sales. 1984. p. 65.

La dureza de la capa nitrurada se conserva durante ciclos de operación a temperaturas de 600 – 650 grados Celsius mientras que la dureza de la capa cementada con una estructura martensítica, se conserva hasta 200 – 225 grados Celsius.

La nitruración se utiliza en cigüeñales, engranes, cilindros de motores de alta potencia, árbol de levas, válvulas de escape, coronas de arranque, troqueles, dados, moldes, punzones y piezas de máquinas herramientas.

Gualiaev (1983) explica que la capa nitrurada de un elemento puede presentar estructuras complejas comprendidas en el sistema hierro – nitrógeno, describiendo las siguientes fases:

- Fase α

Ferrita nitrogenada contiene en disolución de 0,01 a 0,1 % de nitrógeno. No es visible al microscopio. La fase α forma un eutectoide con una saturación de 2.35 % de nitrógeno a 590 grados Celsius, conocido como braunita.

- Fase γ

Austenita nitrogenada existente a temperaturas superiores a la eutectoide.

- Fase γ'

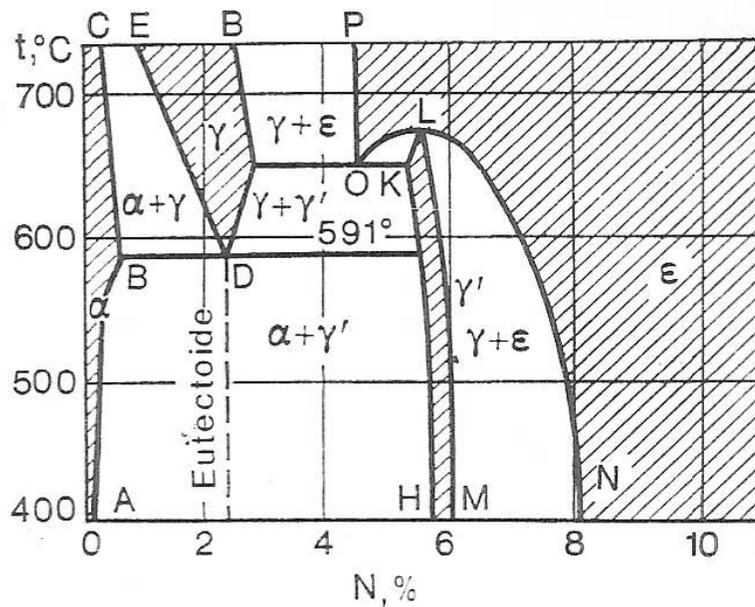
Nitruro de hierro Fe_4N . Compuesto no frágil con estructura de cristales cúbicos centrados en las caras. Se forma por enfriamiento lento de 300 grados Celsius a partir de una mezcla de Fe α y eutectoide (5,58 % de nitrógeno).

- Fase ϵ

Nitruro de hierro Fe_2N presenta una red hexagonal, de gran fragilidad. Mayor constituyente de la “capa blanca” en los procesos de nitruración y nitrocarburoción.

Cuando la temperatura de nitruración es más baja que la eutectoide, la capa nitrurada presenta tres fases: α , γ' y ϵ en la pieza.

Figura 28. Diagrama hierro-nitrógeno

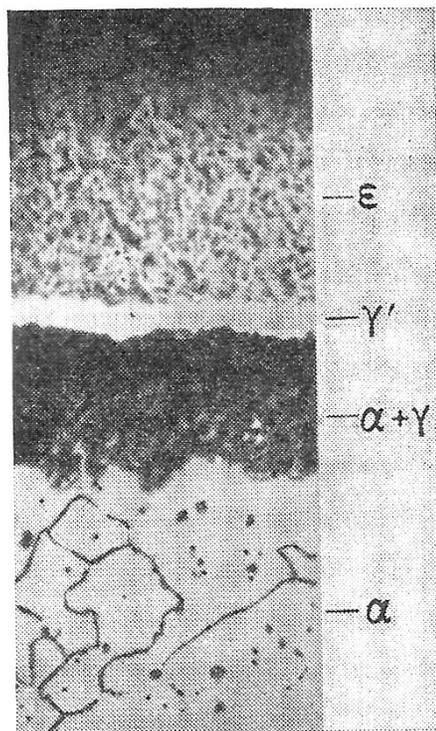


Fuente: GUALIÁEV, P. Metalografía tomo 1. p. 327.

Si la nitruración de un elemento con una temperatura de operación superior al punto eutectoide y un enfriamiento lento posterior, la estructura obtenida es un compuesto de las fases $\alpha + \gamma'$ denominada capa oscura.

Con una temperatura superior al punto eutectoide y un enfriamiento rápido del elemento, la pieza muestra una estructura martensita nitrogenada.

Figura 29. **Microestructura de una capa nitrurada de hierro**



Fuente: GULIÁEV, P. Metalografía tomo 1. p. 328.

Las formas de nitrurar piezas pueden ser a partir de medios gaseosos o sales fundidas. Si es medio gaseoso se usa amoníaco en hornos de atmósfera controlada a una temperatura de 480 – 700 grados Celsius, donde se disocia el nitrógeno en forma elemental del amoníaco. Un espesor adecuado de la capa de nitruración se define entre 0,3 – 0,6 milímetros. Las condiciones para obtener un resultado satisfactorio constan de mantener el proceso con temperatura de 500 – 520 grados Celsius.

3.3. Nitrocarburation

Tratamiento termoquímico que difunde carbono y nitrógeno en la superficie de un elemento metálico. Como la temperatura y duración de la nitrocarburation es menor a la cementación, no se produce un crecimiento de grano, por lo que inmediatamente después de la nitrocarburation se efectúa un temple para conseguir una alta dureza de la superficie.

El medio enfriante en el temple posterior al proceso depende del acero utilizado, según el proveedor recomienda si se elige aceite, agua, salmuera o aire comprimido.

El proceso de nitrocarburation se aproxima más a una nitruración con una baja temperatura de operación y a temperaturas elevadas se asemeja a una cementación. Se clasifica en nitrocarburation a baja temperatura 500 – 600 grados Celsius y nitrocarburation a alta temperatura, 800 – 950 grados Celsius.

La nitrocarburation a baja temperatura se utiliza para herramientas de acero rápido y para aceros de contenido medio de carbono. Como propósito general, se procura obtener en la superficie de la pieza una saturación de carbonitruros $Fe_3(N,C)$, lo que ofrece una buena resistencia al desgaste y de menor fragilidad comparado con carburos Fe_3C o nitruros Fe_3N . La dureza de la capa comprende entre 50 – 55 unidades Rockwell C.

La nitrocarburation a alta temperatura se usa en aceros de contenido bajo y medio de carbono, al igual que aceros aleados. La dureza de la capa nitrocarburationada se establece entre 58 – 62 unidades Rockwell C.

3.3.1. Tipos de nitrocarburation

Según el medio saturante, la nitrocarburation en piezas de acero se divide en nitrocarburation sólida, gaseosa y por baño de sales fundidas. Estos tipos de tratamientos exhiben variaciones en el tiempo de permanencia de las piezas.

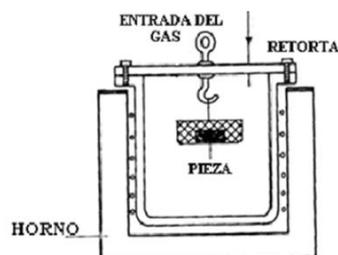
3.3.1.1. Nitrocarburation sólida

Similar a la cementación sólida difiere en que el carburante contiene cianuros. El medio saturante está compuesto por 30 – 40 % de ferrocianuro potásico $K_4Fe(CN)_6$, 10 % de carbonato de sodio Na_2CO_3 y el resto de carbón vegetal. El rendimiento de este proceso es menor a la nitruración líquida y gaseosa, razón por la que no es tan utilizado.

3.3.1.2. Nitrocarburation gaseosa

Conocida también como nitrocementación. Se basa en la mezcla de gases carburantes y nitrurantes como el gas de alumbrado y amoníaco. Mediante la elevación de temperatura se obtiene el desglose de los elementos químicos en forma atómica y se difunde en el metal base.

Figura 30. Horno estacionario de atmósfera controlada



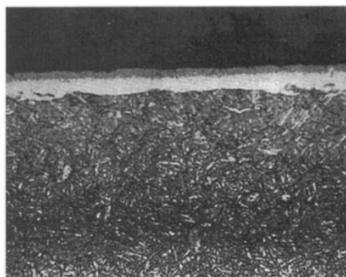
Fuente: DÍAZ, Felipe. Lecturas de Ingeniería 1. Endurecimiento superficial del acero. p. 31.

3.3.1.3. Nitrocarburation por sales fundidas

El medio saturante está conformado por sales fundidas de cianuro sódico NaCN o cianuro de potasio KCN. Las temperaturas de operación se eligen conforme a las proporciones de elementos difusores deseados. A temperaturas de 520 – 600 grados Celsius se obtiene una penetración de 20 % de carbono y 80 % de nitrógeno en el metal base. Con un rango de 820 – 860 grados Celsius presenta una difusión de 20 % nitrógeno y 80 % carbono.

El compuesto de sales es constituida por 20 – 25 % de cianuro, 25 – 50 % de cloruro de sodio NaCl y 25 – 50 % de carbonato de sodio Na₂CO₃. El lapso de exposición de las piezas dentro de las sales fundidas es de 30 a 180 minutos.

Figura 31. **Microestructura de una capa de nitrocarburation en sales**



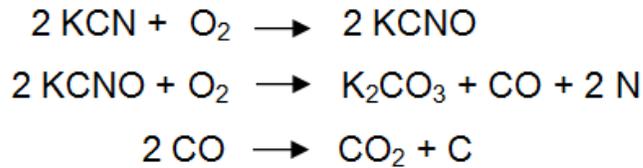
Fuente: DÍAZ, F. Lecturas de Ingeniería 1. Endurecimiento superficial del acero. p. 36.

3.3.2. Composición y estructura

En la nitrocarburation por baño de sales, la obtención de carbono y nitrógeno elemental ocurre por la oxidación del cianuro, el aporte de oxígeno proviene del aire.

Esta reacción se resume de acuerdo con la siguiente figura:

Figura 32. **Obtención de carbono y nitrógeno elemental**

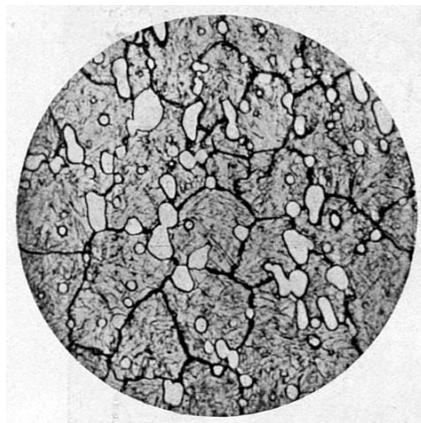


Fuente: CALDERÓN. J. Nitruración en baño de sales. p. 25.

El cianuro es el compuesto regenerativo del baño de sales, ya que es el compuesto que se desglosa en carbono y nitrógeno elemental.

El carbono y nitrógeno formados en la reacción interactúan con la superficie del acero formando carburos y nitruros; mientras que, adentrándose al núcleo de la pieza, existe una difusión intersticial de los elementos químicos.

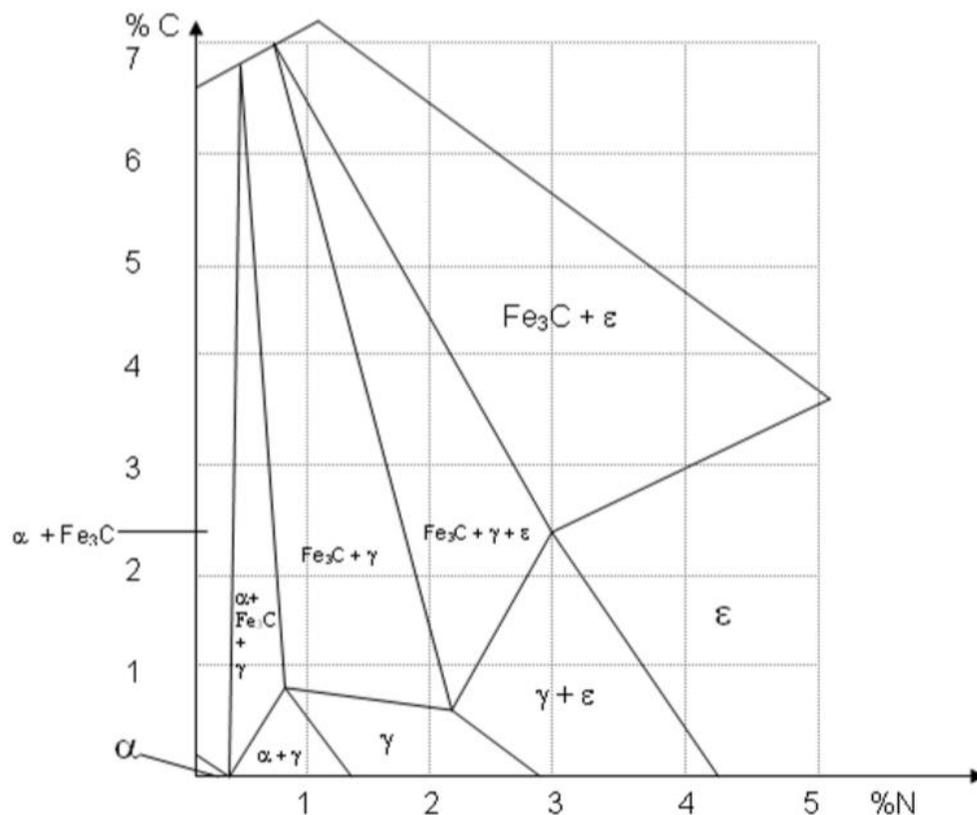
Figura 33. **Carburos en acero rápido**



Fuente: APRAIZ, J. Tratamientos térmicos de los aceros. p. 116.

Bohórquez (2007) manifiesta que en un proceso de nitrocarburation, por existencia de difusion conjunta de carbono y nitrógeno, su estructura superficial difiere de la nitruración convencional; en nitruración la capa formada es una combinación de fase γ' y fase ϵ (nitruros), la cual resulta en una fase frágil. Para nitrocarburation se establece una fase sencilla en la zona de compuesto denominada capa blanca en la que predomina nitruros ϵ -FeN a comparación de carbonitruros.

Figura 34. Diagrama de fases Fe-C-N, tratamiento de nitrocarburation



Fuente: BOHÓRQUEZ, Carlos. Resumen Nitrocarburation austenítica de los aceros AISI 1020 y 8620 mediante el empleo de alcoholes y nitruantes líquidos. p. 3.

3.3.3. Ventajas y desventajas de la nitrocarburation

Debido a las particularidades que diferencian los tratamientos termoquímicos descritos anteriormente se presentan las ventajas y desventajas de la nitrocarburation con los otros procesos de difusion:

3.3.3.1. Ventajas

- Menor tiempo de penetración de los elementos químicos en metal base a una profundidad similar en comparación a la cementación.
- Poca deformación y sobredimensionamiento de las piezas metálicas. No requieren de rectificado.
- Mayor resistencia al desgaste como a la corrosión respecto a piezas cementadas.
- Ahorro energético por ciclos de operación relativamente breves en hornos.

3.3.3.2. Desventajas

- Perjuicios a la salud del personal que lleva a cabo la nitrocarburation por los cianuros del medio saturante. Es indispensable obedecer rigurosamente las normas de seguridad.

3.3.4. Aplicaciones de la nitrocarburation

La nitrocarburation es aplicada en piezas de construcción complicada como engranajes y coronas proporcionando resistencia al desgaste producido por contacto directo, así como, un incremento de tenacidad por choques o torceduras sometidas.

Se incluyen pines, pasadores y ejes. La mejora en la resistencia a la fatiga como a la abrasión contribuye a un mejor desempeño.

En herramientas para mecanización, que representen corte, penetración y arranque de viruta, el incremento de dureza superficial resultante por la formación de carburos conlleva una prolongación de la vida útil por reducción de desgaste en las piezas. Estos elementos incluyen troqueles, dados, matrices, moldes de inyección, punzones y cuchillas.

4. HORNOS

Un horno para tratamientos termoquímicos se constituye por un espacio denominado hogar, este alberga las piezas de trabajo con el material saturante y se da el aporte de calor al proceso. Las características que debe presentar un horno utilizado para baños de sales es un control adecuado de la temperatura de operación, uniformidad del calor durante el tratamiento, rapidez en el incremento de temperatura y ausencia de oxidación a las piezas.

4.1. Tipos de hornos

Los hornos utilizados para tratamientos termoquímicos se clasifican por la forma de aporte calorífico, definiendo entre ellos por sus características de rendimiento. Burke (1969) divide los hornos en calentados mediante productos de combustión, resistencia eléctrica y arco eléctrico.

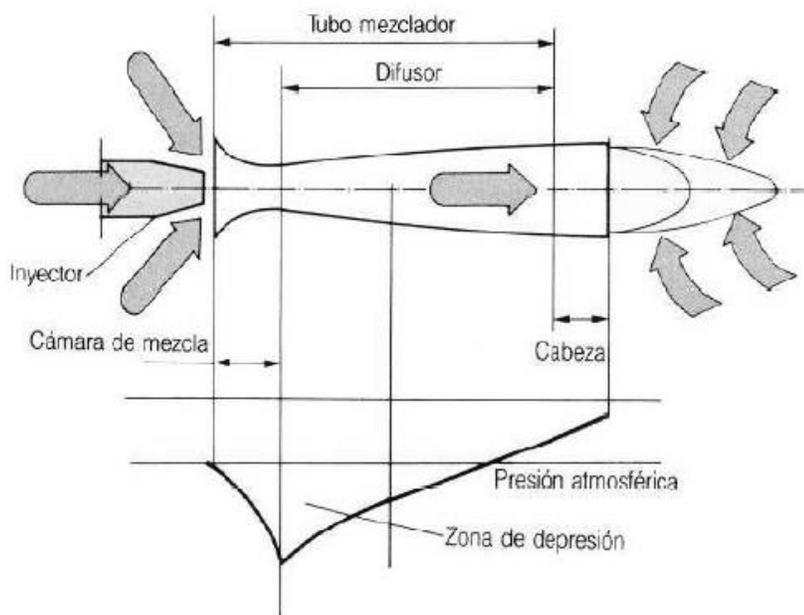
4.1.1. Hornos calentados por productos de combustión

Este tipo de hornos usan quemadores de combustible como medio de calentamiento externo. Por su versatilidad y bajo costo en comparación con los otros tipos es ideal para operaciones intermitentes.

Los quemadores son dispositivos que dosifican una mezcla homogénea de aire-combustible. Requiere de combustibles en estado líquido, gaseoso o combinación de ambos para producir una combustión controlada.

Los quemadores se clasifican en dos tipos: atmosféricos y mecánicos. Los quemadores tipo atmosféricos usan únicamente combustible gaseoso, este es introducido por medio de un inyector a la cámara de mezcla, a la vez que es inducida una cantidad de aire por efecto Venturi.

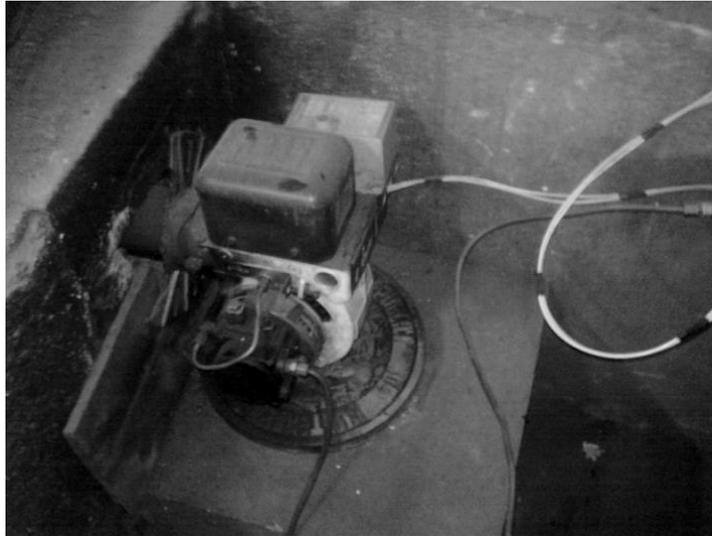
Figura 35. **Esquema de un quemador atmosférico SEDIGAS**



Fuente: ANDRADE, Danilo. Dimensionamiento y construcción de un horno para baños de sales para el taller de procesos de producción mecánica. p. 36.

Los quemadores mecánicos usan ventiladores para introducir aire, el cual se mezcla con el combustible líquido o gaseoso y así produce una llama adecuada. El combustible es atomizado para homogeneizar la mezcla a través de inyectores. Este tipo de quemador es conocido como quemador a sobrepresión, debido a que trabajan un rango de presión de 70 a 280 libras por pulgada cuadrada, mayor a la atmosférica.

Figura 36. **Quemador diésel Combustion Technology Inc.**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

La desventaja de este tipo de hornos radica en el difícil control de la uniformidad y magnitud de la temperatura de operación, debido a que focaliza el aporte de calor en una zona reducida, determinada por la dirección de la flama en la salida del quemador, se aprecia un calentamiento irregular del hogar, lo que varía las condiciones del proceso.

4.1.2. Hornos calentados por resistencia eléctrica

La fuente de calor en este tipo de hornos está dada por el uso de resistencias eléctricas y se explica bajo el principio de Joule, este indica que la circulación de corriente eléctrica a través de cualquier elemento conductor produce un calentamiento. Esta energía calorífica se produce por el rozamiento de electrones en el interior del conductor.

Estos hornos muestran en el hogar un incremento en la exactitud y uniformidad de la temperatura durante el proceso de difusión.

Los inconvenientes apreciables es un aumento en el costo de operación, al igual que un procedimiento más complejo de funcionamiento respecto al horno de combustión.

Figura 37. Horno eléctrico, Thermolyne



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

4.1.3. Hornos calentados por arco eléctrico

Su funcionamiento radica en la formación de un arco eléctrico entre electrodos, lo que proporciona una fuente de calor en la cámara de mejor calidad, un control más preciso de temperatura y una capacidad de producción mayor.

Los electrodos quedan sumergidos en el baño de sales. Como las sales fundidas es un material conductor, la corriente eléctrica que las atraviesa produce calor originado por el paso de electrones entre el material saturante, suficiente para su calentamiento. Los rangos de operación se establecen de 8 a 30 voltios, con una potencia de transformador que varía de 10 a 130 kilowatts.

Para la puesta en marcha de este tipo de horno se coloca un trozo de coque entre los electrodos, se presiona contra ella una barra de hierro auxiliar, que llega al rojo vivo. Esta acción inicia la fundición de las sales en su periferia y luego se calienta el resto de la masa, por el inconveniente que las sales en estado sólido conforman un material mal conductor.

Las limitantes de este tipo de horno es el alto costo de funcionamiento y mantenimiento como su ciclo de vida reducido comparado a los anteriores.

5. REACTIVOS

El material saturante de la práctica es un compuesto de sales constituido por carbonato de sodio, cianuro de potasio y cloruro de sodio en proporciones de peso establecido; el riesgo latente que representa el desconocimiento de las características de cada reactivo es perjudicial para la salud de los participantes, por lo que se detallan sus principales propiedades y el nivel de peligro existente en su manipulación.

Para clasificar los compuestos saturantes se recurre al código NFPA 704, define el diamante de materiales peligrosos, establecido por la Asociación Nacional contra el Fuego, "*Nacional Fire Protection Association*". Este código indica los riesgos que representa el compuesto químico etiquetado.

5.1. Código NFPA 704

La representación gráfica del código NFPA 704 consta de un diamante dividido en cuatro regiones diferenciadas por colores. La sección azul indica el riesgo para la salud, el rojo representa la amenaza de inflamabilidad y el color amarillo hace referencia al peligro por reactividad o inestabilidad del producto. En estas secciones se designa un número entre el rango de 0 (sin peligro) hasta 4 (peligro máximo).

La sección blanca muestra indicaciones especiales como material oxidante, corrosivo, radiactivo o reactivo con agua, identificado por siglas o símbolos.

5.1.1. Azul/Salud

Reactivo que puede causar la muerte o daño permanente con una corta exposición. Identificado con número 4.

Material que ocasiona daños temporales o permanentes bajo corta exposición. Expresado con número 3.

Producto cuya exposición continúa o intensa se puede producir incapacidad temporal o posibles daños permanentes, a menos que se proporcione tratamiento médico inmediato. Definido con número 2.

Sustancia que produce irritación o daños residuales menores, aún en ausencia de tratamiento médico. Descrito con número 1.

No presenta riesgo a la salud. Establecido con número 0.

5.1.2. Rojo/Inflamabilidad

Vaporiza completamente a temperatura ambiente y presión atmosférica. Punto de inflamabilidad por debajo de 23 grados Celsius. Altamente inflamable. Atributo señalado con número 4.

Se enciende en condiciones de temperatura ambiental. Punto de inflamabilidad entre 23 y 38 grados Celsius. Seriamente inflamable. Definido con número 3.

Al exponerse a temperaturas altas se produce una ignición. Punto de inflamabilidad entre 38 y 93 grados Celsius. Moderadamente inflamable. Identificado con número 2.

Material que debe precalentarse para presentar una ignición. Punto de inflamabilidad mayor a 93 grados Celsius. Suavemente inflamable. Descrito con número 1.

Producto no inflamable. Calidad expresada con número 0.

5.1.3. Amarillo/Reactividad

Detona o explota en condiciones de temperatura ambiente. Descrito con número 4.

Capaz de detonar o explotar con una fuente de ignición. Reacciona explosivamente con agua o por una fuerte descarga eléctrica. Característica establecida con número 3.

Sufre de cambios químicos violentos a temperatura y presión elevada. Reacciona bruscamente con agua o forma mezclas explosivas con agua. Se define con número 2.

Puede ser inestable a temperatura y presión elevada. Calidad señalada con número 1.

Estable, aún bajo exposición al fuego. No es reactivo con agua. Identificado con número 0.

5.1.4. Blanco/Especial

- 'W': reacciona con agua de manera inusual o peligrosa
- 'OXY': oxidante
- 'COR': corrosivo: ácido o base fuerte. Con las letras 'ACID' se puede indicar “ácido” y con 'ALK', “base”
- 'BIO': riesgo biológico
- ☠: producto radioactivo
- 'CRYO': criogénico
- 'Xn': nocivo, presenta riesgos epidemiológicos

Figura 38. **Diamante de materiales peligrosos código NFPA 704**



Fuente: Cartelería de Seguridad Industrial. www.safetysi.com.ar/wp-content/uploads/2012/03/ROMBO-NFPA-C10.jpeg. [Consulta: 4 de agosto de 2013].

5.2. Cianuro de potasio

Producto químico utilizado en la conformación de compuesto de sales a fundir, aporta el carbono y nitrógeno en estado elemental para la difusión de estos elementos en la superficie de las probetas de acero.

5.2.1. Generalidades

Denominado también como cianuro potásico, su fórmula molecular es KCN. Presenta un peso molecular de 65 gramos por mol. Tiene una apariencia de terrones amorfos, color blanco. Es soluble en agua, alcohol y glicerina. Su punto de fusión es de 634 grados Celsius. Muy estable en estado seco, con la humedad emite gases venenosos de cianuro de hidrógeno.

Entre sus aplicaciones se enlista extracción de metales preciosos, conformado de baños galvánicos, fabricación de colorantes y tratamientos termoquímicos en metales.

5.2.2. Efectos sobre la salud

Los efectos que puede producir son graves irritaciones hasta quemaduras en la piel. La cianosis es producida por intoxicación de forma severa por este reactivo, surgiendo tonalidades rojas o azules en la piel.

La ingestión o inhalación por medio de liberación de vapores al estar en contacto con ácidos o soluciones alcalinas producen ardor en el tracto digestivo y respiratorio, espasmos, convulsiones, dolor de cabeza, mareos, náuseas, vómito, irregularidad en la respiración, arritmia, pérdida de conocimiento o la muerte.

El contacto con los ojos presenta enrojecimiento, dolor, pérdida de visión, o daño permanente, según la exposición sufrida por los órganos.

5.2.3. Almacenamiento

El cianuro de potasio debe ser almacenado en áreas secas y cerradas con llave. Debe evitarse el contacto con productos para la salud, materias primas para alimentos o comestibles. La exposición con ácidos, alcalinos débiles y material oxidado como nitratos, nitritos y cloratos puede ocasionar inestabilidad del compuesto.

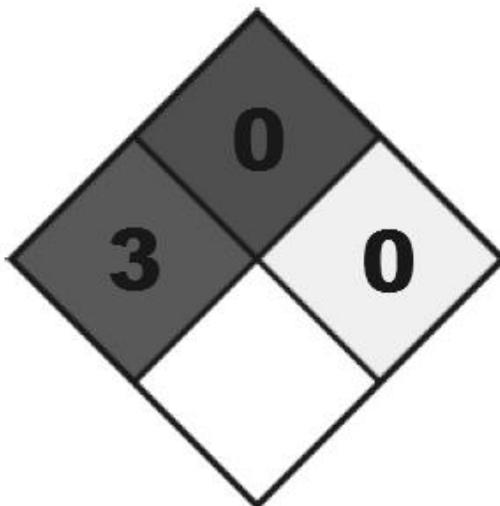
Los envases vacíos deben estar bien cerrados y guardarlos bajo las mismas condiciones que los recipientes llenos hasta ser descontaminados.

En caso de quedar restos de cianuro de potasio donde no es posible eliminarlos con agua, tiene que ser neutralizado con hipoclorito o peróxido de hidrógeno (agua oxigenada).

5.2.4. Impacto ambiental

Material tóxico para la vida acuática. El manejo de residuos debe ser conservado de forma hermética en ambientes secos dentro de contenedores adecuados o ser neutralizados antes de ser desechados en tanques de control.

Figura 39. **Clasificación de cianuro de potasio en código NFPA 704**



Fuente: Grupo TRANSMERQUIM. Hoja de datos de seguridad cianuro de potasio. p. 1.

El cianuro de potasio se clasifica como material muy peligroso a la salud, no inflamable, compuesto estable.

5.3. Carbonato de sodio

Uno de los reactivos utilizados en la composición del material saturante a fundir en la práctica de nitrocarburation. En el medio comercial es conocido como soda cálcica, soda ash o sosa carbonatada.

5.3.1. Generalidades

La fórmula química del carbonato de sodio está dada como Na_2CO_3 . Posee un punto de fusión de 851 grados Celsius. Su peso molecular es de 105,99 gramos por mol. Se aprecia como polvo cristalino blanco, sin olor.

Es estable en condiciones normales, al contacto con ácidos fuertes produce grandes cantidades de dióxido de carbono y es corrosivo al contacto con aluminio y zinc.

Las aplicaciones de este compuesto en la industria son suavizante de agua, agente limpiador, jabón, detergente, aditivo de alimentos, procesamiento de textiles, manufactura de vidrio y refinación de petróleo.

5.3.2. Efectos sobre la salud

Los síntomas percibidos por alta concentración de polvo son tos, estornudos, dificultad de respiración, así como, irritación de tracto respiratorio y mucosas.

Si el compuesto es ingerido, propicia irritación al tracto gastrointestinal, vómito y diarrea.

El contacto con piel y ojos produce irritación. Una exposición prolongada puede resultar en dermatitis o edema conjuntival.

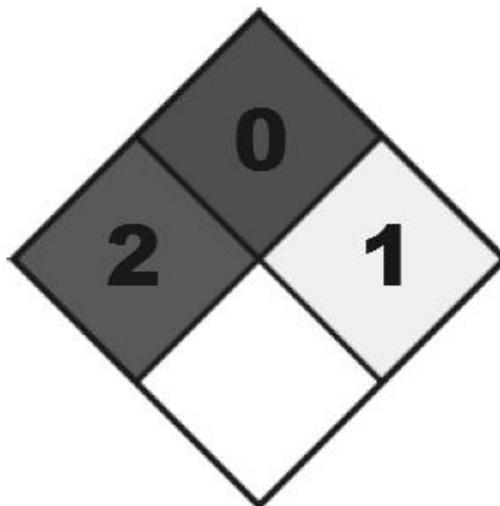
5.3.3. Almacenamiento

El carbonato de sodio debe ser resguardado en envases cerrados herméticamente, mantenerlo en lugares frescos, secos y ventilados. Debe estar aislado de fuentes de ignición.

5.3.4. Efecto ambiental

El producto no presenta riesgos considerables para el medioambiente.

Figura 40. **Clasificación de carbonato de sodio en código NFPA 704**



Fuente: Manufacturas Silíceas S.A. Hoja de seguridad material MSDS, carbonato de sodio. p. 8.

El carbonato de sodio se clasifica como material peligroso a la salud, no inflamable, compuesto inestable en caso de calentamiento.

5.4. Cloruro de sodio

Producto químico adicionado al compuesto de sales. La adquisición de este reactivo no presenta ninguna regulación en el medio, caso contrario de los demás productos, debido a que su manipulación y almacenamiento no representa mayor riesgo.

5.4.1. Generalidades

Cloruro de sodio o sal común es un polvo blanco cristalino inodoro, identificado como NaCl. Presenta una temperatura de fusión de 801 grados Celsius. Es reactivo con agentes oxidantes, metales y ácidos.

5.4.2. Efectos sobre la salud

Ingerir sal en grandes cantidades puede producir irritación, náusea o vómito. Una exposición continua produce deshidratación o congestión en los órganos.

La inhalación de este producto irrita el tracto respiratorio y mucosas.

El contacto con ojos y piel puede resultar en irritación.

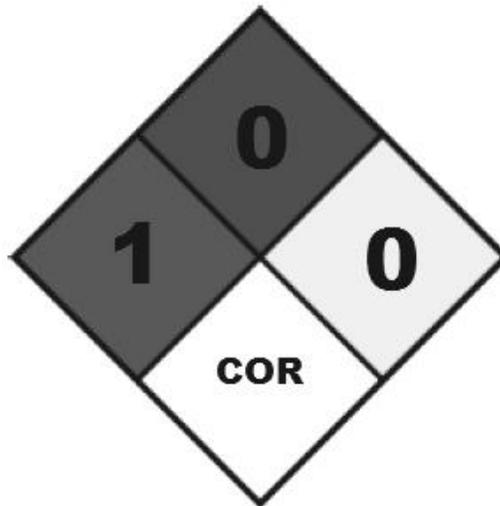
5.4.3. Almacenamiento

No requiere de almacenamiento específico mantener el reactivo en un lugar fresco, ventilado, libre de humedad. Evitar la exposición a altas temperaturas por combustión del producto.

5.4.4. Efecto ambiental

No representa un riesgo considerable para el medioambiente. Evitar la contaminación de fuentes de agua o alcantarillas por la formación de productos de degradación a largo plazo.

Figura 41. **Clasificación de cloruro de sodio en código NFPA 704**



Fuente: CTR scientific. Hoja de datos de seguridad cloruro de sodio. p. 4.

El cloruro de sodio se clasifica como material poco peligroso a la salud, no inflamable, material estable, corrosivo para su entorno.

5.5. Ácido nítrico

Sustancia que complementa el compuesto químico utilizado en el ataque superficial de las probetas metálicas a estudiar, este proceso de preparación se realiza previo al ensayo de micrografías en las muestras.

5.5.1. Generalidades

Ácido inorgánico. Su fórmula química es NO_3H . Es un líquido amarillo pálido, de olor picante. Posee un punto de ebullición de 105 grados Celsius y un punto de congelación de - 45 grados Celsius.

No es inflamable ni explosivo en condiciones normales, pero es corrosivo con la mayoría de metales y tejidos. La sustancia reacciona con el agua despidiendo calor y gases tóxicos.

Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como fertilizantes, colorantes, plásticos, fibras y explosivos. También como agente oxidante de piezas o para limpiar material de laboratorio.

5.5.2. Efectos sobre la salud

La inhalación de los vapores producidos por este producto provoca estornudos, ronquera, laringitis, dificultad de respiración, irritación del tracto respiratorio y dolor de tórax.

El contacto con los ojos produce irritación, dolor, lagrimeo e incluso ceguera. En la piel causa dermatitis, quemaduras severas, dolor y se adquiere un color amarillento.

Si es ingerido, puede presentar salivación, sed intensa, dificultad al tragar o destruir los tejidos gastrointestinales,

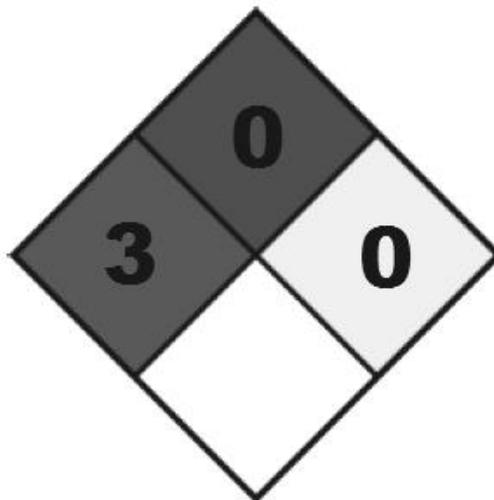
5.5.3. Almacenamiento

Ubicar el reactivo en lugares fríos, secos y ventilados. Resguardar en gabinetes con llave para evitar su manipulación por personas ajenas al laboratorio. Mantener alejados de metales, productos orgánicos y material oxidable.

5.5.4. Efecto ambiental

Evitar el contacto con fuentes hídricas. Para su desecho, debe ser neutralizado con bicarbonato de sodio o hidróxido de calcio. En su estado neutro puede tirarse al drenaje con agua en abundancia.

Figura 42. Clasificación de ácido nítrico en código NFPA 704



Fuente: PROQUIMSA. Hoja de datos de seguridad ácido nítrico. p. 4.

El ácido nítrico se clasifica como material muy peligroso a la salud, no inflamable, material estable en condiciones normales.

5.6. Alcohol etílico

Conocido como etanol, esta sustancia constituye la base del compuesto químico usado en el ataque superficial de probetas para su evaluación micrográfica. Esta composición puede variar levemente en proporción.

5.6.1. Generalidades

Es un líquido transparente con olor característico. Nomenclatura química establecida como $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Posee un punto de inflamación de 13 grados Celsius y un punto de ebullición de 105 grados Celsius. Sus gases forman mezclas explosivas con el aire. Se debe evitar el contacto con metales y óxidos alcalinos u oxidantes fuertes.

Producto usado como disolvente de resinas, ácidos, grasas o de hidrocarburos. Requerido en la fabricación de derivados orgánicos, detergentes, soluciones de limpieza, solventes, colorantes, anticongelantes y revestimientos. Aplicaciones en medicina, análisis en laboratorios y química fina.

5.6.2. Efectos sobre la salud

Ingerir alcohol etílico genera irritación, náusea o vómito. Además se puede suscitar vértigo, narcosis, parálisis respiratoria o embriaguez.

La inhalación de sus gases puede ocasionar irritación leve en mucosas.

Riesgo de absorción cutánea.

El contacto con ojos origina irritación.

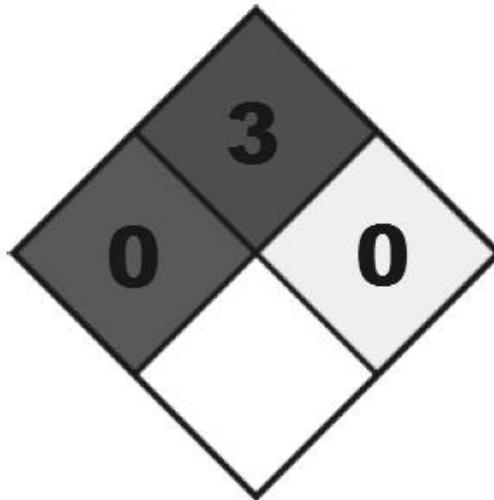
5.6.3. Almacenamiento

Resguardarse en un espacio ventilado, con recipientes bien cerrados y debidamente señalizados, alejados de fuentes de ignición, conexiones eléctricas o exposición a altas temperaturas.

5.6.4. Efecto ambiental

Sin recomendaciones particulares, no exhibe riesgo potencial al medioambiente. En caso de presentarse un derrame, recoger con materiales absorbentes o en su defecto arena o tierra.

Figura 43. Clasificación de alcohol etílico en código NFPA 704



Fuente: CTR scientific. Hoja de datos de seguridad alcohol etílico 96°. p. 5.

El alcohol etílico se clasifica como material sin riesgo a la salud, sustancia inflamable, estable bajo condiciones normales.

6. NORMAS DE SEGURIDAD

El uso de compuestos químicos representa cierto riesgo si se desconoce su correcta manipulación en procesos industriales, siendo indispensable enlistar un reglamento de seguridad y equipo de protección necesario durante la práctica de nitrocarburation, para resguardar la integridad de los participantes a lo largo del proceso.

6.1. Equipo de protección

Se entiende por equipo de protección a la vestimenta y accesorios diseñados para proteger la integridad del participante de posibles peligros o lesiones durante una actividad determinada.

6.1.1. Preparación del compuesto de sales

- Guantes de látex.
- Mascarilla contra gases orgánicos, tipo de filtro R-621 (para vapores, plaguicidas o aerosoles que incluyan hidrógeno, carbono, cloro, flúor, azufre o nitrógeno).
- Gafas de seguridad.
- Camisa manga larga, adicional de la bata de trabajo.
- Botas industriales.
- Pantalón de lona.

6.1.2. Proceso de difusión en metales

- Guantes de cuero.
- Camisa manga larga y pantalón de lona. Evitar materiales inflamables como nailon o poliéster.
- Mascarilla contra gases orgánicos.
- Botas industriales.
- Gafas de seguridad o careta.

6.1.3. Ataque químico de probetas

- Guantes de látex
- Mascarilla
- Gafas de seguridad
- Bata de trabajo
- Botas industriales
- Pantalón de lona

Figura 44. **Equipo de seguridad personal**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

6.2. Reglamento de seguridad durante la práctica

Conjunto de normas que regulan las condiciones del área de trabajo, portación de equipo de protección necesario, recomendaciones de manipulación de reactivos y comportamiento de los participantes dentro del laboratorio.

6.2.1. Resguardo de los participantes

- Portar el equipo de protección en todo momento.
- No ingerir los reactivos.
- No inhalar vapores de los reactivos.
- Evitar el contacto directo de reactivos con la piel y ojos.
- No exponerse al interior del horno durante su funcionamiento sin equipo de protección.
- Utilizar el extractor de vapores del laboratorio a lo largo del proceso de nitrocarburation.
- Evitar distracciones durante la manipulación de reactivos o elementos sometidos a altas temperaturas.
- Prohibido cualquier tipo de juego o broma dentro del área de práctica.
- No fumar dentro del laboratorio.
- No consumir bebidas o alimentos dentro del laboratorio.
- No portar accesorios como aretes, cadenas, pulseras durante la práctica.
- Recoger el pelo largo suelto en caso de las mujeres.
- No utilizar ninguna herramienta o equipo si se desconoce de su uso o funcionamiento.
- Prohibido el uso de cualquier aparato electrónico dentro del laboratorio como teléfono, reproductor de música, palm o tableta.

6.2.2. Aspectos a considerar durante el proceso

- Evitar el contacto de los reactivos con agua, ácidos o bases.
- Monitorear la temperatura y duración del proceso.
- El área de trabajo debe ser un lugar ventilado.
- Mantener el laboratorio despejado y limpio.
- Respetar las proporciones de los reactivos en el compuesto de sales para obtener un resultado satisfactorio.

6.2.3. Almacenamiento de reactivos

- Todo reactivo debe ser ubicado en gabinetes con llave, las cuales no tengan libre acceso para personas ajenas al laboratorio.
- Todo envase debe estar debidamente identificado según el contenido que posea de los reactivos.
- Mantener los reactivos en un espacio fresco, libre de humedad.
- Los recipientes deben estar debidamente cerrados antes y después de utilizarlos.

6.2.4. Aspectos ambientales

- Evitar derrames de reactivos en fuentes de agua o drenajes.
- No liberar residuos al ambiente de forma directa, antes deben ser neutralizados los productos químicos.
- En caso de algún derrame de los reactivos, si la cantidad es pequeña absorber con toallas de papel y si es bastante, usar arena, tierra o un material inerte no combustible. Recoger la tierra con pala o aspirada.

6.3. Primeros auxilios

En caso de presentarse un incidente durante la práctica se recomienda contar con un botiquín, este debe ubicarse en un sitio de fácil acceso, libre de polvo y humedad. Es necesario hacer de su conocimiento a todo participante dentro del laboratorio.

6.3.1. Botiquín de primeros auxilios

El contenido básico de dicho botiquín requiere de los siguientes elementos:

- Algodón
- Gasas esterilizadas
- Vendas elásticas
- Hisopos de algodón
- Mascarillas desechables
- Esparadrapo
- Varios pares de guantes de látex
- Alcohol de 96 grados
- Agua oxigenada
- Agua destilada
- Crema antibiótica
- Pomada para quemaduras
- Jabón neutro no abrasivo
- Acetaminofén, analgésicos
- Bañeras oculares
- Tijeras
- Pinzas

- Termómetro
- Abatelenguas
- Linterna

Si ocurriese un incidente se sugieren las siguientes acciones según la causa que lo provocó:

6.3.2. Contaminación por contacto dérmico

Lavar cuidadosamente la zona afectada con abundante agua y jabón no abrasivo. Limpie bien los pliegues de la piel hasta eliminar los residuos de reactivos en su totalidad. Quitar la ropa contaminada. Si persiste la irritación buscar atención médica.

6.3.3. Contaminación por contacto ocular

Al experimentar algún tipo considerable de irritación enjuagar con abundante agua los ojos abiertos durante 10 – 15 minutos. Solicitar asistencia médica de inmediato si las molestias persisten después del tiempo recomendado del lavado.

6.3.4. Ingestión de productos químicos

No induzca al vómito si la víctima está inconsciente. Si la persona respira y está consciente, enjuagar la boca con abundante agua sin ser ingerida. Por seguridad utilice guantes de látex para inducir vómito. Buscar atención médica en la brevedad posible.

6.3.5. Inhalación de vapores

Trasladar a la víctima al aire fresco. De no respirar, proporcionarle respiración artificial evitando aplicar respiración boca a boca. Si la respiración es irregular sentar a la persona y administrar oxígeno, preferiblemente por personal especializado.

6.3.6. Quemaduras

Lavar el área afectada con agua fresca hasta que desaparezca el dolor. Con un paño, delicadamente seque la quemadura y cúbrala con gasa. Evite aplicar cualquier ungüento no recomendado al caso, ya que estos retienen el calor. Si se forman ampollas, no deben romperse para evitar infecciones. Si la lesión es severa, recurrir a una asistencia médica.

7. MARCO PRÁCTICO

7.1. Especificaciones de probetas

Las probetas se maquinaron a partir de ejes en estado de suministro de acero 1045 y H-13, con dimensiones de 25,4 milímetros de diámetro x 12,7 milímetros de largo.

De acuerdo con las fichas técnicas de los aceros y las tablas de conversión, las probetas 1045 deben presentar una dureza aproximada de 14 unidades Rockwell C en estado de suministro. En el caso de las piezas de acero H-13, su dureza de suministro se estima en 21 unidades Rockwell C.

El acabado superficial requirió un desbaste fino con papel lija 600 antes del tratamiento termoquímico y un pulido para el ensayo de micrografías.

Figura 45. **Probeta acero 1045 en estado de suministro**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

7.2. Equipos utilizados

La práctica de nitrocarburation por sales fundidas requiere materiales y equipamiento mínimo para llevarse a cabo, de los cuales se detalla insumos usados en el proceso, instrumental de medición, equipo de fundición de compuestos químicos y dispositivos de observación.

7.2.1. Insumos usados en la práctica

- 6 probetas de acero 1045 en suministro de 25,4 x 12,7 milímetros
- 6 probetas de acero H-13 en suministro de 25,4 x 12,7 milímetros
- 1 kilogramo de cianuro de potasio
- ½ kilogramo de carbonato de sodio
- 1 kilogramo de cloruro de sodio
- 38 mililitros de alcohol etílico
- 2 mililitros de ácido nítrico
- 1 libra de alambre de amarre
- 2 crisoles, cilíndrico y rectangular
- 5 galones de combustible diésel
- Papel lija número 220, 300, 400, 600 y 1 200
- 1 galón de aceite lubricante 20 W 50

7.2.2. Equipo de medición

- Durómetro escala Rockwell C
- Balanza análoga
- Pirómetro infrarrojo
- Cronómetro

7.2.3. Equipo de fundición

- Horno artesanal de ladrillo refractario con quemador diésel
- Horno de resistencia eléctrica Thermolyne SYBRON

7.2.4. Equipo de observación

Para el ensayo de micrografías se utilizó un microscopio óptico Nikon U III, funciona bajo el principio de reflexión de rayos luminosos de la muestra al ocular. Cuenta con lentes de aumentos de 50 X, 100 X, 200 X, 500 X y 1 000 X.

Figura 46. **Microscopio óptico Nikon**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

7.3. Guía práctica de ensayo de nitrocarburation

Esta guía es un material de apoyo para los participantes de esta práctica se proporciona tanto el listado de material y equipo necesario para el tratamiento termoquímico como una explicación breve paso a paso del ensayo.

Figura 47. **Guía práctica de ensayo de nitrocarburation**

- Procedimiento**
1. Pulir la superficie de la probeta con papel lija hasta no. 600, debe obtener un acabado aceptable.
 2. Medir la dureza de suministro de la pieza en el durómetro. (Dos lecturas mínimo por cara).
 3. Limpiar la probeta con alcohol etílico para obtener un acabado superficial adecuado.
 4. Amarrar la probeta con alambre de forma que sea fácil su extracción del horno.
 5. Colocar en el crisol la cantidad establecida de sales químicas, con la precaución de no verterlo en forma brusca para evitar la liberación de residuos al ambiente. Recorra a la balanza para dosificar en peso los reactivos.
 6. Posicionar el crisol con las probetas en el horno y elevar su temperatura aproximadamente de 570 a 600 °C.
 7. A partir de la fundición de sales cronometrar el intervalo de exposición al tiempo establecido. (30 min-180min).
 8. Al concluir el periodo de saturación, enfriar de forma brusca la probeta, sumergiéndola en un depósito con aceite.
 9. Medir la dureza final de la probeta. (Cuatro lecturas mínimo por cara).
- Objetivos**
- Conocer el procedimiento de nitrocarburation de piezas a partir de sales fundidas.
 - Alterar la dureza superficial de la probeta de acero. Comparar la lectura antes y después de la práctica.



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Ingeniería
 Escuela de Ing. Mecánica
 Laboratorio Metalurgia y Metalografía

PRÁCTICA DE NITROCARBURACIÓN POR SALES FUNDIDAS

Seguir las instrucciones y normativo que indica el encargado de la práctica. Cualquier duda o anomalía notificarle al encargado durante el proceso. Debe portar en todo momento su equipo de protección personal.

Equipo y materiales a utilizar

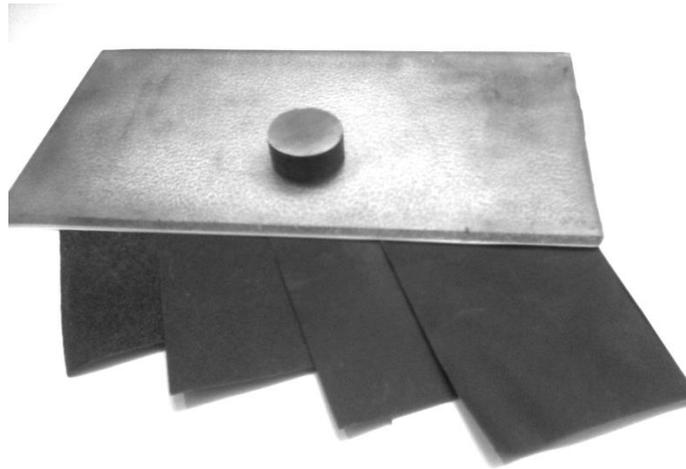
1. Pieza de acero H-13 de 25,4 mm de diámetro x 12 mm
2. Alambre
3. Papel lija no. 100, 200, 400, 600, 1200.
4. Cronómetro
5. Guantes de látex
6. Gafas protectoras
7. Mascarilla de gases orgánicos
8. Balanza analoga (proporcionado en el laboratorio)
9. Durómetro HRC (proporcionado en el laboratorio)
10. Horno eléctrico (proporcionado en el laboratorio)
11. 260 g Cianuro de Potasio (KCN)
12. 390 g Carbonato de sodio (Na₂CO₃)
13. 350 g Cloruro de sodio (NaCl)
14. Alcohol etílico
15. Aceite lubricante.

Fuente: elaboración propia.

7.4. Procedimiento general de ensayo de nitrocarburation en horno diésel y eléctrico

Las probetas se maquinaron a las medidas establecidas, de igual forma se pulió la superficie de cada elemento con papel lija número 100, 200, 400 y 600 hasta obtener una apariencia superficial aceptable.

Figura 48. Pulido de probetas



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Después se marcó cada probeta con un punzón para su fácil identificación a lo largo del proceso de nitrocarburation. De forma arbitraria se asignó a cada pieza un número de 1 a 6.

Se tabuló la dureza de suministro, parámetro utilizado como medio de comparación del rendimiento del ensayo. Para ese procedimiento se registraron dos lecturas de cara, el promedio de los valores indica la lectura representativa de cada probeta.

Figura 49. **Medición de dureza superficial de probetas**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad Ingeniería, USAC.

Para garantizar una difusión adecuada del material saturante se desengrasó las probetas con alcohol. El riesgo de presentar grasas, aceites o residuos metálicos en la superficie es una apariencia indeseada, debido a una saturación deficiente o manchas ocasionadas por depósitos de lodos.

Figura 50. **Acabado superficial inadecuado de nitrocarburoción**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Se realizó el amarre de probetas para una extracción rápida al momento de concluir el tiempo de exposición en el baño de sales, según los intervalos de tiempo establecidos.

Para las probetas de acero 1045, con una condición inicial en estado de suministro, se extrajeron en intervalos 30 minutos hasta concluir la exposición máxima de 180 minutos.

En el ensayo de las probetas de acero H-13 se usó dos grupos de probetas, en estado de suministro, temple y revenido para dos intervalos de exposición establecido en 1 y 2 horas, con el fin de comparar si existe diferencia en los resultados con un tratamiento térmico previo al proceso de nitrocarburoción.

Figura 51. **Amarre de probetas pulidas y desengrasadas**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

El compuesto de sales se preparó con las proporciones en peso de cada reactivo para conformar 1 kilogramo de material saturante. Se conformó de 260 gramos de cianuro de potasio, 390 gramos de carbonato de sodio y 350 gramos de cloruro de sodio.

En el crisol se colocó una capa del compuesto de sales con una altura aproximada de 30 milímetros, ubicando las probetas sobre esta cubierta a una distancia equidistante entre ellas, se cubrieron con el resto del material saturante.

Figura 52. **Composición en peso del medio saturante**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

En el momento de introducir el crisol al hogar se incrementó la temperatura del horno a 600 grados Celsius.

Al concluir el proceso de difusión se enfriaron de manera súbita las probetas de acero en el medio disipante de calor recomendado por el proveedor de aceros, justo después de la extracción del horno. Se utilizó agua como medio enfriante con las probetas de acero 1045 y aceite lubricante 20 W 50 para las probetas H-13.

Figura 53. **Enfriamiento súbito de probetas**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Se tabuló la dureza superficial final de las probetas realizando cuatro lecturas por cara. Se calculó el promedio de lecturas, el cual establece un valor representativo de cada probeta.

Nuevamente se pulió un lado de cada probeta hasta concluir con papel lija número 1 200. Al obtener un acabado brillante se atacó con nital la superficie de cada pieza previa a su análisis micrográfico.

Figura 54. **Probetas pulidas – atacadas con reactivo químico**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

En el microscopio metalográfico se observaron las estructuras presentes en las probetas, comparando las imágenes con los resultados esperados según el material de aporte difundido y los procesos térmicos previos.

7.4.1. Nitrocarburation de probetas 1045, horno con quemador diésel

Primer ensayo de nitrocarburation realizado se llevó a cabo en el horno artesanal de ladrillo refractario bajo las condiciones de temperatura establecidas por la Norma DIN 17211 (1987) utilizando las probetas de acero 1045.

7.4.1.1. Generalidades

El horno artesanal muestra un diámetro de 52 centímetros y una altura de 45 centímetros; a un costado se ubica el quemador diésel.

Debido a que no se cuenta con un controlador de temperatura en esta configuración se utilizó un pirómetro infrarrojo para establecer un rango de temperatura comprendido de 580 – 600 grados Celsius.

La regulación de temperatura se realizó con un funcionamiento intermitente de la fuente de calor, apagando el quemador cuando el baño de sales exhibía lecturas de temperatura próxima a 600 grados Celsius y era puesto en marcha cuando la temperatura descendía a un valor mayor a 580 grados Celsius.

Figura 55. **Horno artesanal de quemador diésel**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Como contenedor de material saturante se usó un crisol cilíndrico de acero 1018, sus dimensiones corresponden a 105 milímetros de diámetro, 145 milímetros de altura y un espesor de 3 milímetros.

Figura 56. **Crisol cilíndrico de acero**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Se ensayó seis probetas de acero 1045 en estado de suministro, enumeradas de 1 a 6, las cuales fueron expuestas al baño de sales en distintos intervalos de tiempo, difiriendo de cada muestra por un tiempo de 30 minutos hasta concluir con una exposición máxima de 180 minutos.

Figura 57. **Probetas de acero 1045 nitrocarbурadas**

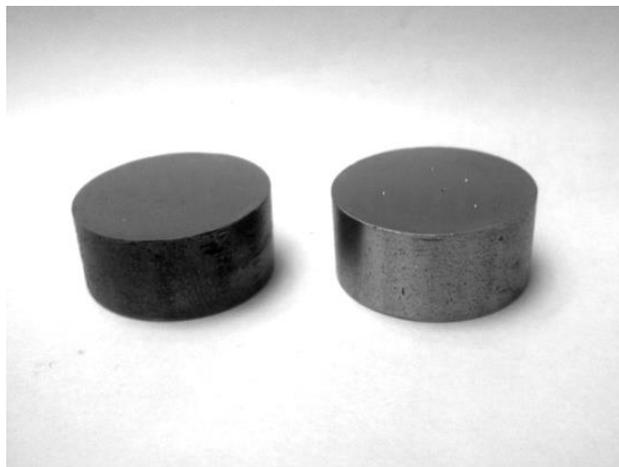


Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Como referencia en el análisis micrográfico se utilizó una probeta de acero 1045 en estado de suministro, esta no fue nitrocarburada y se identificó como probeta 0.

La probeta 0 de apariencia oscura respecto a las muestras nitrocarburadas se sometió a las mismas condiciones de corte, maquinado y pulido; su dureza inicial se cuantificó en 28,7 unidades Rockwell C y de la misma manera fue atacada químicamente con nital.

Figura 58. **Probetas 1045, probeta 0 – probeta nitrocarburada**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

7.4.1.2. Datos experimentales

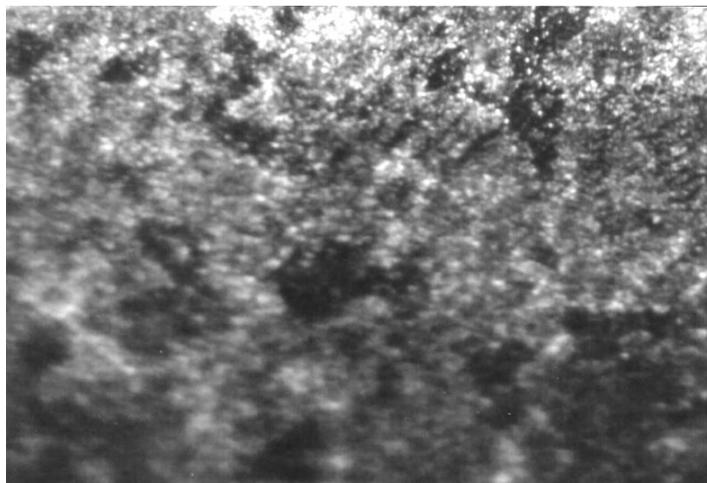
Los datos tabulados de dureza son valores promedio de varias lecturas realizadas en escala Rockwell C. Las micrografías se plasmaron en fotografías capturadas por el microscopio óptico Nikon, para su comparación se utilizó el mismo aumento de lentes de 500 X.

Tabla II. **Dureza superficial de probetas acero 1045 nitrocarbурadas en horno diésel**

Número de probeta	Exposición al baño de sales (min)	Dureza de suministro (HRC)	Dureza final (HRC)
0	–	28,7	-
1	30	30	55,7
2	60	28	53,6
3	90	28	36,8
4	120	28	49,2
5	150	30,1	42
6	180	30	52,5
Estimación teórica		14	50 – 55

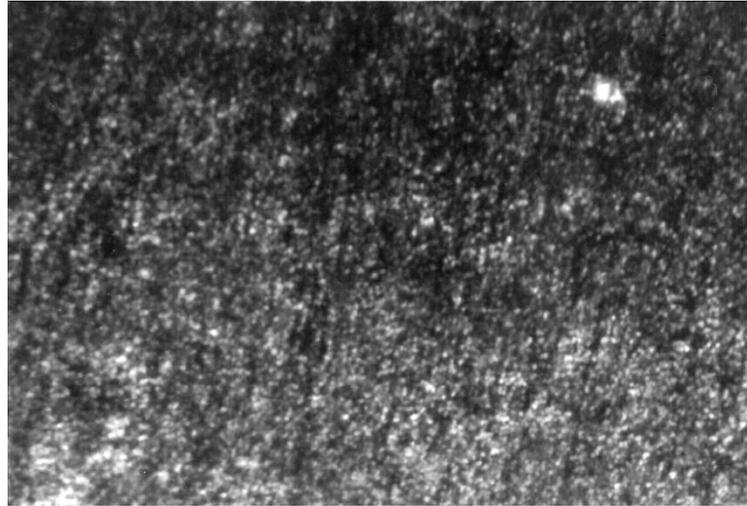
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Microfotografía probeta 0 acero 1045, 500 X**



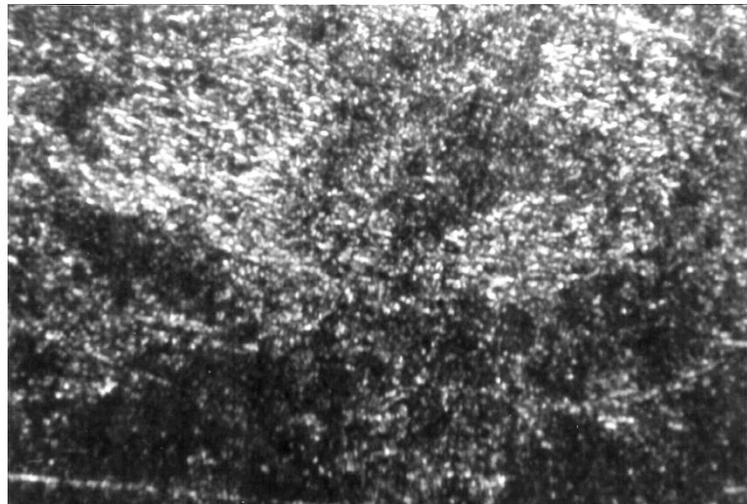
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
 Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 60. **Microfotografía probeta 1 acero 1045, 500 X**



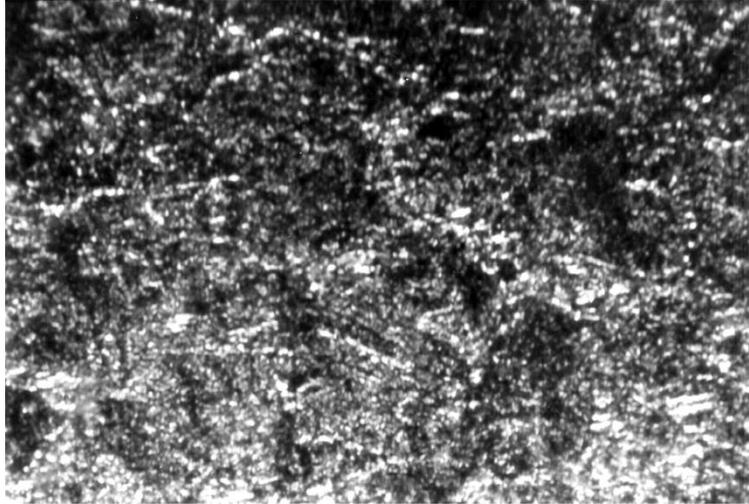
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 61. **Microfotografía probeta 2 acero 1045, 500 X**



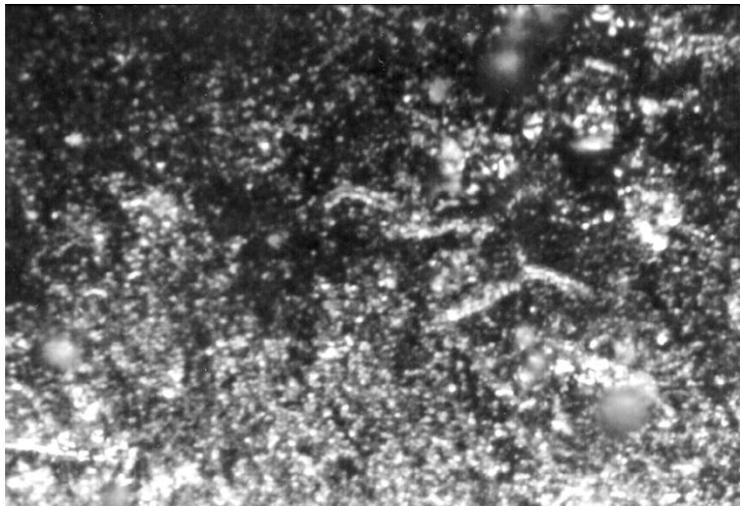
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 62. **Microfotografía probeta 3 acero 1045, 500 X**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 63. **Microfotografía probeta 4 acero 1045, 500 X**



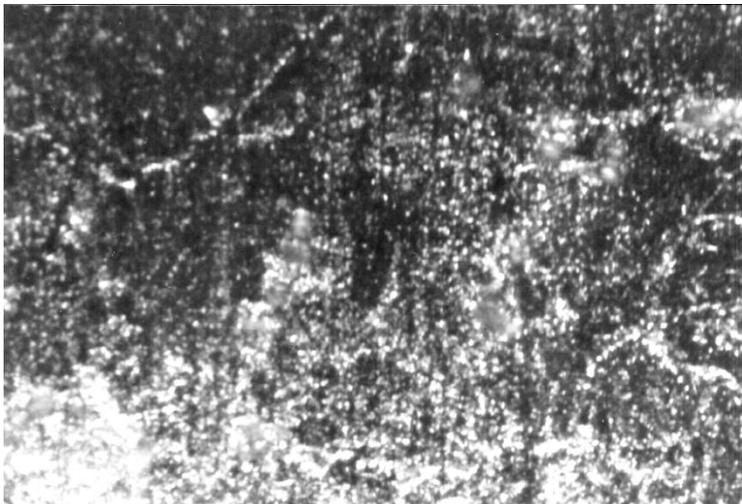
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 64. **Microfotografía probeta 5 acero 1045, 500 X**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 65. **Microfotografía probeta 6 acero 1045, 500 X**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

La microfotografía de la probeta 0 acero 1045 presentó una estructura de granos definidos de tamaño medio, con regiones claras de ferrita y secciones oscuras de perlita.

Al utilizar como referencia la muestra en estado de suministro, las probetas nitrocarbурadas exhibieron una estructura más oscura, lo que indica la presencia de carbono en una cantidad mayor. Esta saturación de carbono procedió de la difusión originada en el tratamiento termoquímico.

La probeta 1 mostró una superficie oscura uniforme, presumiendo que con un tiempo de permanencia reducido, no se permitió la agrupación de carbono en la estructura, sino una difusión constante de carbono.

La probeta 2 exhibió secciones perlíticas, con tamaño de grano similar a la probeta de referencia. Aún no son tan evidentes los límites de grano.

La probeta 3 presentó en general una estructura más oscura contrastante con regiones de carbono definidas.

La probeta 4 se apreció una estructura oscura contrastante similar a la probeta 3. Se asemeja a un acero hipereutectoide.

La probeta 5 mostró una estructura hipereutectoide definida.

La probeta 6 exhibió una estructura hipereutectoide, más contrastante a la probeta 5.

Las piezas presentaron una estructura con tendencia o similar a una hipereutectoide, esta particularidad indica que las probetas no sufrieron un cambio de fase, característica esperada de una nitrocarburation a baja temperatura, debido a que la temperatura de permanencia del proceso no sobrepasó la temperatura de austenización.

7.4.1.3. Análisis de resultados

En la medición de dureza de suministro de las probetas se observó un valor mayor a la estimación que sugieren los proveedores, se sospecha que las probetas 1045 exhiban un endurecimiento por calentamiento durante el corte del material de suministro. Este tipo de acero es muy susceptible a cambios de dureza.

El incremento de dureza superficial de las probetas es apreciable, duplicando en varias piezas, el valor inicial en estado de suministro. Se presume que por la falta de ferroaleaciones, la difusión de nitrógeno y carbono ocasionaron un cambio considerable en la dureza.

Se sospecha que las muestras 3 y 5, con menor dureza superficial, sufrieron de descarburización, debido a que su extracción no fue instantánea, por la dificultad que representó el espacio reducido del crisol cilíndrico. Su enfriamiento no fue brusco lo que permitió una pérdida de material saturante al ambiente.

La apariencia final de las piezas presentó una capa gris claro mate, característica esperada del proceso.

Se logró conformar una cubierta de protección en las probetas comparando la probeta 0 en estado de suministro, fue necesario repetir el ataque químico en las probetas nitrocarbурadas, lo que expresó una capa protectora contra la corrosión.

En el análisis metalográfico se observa una estructura de acero hipereutectoide, debido al incremento del porcentaje de carbono en la muestra, se aprecian granos oscuros y límites de grano definidos claros. No es posible identificar el nitrógeno difundido en las micrografías.

Estas características indican una difusión de material saturante exitoso, el carbono propició la aparición de regiones perlíticas y la presencia de nitrógeno contribuyó al endurecimiento de las probetas.

7.4.2. Nitrocarbурación de probetas H-13, horno eléctrico

Segundo ensayo de nitrocarbурación realizado, se llevó a cabo en el horno de resistencia eléctrica bajo las condiciones de temperatura establecidas por la Norma DIN 17211 (1987) utilizando las probetas de acero H-13.

7.4.2.1. Generalidades

El horno de resistencia eléctrica Thermolyne presenta una compuerta doble. La temperatura de operación se programó a 580 grados Celsius.

Figura 66. **Crisol dentro horno eléctrico**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Se ensayó seis probetas de acero H-13, las cuales fueron enumeradas de 1 a 6, dos en estado de suministro (probeta 1 – 2), dos probetas templadas enfriadas en aceite (probetas 3 – 4) y dos revenidas (probetas 5 – 6), estas fueron expuestas al baño de sales en dos intervalos de tiempo, se extrajo un juego de probetas al cabo de 60 minutos y el resto de piezas al culminar de 90 minutos de exposición en el baño de sales.

Como referencia en el análisis micrográfico se recurrió a una pieza de acero H-13 en estado de suministro denominada probeta 0. Esta no fue nitrocarburada. Las condiciones de corte, maquinado, pulido y ataque químico fueron las mismas que las piezas nitrocarbурadas.

El contenedor de material saturante es un crisol rectangular de acero 1018, sus dimensiones corresponden a 110 milímetros de ancho, 160 milímetros de largo, 110 milímetros de altura y un espesor de 3 milímetros.

Figura 67. **Crisol rectangular de acero**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

El proceso de templado se realizó en horno eléctrico a una temperatura de 1 020 grados Celsius. El tiempo de permanencia fue de 27 minutos se calculó con base en la ecuación número 4, como las probetas tienen un diámetro menor a 200 milímetros no requiere de un coeficiente, siendo el valor crítico (α) la altura de 12,7 milímetros.

$$T_m = 20 + \frac{12,7}{2} = 26,35 \approx 27 \text{ minutos}$$

La preparación previa de las probetas requirió un desbaste fino con papel lija número 600. Se realizó el amarre de piezas para su extracción rápida del horno al finalizar el tiempo de permanencia. Ver figura 50.

En el crisol las piezas se ubicaron sobre una capa de carbón vegetal triturado con una altura aproximada de 30 milímetros, las probetas se posicionaron a una distancia equidistante entre ellas y luego se cubrieron con más carbón triturado hasta conformar otra capa del mismo grosor, esta medida se llevó a cabo para evitar la descarburización de las piezas.

Al culminar el tiempo de permanencia establecido se enfrió de forma súbita las piezas en aceite lubricante 20 W 50, se agitó las probetas a un ritmo constante, el cual no produjera burbujes en el medio enfriante. Su enfriamiento requirió de un tiempo aproximado de 4 a 5 minutos.

El revenido de las piezas se estableció a una temperatura de 300 grados Celsius durante un tiempo de permanencia de 1 hora en horno eléctrico. Las condiciones de operación se establecieron como valor medio a los rangos de temperatura y tiempo recomendados por el fabricante.

Su enfriamiento fue lento, al ambiente en un recinto cerrado. Para este proceso sólo requirió de un amarre de piezas, sin ser contenidas en un crisol con material de protección. Ver figura 21.

Figura 68. **Probetas de acero H-13 en estado suministro, temple y revenido antes de nitrocarburar**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 69. **Probetas de acero H-13 nitrocarbурadas**



Fuente: Laboratorio de Metalurgia, edificio T-7, Facultad de Ingeniería, USAC.

7.4.2.2. Datos experimentales

Los datos tabulados de dureza son valores promedio de varias lecturas realizadas en escala Rockwell C. Las micrografías se plasmaron en fotografías capturadas por el microscopio óptico Nikon, para su comparación se utilizó el mismo aumento de lentes de 500 X.

Tabla III. Dureza superficial de probetas acero H-13

Número de Probeta	Dureza suministro (HRC)	Dureza temple (HRC)	Dureza revenido (HRC)
0	23,7	-	-
1	23,8	-	-
2	23,6	-	-
3	23,9	57,5	-
4	23,3	56,9	-
5	24,4	59,8	57,0
6	23,2	57,6	54,9
Estimación teórica	21	52 -56	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Dureza superficial probetas acero H-13 expuestas a 60 minutos en baño de sales fundidas, horno eléctrico

Número de probeta	Estado de probetas	Dureza antes de nitrocarburar (HRC)	Dureza final (HRC)
1	Suministro	23,8	24,5
3	Temple	57,5	58,1
5	Revenido	57,0	57,8
Estimación teórica			50 – 55

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Dureza superficial probetas acero H-13 expuestas a 90 minutos en baño de sales fundidas, horno eléctrico

Número de probeta	Estado de probetas	Dureza antes de nitrocarburar (HRC)	Dureza final (HRC)
2	Suministro	23,6	24,0
4	Temple	56,9	49,7
6	Revenido	54,9	48,8
Estimación teórica			50 – 55

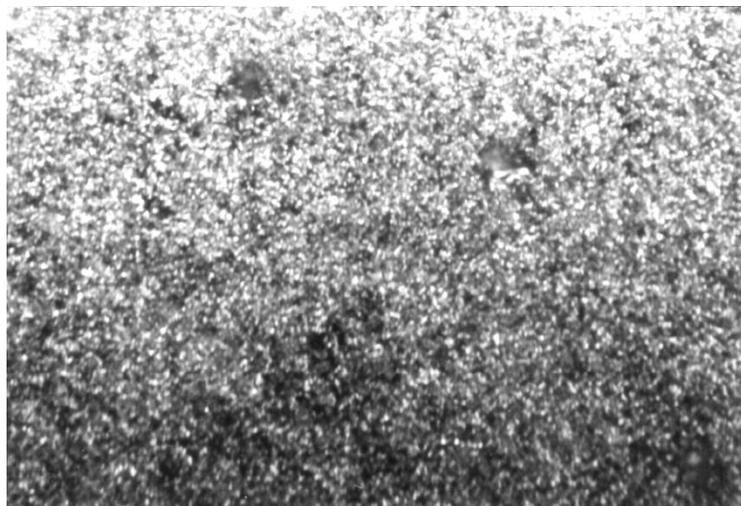
Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **Microfotografía probeta 0 acero H-13, 500 X**



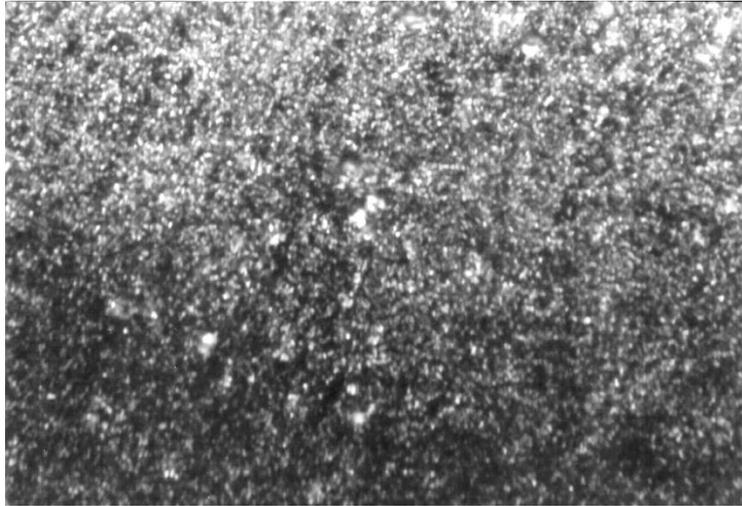
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 71. **Microfotografía probeta 1 acero H-13, 500 X**



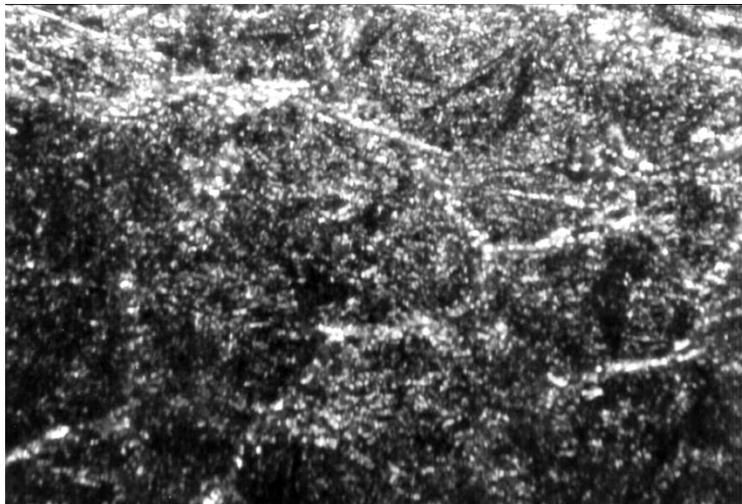
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 72. **Microfotografía probeta 2 acero H-13, 500 X**



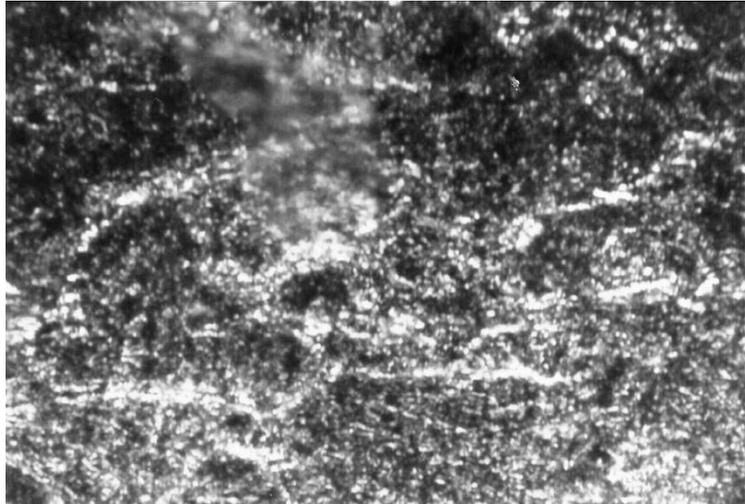
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 73. **Microfotografía probeta 3 acero H-13, 500 X**



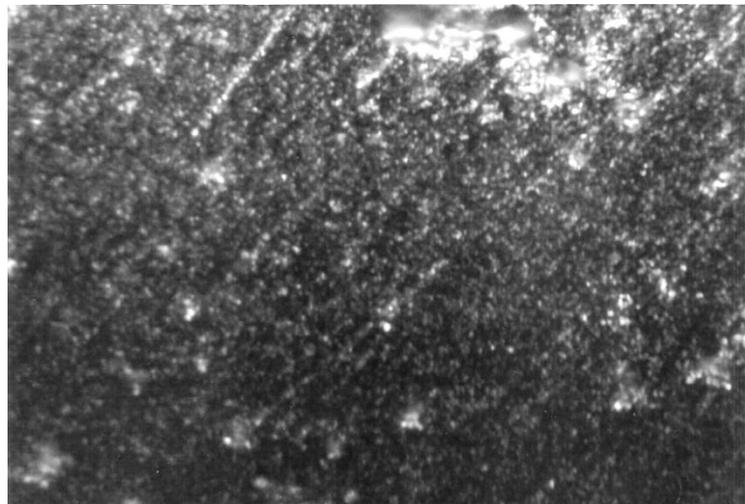
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 74. **Microfotografía probeta 4 acero H-13, 500 X**



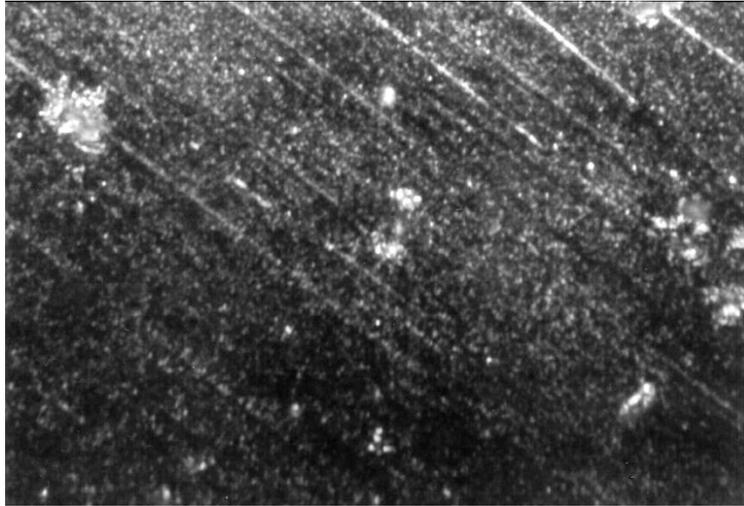
Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 75. **Microfotografía probeta 5 acero H-13, 500 X**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

Figura 76. **Microfotografía probeta 6 acero H-13, 500 X**



Fuente: Laboratorio Ensayo de Materiales, INTECAP Centro Guatemala 2.
Colonia Justo Rufino Barrios, zona 21. Ciudad Guatemala.

La microfotografía de la probeta H-13 en estado de suministro manifestó una estructura fina, característica predecible por sus aleaciones contenidas que funcionan como afinadores de grano, lo que le proporciona una dureza mayor a comparación de otros aceros en suministro.

Las probetas 1 y 2 en estado de suministro sometidas al proceso de nitrocarburation enseñan una estructura fina similar, con un leve incremento de regiones oscuras, lo que sugiere una saturación de carbono en la superficie.

En las microfotografías de las piezas templadas (probeta 3 y 4) expuestas al tratamiento termoquímico, presentan una estructura de bainita inferior, con secciones de apariencia de agujas aciculares (estructura inestable por enfriamiento brusco de estructura austenítica) y otras conformadas por depósitos de carbono (difusión superficial de carbono).

Las probetas revenidas 5 y 6 muestran una superficie con secciones perlíticas y regiones claras, que se cree son precipitaciones de carburos por su similitud a la figura 33. Estas particularidades son opacadas por acabado burdo, debido a que se aprecia marcas del desbaste fino y un ataque químico deficiente. Estas imágenes revelan una mejor capa protectora en comparación a las probetas en estado de suministro y templadas, ya que requiere tanto un proceso de pulido prolongado como un ataque químico más agresivo.

7.4.2.3. Análisis de resultados

Se manifestó en la superficie de las probetas una capa gris claro mate, característica esperada del proceso.

Se logró conformar una capa de protección en las muestras. Al momento de realizar el ataque químico fue necesario repetir el procedimiento tres veces, ya que no se mostraba alguna coloración en la sección pulida de la pieza. Esto indica que la capa superficial brindó una mayor resistencia a la corrosión, debido a la interacción de los elementos saturantes y las aleaciones existentes en el acero H-13.

El aumento de dureza superficial por saturación química fue mínimo. No se presentó cambio de fase en las probetas, la temperatura durante el baño de sales es insuficiente para alcanzar la temperatura de autenización, tendencia esperada de una nitrocarburation a baja temperatura.

De igual forma, después del maquinado de probetas no se acrecentó demasiado su dureza, presumiendo que este tipo de acero no es susceptible a cambios bruscos.

Las probetas expuestas al baño de sales durante 90 minutos manifestaron una reducción en su dureza, al no existir un cambio de estructura por una temperatura de operación menor a la austenítica, se cree que sucedió dos acciones: se conformó una capa protectora por difusión y las piezas se sometieron a un tipo de revenido durante el proceso de nitrocarburoción, considerando la similitud de las condiciones de temperatura y tiempo entre estos tratamientos, lo que redujo su dureza e incrementó su tenacidad.

En el análisis metalográfico se distingue variedad de estructuras debido a la alteración por tratamientos térmicos. Las piezas en estado de suministro y templados tienen una estructura con mayor coloración a causa de la difusión de carbono. En las piezas revenidas no fue posible determinar su estructura, sólo se dio a conocer la calidad superficial obtenida, coincidiendo con la teoría que una pieza templada y revenida presentará mejores propiedades mecánicas.

CONCLUSIONES

1. Tratamiento termoquímico es un proceso de alteración de propiedades de un metal en forma superficial basado en la saturación de elementos químicos por medio de difusión a elevadas temperaturas. Los tipos de tratamientos termoquímicos más utilizados en la industria son: cementación, nitruración y nitrocarburation. Los métodos de difusión de elementos químicos son por materiales saturantes sólidos, baños de sales fundidas y materiales gaseosos en atmósferas controladas.
2. Debido a que las prácticas en el Laboratorio de Metalurgia son reducidas, añadir procesos didácticos acoplados a las instalaciones y equipo disponible, incrementar las expectativas del estudiante hacia las aplicaciones existentes de dicha rama en la industria. La nitrocarburation por baño de sales representa un proceso rápido y accesible como práctica demostrativa sobre tratamientos termoquímicos a los estudiantes de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.
3. Bajo el cumplimiento de las normas de seguridad y la portación del equipo de protección personal establecido, el proceso de nitrocarburation de sales fundidas resulta en una práctica sin riesgos perjudiciales a la salud de sus participantes; conocimiento que en el futuro pueden aportar en el área de seguridad e higiene industrial en su ámbito de labores.

4. La nitrocarburation de probetas de acero 1045 y H-13 por baño de sales en el Laboratorio de Metalurgia se concluyó con aceptación. Se obtuvo un incremento de dureza superficial dentro de los estándares teóricos y un recubrimiento protector contra la corrosión tangible al momento de atacar las piezas con reactivos químicos.
5. Los ensayos de dureza y micrografías representan medios prácticos para evaluar los resultados de un tratamiento termoquímico, ya que cuantifica su variabilidad de dureza y se comparan los cambios ocurridos en el proceso con tendencias teóricas.
6. La mejor opción en hornos para una práctica de tratamientos termoquímicos es el horno de resistencia eléctrica, ya que ofrece una temperatura uniforme dentro del hogar y un control adecuado de su magnitud, así como, un costo de operación relativamente bajo, aspectos necesarios que garantizan resultados satisfactorios de las muestras.
7. Los aceros para trabajo en caliente exhiben gran similitud a la composición química de los aceros de nitruración, lo que los convierte en una opción viable para trabajar procesos similares. Es posible obtener durezas considerables sin la presencia de fisuras o grietas en las probetas, porque soportan mejor tanto las altas temperaturas como las tensiones internas inducidas a comparación de los aceros al carbono.
8. La nitrocarburation de piezas de acero H-13 en estado de suministro no exhibieron algún cambio en su dureza superficial, siendo indispensable temprar – revenir las piezas previamente, con el propósito de adquirir una dureza y recubrimiento protector aceptable a los requerimientos necesarios.

RECOMENDACIONES

1. Recurrir al uso de refrigerantes en el momento de corte y maquinado de piezas, para minimizar la aparición de incremento de dureza por concentración de calor.
2. Procurar una mezcla homogénea de las sales químicas para adquirir una difusión de material saturante consistente.
3. Limpiar las probetas con alcohol previo a su tratamiento termoquímico, se logra un acabado superficial vistoso y se reduce la probabilidad de apareamiento de lodos o incrustaciones que desfavorecen la apariencia de las piezas tratadas.
4. Al sumergir las probetas dentro de un medio enfriante se debe agitar la pieza siguiendo un patrón constante, procurando no formar burbujas, sacar la pieza al ambiente o dejar que repose en el fondo del recipiente, ya que propicia un enfriamiento irregular el cual se traduce en resultados insatisfactorios.

BIBLIOGRAFÍA

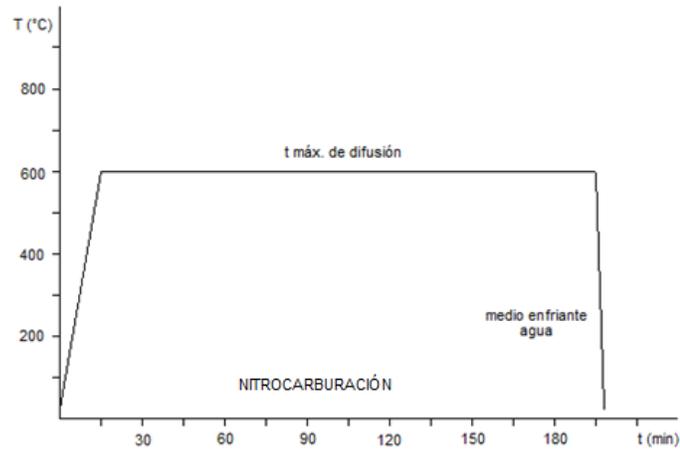
1. ALTING, Leo. *Procesos para ingeniería de manufactura*. Rocha, José Luis (trad.) 3a ed. México: Alfaomega, 1990. 369 p.
2. ANDRADE MONTALVO, Danilo Andrés. *Dimensionamiento y construcción de un horno para baños de sales para el taller de procesos de producción mecánica*. Quito: Escuela Politécnica Nacional Quito, 2010. 93 p.
3. APRAIZ BARREIRO, Jose. *Tratamientos térmicos de los aceros*. Madrid: Patronato de publicaciones de la escuela especial de Ingenieros Industriales, 1949. 441 p.
4. ASKELAND, Donald. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 3a ed. México: Thomson, 1998. 790 p.
5. ASTM. *Standard hardness conversion tables for metals*. Norma ASTM E-140. Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01. 1988.
6. BÖHLER. *Ficha técnica W302*. Buenos Aires: Aceros BÖHLER Argentina, 2000. 1 p.
7. _____. *945*. Buenos Aires: Aceros BÖHLER Argentina, 2000. 1 p.

8. BOHÓRQUEZ, Carlos. *Nitrocarburation austenítica de los aceros AISI 1020 y 8620 mediante el empleo de alcoholes y nitrurantes líquidos*. Bogotá: Universidad Libre, 2007. 10 p.
9. BURKE, J. E. *Técnicas de metalurgia experimental*. México: LIMUSA-WILEY, 1969. 379 p.
10. CALDERÓN, Julia Marilú. *Nitruración en baño de sales*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 1984. 68 p.
11. Cartelería de Seguridad Industrial. Safety - Seguridad e higiene industrial. Argentina, marzo 2012 [en línea]. <www.safetysi.com.ar/wp-content/uploads/2012/03/ROMBO-NFPA-C10.jpeg> [Consulta: 4 de agosto de 2013].
12. CTR Scientific. *Hoja de datos de seguridad alcohol etílico*. México. 2012. 6 p.
13. _____. *Hoja de datos de seguridad carbonato de sodio*. México. 2012. 6 p.
14. DEL CASTILLO RODRÍGUEZ, Felipe Díaz. *Lecturas de ingeniería 1, endurecimiento superficial del acero*. México: Facultad de Estudios Superiores Cuatitlán, 2007. 49 p.
15. DIN. *Nitruración. Norma 17211*. Berlín: DIN, 1987. 10 p.

16. GORDON CÍNTRA, Jorge. *Tecnología del tratamiento térmico de los aceros*. Universidad Central de las Villas. Habana: Pueblo y Educación, 1985. 164 p.
17. GTM Grupo TRANSMERQUIM. *Hoja de datos de seguridad cianuro de potasio*. 2a revisión. Guatemala: GTM, 2011. 6 p.
18. GULIÁEV, A. P. *Metalografía*. Vol I y II. 2a ed. Moscú: Mir, 1983. 643 p.
19. KUCHER, A. *Tecnología de los metales*. Mirchevski, B. A. Moscú: Mir, 1989. 184 p.
20. LAJTIN, Yu M. *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*. Habana: Pueblo y Educación, 1990. 439 p.
21. PROQUIMSA. *Hoja de datos de seguridad ácido nítrico*. México. 2005. 5 p.
22. QMAX. *Hoja de datos de seguridad de sustancias, cloruro de sodio*. 2a revisión. México: QMax, 2010. 4 p.
23. UDDEHOLM, División Ibérica. *Catálogo ORVAR 2 Microdized. Acero para herramienta de trabajo en caliente*. España: Uddeholm, 2012. 7 p.

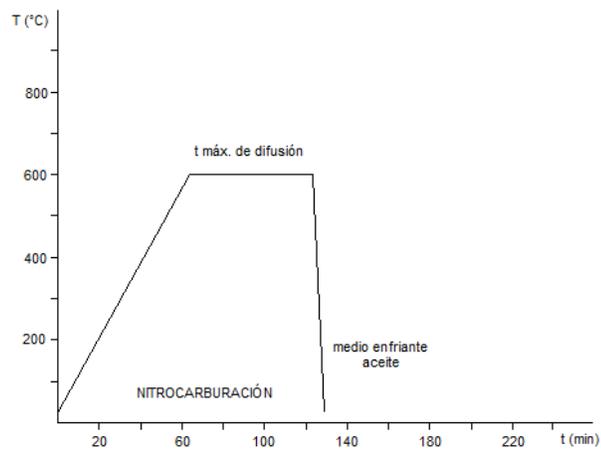
APÉNDICES

Apéndice 1. **Ciclo de permanencia, probetas acero 1045**



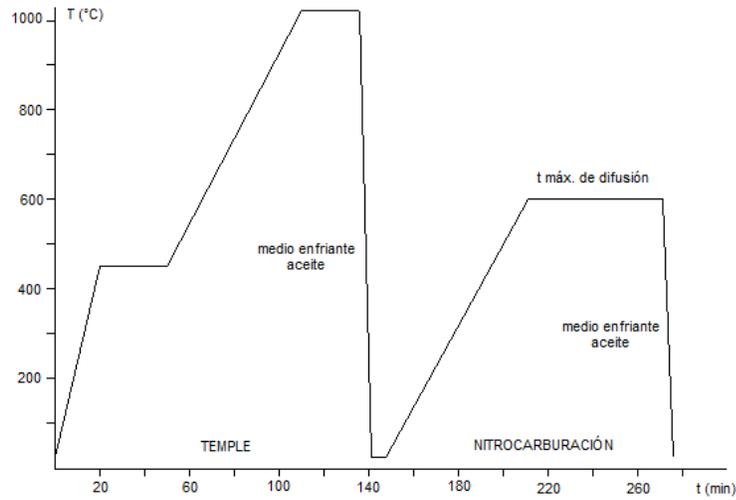
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Ciclo de permanencia, probetas H-13, suministro**



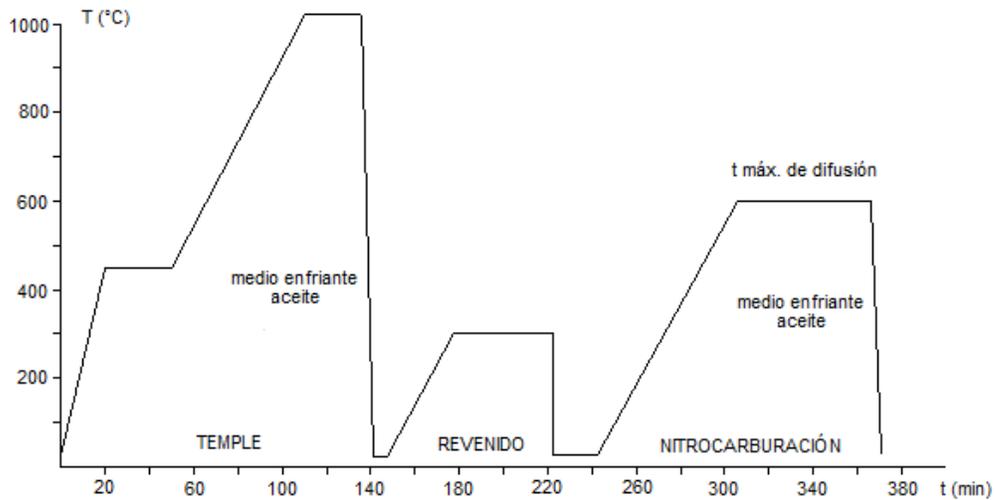
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Ciclo de permanencia, probetas acero H-13, templadas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Ciclo de permanencia, probetas acero H-13, revenidas



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexos 1. Norma DIN 17211

DK 669.14.018.298.23-4 : 620.1		DEUTSCHE NORM	April 1987
 Nitrierstähle Technische Lieferbedingungen		 17211	
Nitriding steels; technical delivery conditions		Ersatz für Ausgabe 08.70	
Aciers pour nitruration; conditions techniques de livraison			
<p>Zusammenhang mit dem von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Norm-Entwurf ISO/DIS 683/10-1985 sowie der von der Europäischen Gemeinschaft für Kohle und Stahl (EGKS) herausgegebenen EURONORM 85-70 siehe Erläuterungen.</p> <p>Die mit einem ● gekennzeichneten Abschnitte enthalten Angaben über Vereinbarungen, die bei der Bestellung zu treffen sind. Die mit zwei Punkten ●● gekennzeichneten Abschnitte enthalten Angaben über Vereinbarungen, die bei der Bestellung zusätzlich getroffen werden können.</p>			
1 Anwendungsbereich 1.1 Diese Norm gilt für – Halbzeug, z. B. Vorblöcke, Vorbrammen, Knüppel, – warmgewalzten Draht, – warmgewalzten, warmgeschmiedeten oder blanken Stabstahl (Rund-, Vierkant-, Sechskant-, Achtkant- und Flachstahl), – warmgewalzten Breittlanchstahl, – warm- oder kaltgewalztes Blech und Band, – Freiform- und Gesenkschmiedestücke aus den in Tabelle 2 aufgeführten Nitrierstählen. Die für die verschiedenen Erzeugnisformen in Betracht kommenden Wärmebehandlungszustände bei der Lieferung sind Tabelle 1, die möglichen Oberflächenausführungen sind Abschnitt 7.2.2 zu entnehmen. Anmerkung 1: DIN-Normen für Stahlsorten mit gleichen Anforderungen an die chemische Zusammensetzung wie in Tabelle 2, die jedoch in anderen Erzeugnisformen oder Behandlungszuständen geliefert werden oder für besondere Anwendungsfälle vorgesehen sind, sowie DIN-Normen für ähnliche Stahlsorten sind im Verzeichnis „Weitere Normen und andere Unterlagen“ zusammengestellt. Anmerkung 2: Freiformgeschmiedetes Halbzeug, z. B. Vorblöcke, Vorbrammen, Knüppel, und freiformgeschmiedeter Stabstahl sind im folgenden unter den Begriffen „Halbzeug“ und „Stabstahl“ und nicht unter dem Begriff „Freiform- und Gesenkschmiedestücke“ erfaßt. 1.2 Zusätzlich zu den Angaben dieser Norm gelten, soweit im folgenden nichts anderes festgelegt ist, die in DIN 17 010 wiedergegebenen allgemeinen technischen Lieferbedingungen für Stahl und Stahlerzeugnisse.		2.2 Erzeugnisformen Für die Erzeugnisformen sind die Begriffsbestimmungen in EURONORM 79 maßgebend. 2.3 Wärmebehandlungsarten Für die in dieser Norm erwähnten Arten der Wärmebehandlung gelten die Begriffsbestimmungen und Fachausdrücke in DIN 17 014 Teil 1.	
2 Begriffe 2.1 Nitrierstähle Nitrierstähle im Sinne dieser Norm sind vergütbare Stähle, die wegen der in ihnen enthaltenen Nitridbildner für das Nitrieren und Nitrocarburieren zur Erzielung hoher Randschichthärte besonders geeignet sind. Dabei ist unter Nitrieren bzw. Nitrocarburieren ein Glühen in Stickstoff bzw. Stickstoff und Kohlenstoff abgebenden Mitteln zum Erzielen einer mit Stickstoff bzw. Stickstoff und Kohlenstoff angereicherten Randschicht zur Erhöhung der Randschichthärte, des Verschleißwiderstandes, der Dauerfestigkeit und/oder der Rosttragfähigkeit zu verstehen.		3 ● Maße und zulässige Maß- und Formabweichungen Die Nennmaße und die zulässigen Maß- und gegebenenfalls Formabweichungen der Erzeugnisse sind bei der Bestellung zu vereinbaren, möglichst unter Bezugnahme auf die dafür geltenden Maßnormen (siehe Anhang B). 4 Gewichte Für eine Gewichtserrechnung der in dieser Norm erfaßten Stähle wird eine Dichte von 7,85 kg/dm ³ angenommen. 5 Bezeichnung 5.1 Die Normbezeichnung für einen Stahl nach dieser Norm setzt sich entsprechend nachfolgenden Beispielen zusammen aus – der Benennung „Stahl“, – der DIN-Nummer dieser Norm, – dem Kurznamen oder der Werkstoffnummer für die Stahlsorte (siehe Tabelle 2) ¹⁾ , – gegebenenfalls der Bezeichnung des Behandlungszustandes (siehe Abschnitt 7.2.1). Beispiel 1: Stahl DIN 17 211 – 34 CrAlNi 7 oder Stahl DIN 17 211 – 1.8550 Beispiel 2: Stahl DIN 17 211 – 34 CrAlNi 7 V oder Stahl DIN 17 211 – 1.8550V 5.2 Für die Normbezeichnung der Erzeugnisse gelten die Angaben der betreffenden Maßnorm. ¹⁾ Das DIN-Normenheft 3 enthält Erläuterungen zur Bildung der Kurznamen und Werkstoffnummern von Stählen.	
Fortsetzung Seite 2 bis 14			
Normenausschuß Eisen und Stahl (FES) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.			

Continuación Norma DIN 17211

Seite 6 DIN 17211

Tabelle 3. Grenzabweichungen der Werte einer Stückanalyse von den nach Tabelle 2 für die Schmelzenanalyse gültigen Grenzwerten (Gültig für Durchmesser ≤ 160 mm)

Element	Zulässiger Höchstgehalt in der Schmelzenanalyse Massenanteil in %	Grenzabweichungen der Stückanalyse von den Grenzwerten für die Schmelzenanalyse ¹⁾ Massenanteil in %
C	$\leq 0,37$	0,02
Si	$\leq 0,40$	0,03
Mn	$\leq 1,00$ $> 1,00 \leq 1,10$	0,04 0,05
P	$\leq 0,025$	0,005
S	$\leq 0,030$	0,005
Al	$\geq 0,80 \leq 1,20$	0,10
Cr	$\leq 2,00$ $> 2,00 \leq 3,30$	0,05 0,10
Mo	$\leq 0,30$ $> 0,30 \leq 1,10$	0,03 0,04
Ni	$\leq 1,15$	0,05
V	$\leq 0,20$ $> 0,20 \leq 0,30$	0,02 0,03

¹⁾ Bei einer Schmelze dürfen die Werte eines Elementes im Falle mehrerer Stückanalysen nur die obere oder nur die untere Grenze der für die Schmelzenanalyse geltenden Spanne überschreiten.

Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 2.

8.3 ●● Bescheinigungen über Materialprüfungen durch von der Fertigung unabhängige Sachverständige

Diese Bescheinigungen – Abnahmeprüfzeugnis (Bescheinigung DIN 50 049–3.1A, Bescheinigung DIN 50 049–3.1B, Bescheinigung DIN 50 049–3.1C) oder Abnahmeprüfprotokoll (Bescheinigung DIN 50 049–3.2 A, Bescheinigung DIN 50 049–3.2 C) – werden aufgrund von Abnahmeprüfungen ausgestellt.

● Die gewünschten Prüfungen oder die aus amtlichen Vorschriften und den zugehörigen Technischen Regeln sich ergebenden Prüfungen sind zu vereinbaren.

●● Falls die Abnahmeprüfung nicht vom Werkssachverständigen durchgeführt werden soll, ist die Abnahmeorganisation oder der Sachverständige zu benennen.

In der Bescheinigung sind folgende Einzelheiten anzugeben:

- a) die Angaben nach den Abschnitten 8.2.2 a) und 8.2.2 b),
- b) das Zeichen des Sachverständigen.

8.4 Prüfumfang, Probenahme, Probenvorbereitung und Durchführung der Prüfungen

8.4.1 Chemische Zusammensetzung, mechanische Eigenschaften und Höchst Härte

Soweit diese Prüfungen durchgeführt werden sollen, gelten die Prüfbedingungen in Tabelle 5.

8.4.2 ●● Innere Beschaffenheit

Ist bei einer vereinbarten Prüfung der Erzeugnisse auf innere Beschaffenheit (z. B. mit Ultraschall) das Vorgehen bei der Prüfung nicht festgelegt worden, sind Prüfumfang, Prüfbedingungen und Prüfmaßstab dem Hersteller überlassen.

8.4.3 ●● Oberflächenfehler

Falls bei der Bestellung nicht anders vereinbart, bleiben das Verfahren der Prüfung der Erzeugnisse auf Oberflächenfehler, der Prüfumfang und der Prüfmaßstab dem Hersteller überlassen.

8.4.4 ●● Randentkohlung

Für die Ermittlung der Randentkohlungstiefe werden, üblicherweise aus den Erzeugnissen im Lieferzustand, in Übereinstimmung mit DIN 50 192, ausreichend randscharfe Querschliffe angefertigt, geätzt und nach dem mikroskopischen Verfahren geprüft. Der Prüfumfang bleibt, wenn bei der Bestellung nicht anders vereinbart, dem Hersteller überlassen.

schon Verfahren geprüft. Der Prüfumfang bleibt, wenn bei der Bestellung nicht anders vereinbart, dem Hersteller überlassen.

Anmerkung: Unter Entkohlungstiefe ist in diesem Zusammenhang die Breite der ausgekohlten und $\frac{1}{2}$ der Breite der abgekohlten Zone zu verstehen.

8.4.5 ●● Besichtigung und Maßkontrolle

Falls bei der Bestellung nichts anderes vereinbart wurde, bleibt das Vorgehen bei der Besichtigung und Maßkontrolle dem Hersteller überlassen.

8.4.6 Wiederholungsprüfungen

Hierfür gelten die Angaben in DIN 17 010.

9 Kennzeichnung

9.1 Der Hersteller hat die Erzeugnisse oder die Bunde oder Pakete, möglichst unter Beachtung von DIN 1599, in angemessener Weise so zu kennzeichnen, daß die Bestimmung der Schmelze, der Stahlsorte und der Herkunft der Lieferung möglich ist.

9.2 Falls die Lieferungen mit Abnahmeprüfungen erfolgen, umfaßt die Kennzeichnung zusätzlich die Probennummer und das Zeichen des Prüfers.

9.3 ●● Darüber hinausgehende Anforderungen an die Kennzeichnung der Erzeugnisse können bei der Bestellung vereinbart werden.

10 Wärmebehandlung

Anhaltsangaben über die Temperaturen der Wärmebehandlung finden sich in Tabelle 6.

11 Beanstandungen

11.1 Nach geltendem Recht bestehen Mängelansprüche nur, wenn das Erzeugnis mit Fehlern behaftet ist, die seine Verarbeitung und Verwendung mehr als unerheblich beeinträchtigen. Dies gilt, sofern bei der Bestellung keine anderen Vereinbarungen getroffen wurden.

11.2 Es ist üblich und zweckdienlich, daß der Besteller dem Lieferer Gelegenheit gibt, sich von der Berechtigung der Beanstandung zu überzeugen, soweit möglich, durch Vorlage des beanstandeten Erzeugnisses und von Belegstücken der gelieferten Erzeugnisse.

Continuación Norma DIN 17211

Seite 8 DIN 17211

Tabelle 5. Prüfbedingungen für den Nachweis der Anforderungen ¹⁾

1	2	3	4	5	6	7
Jr	Art der Anforderung <small>siehe Tabelle</small>	Prüf-einheit ²⁾	Zahl der Prob-e-stücke je Prüf-einheit		Probenahme und Probenvorbereitung	Anzuwendendes Prüfverfahren
1	Chemische Zusammen- setzung	2 und 3	s	Die Schmelzenanalyse wird vom Hersteller mitgeteilt. Wegen einer möglichen Stück-analyse siehe Fußnote 3.		
2	Härte im Zustand G	4	s + w	1	1	Nach DIN 50351
3	Mechani- sche Eigen- schaften an vergüteten Erzeugnis- sen in den Liefermaßen	4	S + A + W	1	1 Zugver- such und 3 Kerb- schlag- biege- versuche	Der Zugversuch ist nach DIN 50145 durchzuführen, und zwar mit dem kurzen Proportionalstab nach DIN 50125. Prägt sich die Streckgrenze nicht aus so ist die 0,2%-Dehngrenze (0,2-Grenze) zu ermitteln. ●● Der Kerbschlagbiegeversuch ist, wenn nicht anders vereinbart, an ISO-V-Proben nach DIN 50115 durchzuführen. Der Kerbschlagbiegeversuch an DVM-Proben nach DIN 50115 kann bei der Bestellung vereinbart werden. Der Kerbschlagarbeitswert ist als Mittel aus drei Versuchen an Proben zu bestimmen, die je weils im gleichen Abstand von der Oberfläche nebeneinander oder wenn dies unmöglich oder unzuweckmäßig ist-unmittelbar hintereinander im gleichen Probestück liegen. Höchstens einer der drei Einzelwerte darf kleiner als der festgelegte Mindestwert sein, jedoch nicht kleiner als 70% davon. Wenn infolge entsprechend geringer Erzeugnisdicken die Kerbschlagarbeitswerte nur an Proben mit einer Breite von unter 10 mm, jedoch mindestens 5 mm nachgewiesen werden können verringern sich die in Tabelle 4 angegebenen Mindestwerte proportional dem Probenquerschnitt.

¹⁾ Ein Nachweis ist nur erforderlich, wenn die Anforderung nach Tabelle 1, Spalte 8, gültig ist und die betreffende Prüfung vereinbart wurde.
²⁾ S = Schmelze, A = Abmessung, W = Wärmebehandlungstos
³⁾ ●● Falls bei der Bestellung die Nachprüfung der chemischen Zusammensetzung am Stück vereinbart wurde, ist, wenn nicht anders vereinbart, eine Stückanalyse je Schmelze durchzuführen. Für die Probenahme und Probenvorbereitung gelten die Angaben im Stahl-Eisen-Prüfblatt 1805. Die Zusammensetzung kann nach chemischen oder spektrometrischen Analyseverfahren ermittelt werden. Für die Durchführung gelten die Angaben im Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium. In Schiedsfällen ist das anzuwendende Verfahren zu vereinbaren.

Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 4.

Continuación Norma DIN 17211

DIN 17211 Seite 9

Tabelle 6. Anhaltangaben über die Temperaturen für die Wärmebehandlung

Stahlsorte		Weichglühen °C	Härten °C	Vergüten		Anlassen °C	Gasnitrieren ¹⁾ Plasmanitrieren °C	Nitrocarburieren ²⁾ Medium	
Kurzname	Werkstoffnummer			Härten °C	in			Gas Salzbad °C	Pulver Plasma °C
31 CrMo 12	1.8518	650 bis 700	870 bis 910	Öl	570 bis 700	500 bis 520	570 bis 580	max. 580	
31 CrMoV 9	1.8519	650 bis 720	840 bis 880	Öl, Wasser	570 bis 680	500 bis 520	570 bis 580	max. 580	
15 CrMoV 5 9	1.8521	680 bis 740	940 bis 980	Öl, Wasser	600 bis 700	500 bis 520	570 bis 580	max. 580	
34 CrAlNi 5	1.8507	650 bis 700	900 bis 940	Öl, Wasser	570 bis 650	500 bis 520	570 bis 580	max. 580	
34 CrAlNi 7	1.8550	650 bis 700	850 bis 890	Öl	570 bis 680	500 bis 520	570 bis 580	max. 580	

1) Die Nitrierdauer hängt von der gewünschten Nitriermärteiefe ab.

2) Siehe Erläuterungen

Continuación Norma DIN 17211

Seite 10 DIN 17211

Anhang A

Maßgeblicher Wärmebehandlungsdurchmesser für die mechanischen Eigenschaften

A.1 Begriff

Der maßgebliche Wärmebehandlungsquerschnitt eines Erzeugnisses ist der Querschnitt, für den die mechanischen Eigenschaften festgelegt sind.

Unabhängig von der tatsächlichen Form und den Maßen des Erzeugnisses wird das Maß für den maßgeblichen Wärmebehandlungsquerschnitt stets durch einen Durchmesser („maßgeblicher Wärmebehandlungsdurchmesser“) ausgedrückt. Dieser Durchmesser entspricht dem Durchmesser eines „gleichwertigen Rundstahles“. Dabei handelt es sich um einen Rundstahl, der an der für die Entnahme der zur mechanischen Prüfung vorgesehenen Proben festgelegten Querschnittsstelle bei Abkühlung von der Austenitisierungstemperatur die gleiche Abkühlungsgeschwindigkeit aufweist wie der vorliegende maßgebliche Querschnitt des betreffenden Erzeugnisses an seiner zur Probenahme vorgesehenen Stelle.

A.2 Ermittlung des maßgeblichen Wärmebehandlungsdurchmessers

A.2.1 Bei Rundstahl ist der Nenndurchmesser des Erzeugnisses dem maßgeblichen Wärmebehandlungsdurchmesser gleichzusetzen.

A.2.2 Bei Sechskant- und Achtekantstahl ist der Nennabstand zwischen zwei gegenüberliegenden parallelen Seiten dem maßgeblichen Wärmebehandlungsdurchmesser gleichzusetzen.

A.2.3 Bei Vierkant- und Flachstahl ist der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser entsprechend dem Beispiel in Bild A.1 zu bestimmen.

Bei **Schmiedestücken** ist der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser entsprechend den Angaben in Bild A.2 zu bestimmen.

A.2.4 ● Für alle anderen Erzeugnisformen ist der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser zu vereinbaren.

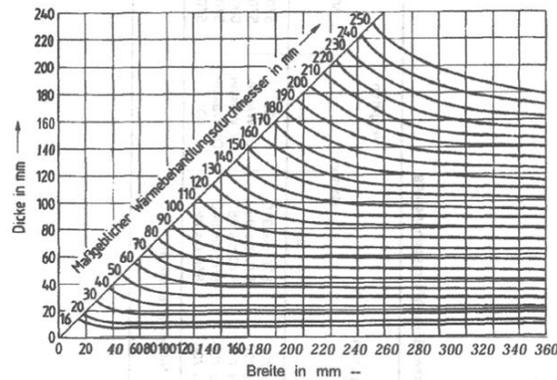


Bild A.1. Anwendbarkeit der für runde Querschnitte angegebenen Werte für den vergüteten Zustand auf quadratische und rechteckige Querschnitte

Beispiel: Für einen Flachstahl mit dem Querschnitt 40 mm x 60 mm ist der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser 50 mm.

Continuación Norma DIN 17211

DIN 17211 Seite 11

Für die Ermittlung des maßgeblichen Wärmebehandlungsdurchmessers (d) gilt:	
	<p>a) bei gedregenen Vollstücken (Beispiel: unge- lochte Rundscheibe) und bei gelochten gleich- artigen Stücken (mit einem Innendurchmesser der Lochung bis 200 mm) – das 1,5fache der kleinsten Kantenlänge $a \cdot 1,5 = d$</p>
	<p>b) bei Ringen (mit einem Innendurchmesser von mehr als 200 mm) – das 1,5fache der Dicke, wenn gilt $\frac{D_1 - D_2}{2} < a$ bzw. $a \cdot 1,5 = d$, wenn gilt $\frac{D_1 - D_2}{2} > a$</p>
<p>c) bei offenen zylindrischen Hohlkörpern</p>	<p>– das 2fache der Wanddicke, wenn der Innen- durchmesser kleiner als 80 mm ist: $\frac{D_1 - D_2}{2} \cdot 2 = d$ – das 1,75fache der Wanddicke, wenn der Innendurchmesser zwischen 80 und 200 mm beträgt: $\frac{D_1 - D_2}{2} \cdot 1,75 = d$ – das 1,5fache der Wanddicke, wenn der Innendurchmesser größer als 200 mm ist: $\frac{D_1 - D_2}{2} \cdot 1,5 = d$</p>
<p>d) bei einseitig oder beidseitig geschlossenen zylindrischen Hohlkörpern</p>	<p>bei Innendurchmessern bis 800 mm – das 2,5fache der Wanddicke: $\frac{D_1 - D_2}{2} \cdot 2,5 = d$ jedoch höchstens $d = D_1$ bei Innendurchmessern über 800 mm – nach Vereinbarung.</p>
<p>e) bei nichtzylindrischen symmetrischen Hohlkörpern ist der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser sinngemäß nach c oder d zu beurteilen.</p>	

Bild A.2. Maßgeblicher Wärmebehandlungsdurchmesser bei Schmiedestücken

Continuación Norma DIN 17211

Seite 12 DIN 17 211

Anhang B

Für Erzeugnisse nach dieser Norm in Betracht kommende Maßnormen

Für warmgewalzten Draht:

- DIN 59110 Walzdraht aus Stahl; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte
- DIN 59115 Walzdraht aus Stahl, für Schrauben, Muttern und Niete; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte

Für warmgewalzte und geschmiedete Stäbe:

- DIN 1013 Teil 1 Stabstahl; Warmgewalzter Rundstahl für allgemeine Verwendung, Maße, zulässige Maß- und Formabweichungen
- DIN 1013 Teil 2 Stabstahl; Warmgewalzter Rundstahl für besondere Verwendung, Maße, zulässige Maß- und Formabweichungen
- DIN 1014 Teil 1 Stabstahl; Warmgewalzter Vierkantstahl für allgemeine Verwendung, Maße, zulässige Maß- und Formabweichungen
- DIN 1014 Teil 2 Stabstahl; Warmgewalzter Vierkantstahl für besondere Verwendung, Maße, zulässige Maß- und Formabweichungen
- DIN 1015 Stabstahl; Warmgewalzter Sechskantstahl, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen
- DIN 1017 Teil 1 Stabstahl; Warmgewalzter Flachstahl für allgemeine Verwendung, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen
- DIN 1017 Teil 2 Stabstahl; Warmgewalzter Flachstahl für besondere Verwendung (in Stabziehereien, Schraubenwerken usw.), Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen
- DIN 7527 Teil 6 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete Stäbe
- DIN 59 130 Stabstahl; Warmgewalzter Rundstahl für Schrauben und Niete; Maße, zulässige Maß- und Formabweichungen

Für blanke Stäbe:

- DIN 174 Blanker Flachstahl; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte
- DIN 176 Blanker Sechskantstahl; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte
- DIN 178 Blanker Vierkantstahl; Maße, zulässige Abweichungen, Gewichte
- DIN 668 Blanker Rundstahl; Maße, zulässige Abweichungen nach ISO-Toleranzfeld h11
- DIN 670 Blanker Rundstahl; Maße, zulässige Abweichungen nach ISO-Toleranzfeld h8
- DIN 671 Blanker Rundstahl; Maße, zulässige Abweichungen nach ISO-Toleranzfeld h9
- DIN 59360 Geschliffen-polierter blanker Rundstahl; Maße, zulässige Abweichungen nach ISO-Toleranzfeld h7
- DIN 59361 Geschliffen-polierter blanker Rundstahl; Maße, zulässige Abweichungen nach ISO-Toleranzfeld h6

Für kaltgewalztes Flachzeug:

- DIN 1544 Flachzeug aus Stahl; Kaltgewalztes Band aus Stahl, Maße, Zulässige Maß- und Formabweichungen

Für warmgewalztes Blech, Band und warmgewalzten Breitflachstahl:

- DIN 1016 Flachzeug aus Stahl; Warmgewalztes Band, warmgewalztes Blech unter 3 mm Dicke, Maße, zulässige Maß-, Form- und Gewichtsabweichungen
- DIN 1543 Flacherzeugnisse aus Stahl; Warmgewalztes Blech von 3 bis 150 mm Dicke; zulässige Maß-, Gewichts- und Formabweichungen
- DIN 59200 Flachzeug aus Stahl; Warmgewalzter Breitflachstahl, Maße, zulässige Maß-, Form- und Gewichtsabweichungen

Für Schmiedestücke:

- DIN 7526 Schmiedestücke aus Stahl; Toleranzen und zulässige Abweichungen für Gesenkschmiedestücke
- Beiblatt zu DIN 7526 Schmiedestücke aus Stahl; Toleranzen und zulässige Abweichungen für Gesenkschmiedestücke, Beispiele für die Anwendung
- DIN 7527 Teil 1 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete Scheiben
- DIN 7527 Teil 2 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete Lochscheiben
- DIN 7527 Teil 3 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für nahtlos freiformgeschmiedete Ringe
- DIN 7527 Teil 4 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für nahtlos freiformgeschmiedete Buchsen
- DIN 7527 Teil 5 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete, gerollte und geschweißte Ringe
- DIN 7527 Teil 6 Schmiedestücke aus Stahl; Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete Stäbe

Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruración. 1987. p. 8.

Continuación Norma DIN 17211

DIN 17211 Seite 13

Zitierte Normen und andere Unterlagen

- DIN 1599 Kennzeichnungsarten für Stahl
- DIN 17 010 Allgemeine technische Lieferbedingungen für Stahl und Stahlerzeugnisse
- DIN 17 014 Teil 1 Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen; Fachbegriffe und -ausdrücke
- DIN 50 049 Bescheinigungen über Materialprüfungen
- DIN 50 115 Prüfung metallischer Werkstoffe; Kerbschlagbiegeversuch
- DIN 50 125 Prüfung metallischer Werkstoffe; Zugproben
- DIN 50 145 Prüfung metallischer Werkstoffe; Zugversuch
- DIN 50 192 Ermittlung der Entkohlungstiefe
- DIN 50 351 Prüfung metallischer Werkstoffe; Härteprüfung nach Brinell
- EURONORM 20 Begriffsbestimmungen und Einteilung der Stahlsorten
- EURONORM 79 Benennung und Einteilung von Stahlerzeugnissen nach Formen und Abmessungen
- EURONORM 163 Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalztem Blech und Breitflachstahl
- Stahl-Eisen-Lieferbedingungen 055 *)
(z. Z. Entwurf) Warmgewalzter Stabstahl und Walzdraht mit rundem Querschnitt und nicht profilierter Oberfläche, Oberflächen-Güteklassen; Technische Lieferbedingungen
- Stahl-Eisen-Prüfblatt 1805 *)
Probenahme und Probenvorbereitung für die Stückanalyse bei Stählen
- Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium, Band 2 *)
Die Untersuchung der metallischen Stoffe, Düsseldorf 1966
- Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium, Band 5 (Ergänzungsband *):
A 4.4 – Aufstellung empfohlener Schiedsverfahren,
B – Probenahmeverfahren,
C – Analyseverfahren
jeweils letzte Auflage
- DIN-Normenheft 3 Kurznamen und Werkstoffnummern der Eisenwerkstoffe in DIN-Normen und Stahl-Eisen-Werkstoffblättern
- Weitere zitierte Normen siehe Anhang B.

Weitere Normen und andere Unterlagen

- DIN 17 200 Vergütungsstähle; Technische Lieferbedingungen
- DIN 17 210 Einsatzstähle; Technische Lieferbedingungen
- Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 550 *)
Stähle für größere Schmiedestücke

Frühere Ausgaben

DIN 17 211: 08.70

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe August 1970 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Nahtlose Rohre sind nicht mehr erfaßt (siehe Erläuterungen). Halbzeug aufgenommen.
- Für die verschiedenen Behandlungszustände werden nur noch Kennbuchstaben angegeben, da die entsprechenden Anhängennummern außerhalb der Luftfahrtindustrie kaum zur Anwendung kommen.
- Gestrichen wurden die Stähle 39CrMoV 13 9 (Werkstoffnummer 1.8523), 41CrAlMo 7 (Werkstoffnummer 1.8509) und 34CrAlS 5 (Werkstoffnummer 1.8506) (siehe Erläuterungen).
- Neu aufgenommen wurden die Stähle 31CrMoV 9 (Werkstoffnummer 1.8519) und 15CrMoV 5 9 (Werkstoffnummer 1.8521) (siehe Erläuterungen).
- Massenanteile Silicium, Phosphor und Schwefel einheitlich auf max. 0,40% bzw. max. 0,025% bzw. max. 0,030% begrenzt.
- Das bisherige System der Lieferarten (Anforderungsklassen) ist entfallen (siehe Erläuterungen).
- Festlegungen für die mechanischen Eigenschaften überarbeitet (siehe Erläuterungen).
- Bei Stabstahl mit rundem, quadratischem oder rechteckigem Querschnitt und einem Durchmesser bzw. einer Dicke von über 25 bis 100 mm sind die Zug- und Kerbschlagproben so zu entnehmen, daß ihre Achse 12,5 mm unter der Erzeugnisoberfläche liegt.
- Das Bild über die Anwendbarkeit der für runde Querschnitte angegebenen Werte für den vergüteten Zustand auf quadratische und rechteckige Querschnitte wurde durch ein neues Bild ersetzt.
- Der maßgebliche Wärmebehandlungsdurchmesser für die mechanischen Eigenschaften wird in einem Anhang definiert.

*) Verlag Stahleisen mbH, Postfach 82 29, 4000 Düsseldorf 1

Continuación Norma DIN 17211

Seite 14 DIN 17211

Erläuterungen

Diese Norm wurde in ihrer redaktionellen Gestaltung weitestgehend an die Folgeausgabe von DIN 17 200 angepaßt. Auf folgende Punkte sei besonders hingewiesen:

Auf Antrag der Rohrhersteller sollen nahtlose Rohre aus Nitrierstählen in einer getrennten Norm behandelt werden. Begründet wurde der Antrag damit, daß

- z. B. nicht alle Stähle nach dieser Norm für Rohre in Betracht kommen, andererseits aber für Rohre verwendete Nitrierstähle in dieser Norm nicht enthalten seien,
- es eine Reihe rohrspezifischer Festlegungen gebe (z. B. Prüfung),
- man auf diese Weise die Anzahl der Fußnoten einschränken und somit datenverarbeitungsgerechter arbeiten könne und
- letztlich auch die Überarbeitung der Norm erleichtert werde.

Die Stähle 34 CrAlSi 5 (Werkstoffnummer 1.8506), 41 CrAlMo 7 (Werkstoffnummer 1.8509) und 39 CrMoV 13 9 (Werkstoffnummer 1.8523) wurden nicht mehr berücksichtigt, weil kaum noch Nachfrage nach ihnen besteht.

Der Stahl 31 CrMoV 9 (Werkstoffnummer 1.8519) wurde in die Norm aufgenommen, obwohl mit dem Stahl 30 CrMoV 9 (Werkstoffnummer 1.7707) in DIN 17 200 bereits eine von der chemischen Zusammensetzung her sehr ähnliche Sorte genormt ist. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß der Stahl 31 CrMoV 9 unter Berücksichtigung der Nitriertemperaturen bei einer höheren Temperatur angelassen werden muß und deshalb nach dem Vergüten eine geringere Festigkeit aufweist als der Stahl 30 CrMoV 9 nach DIN 17 200.

Der Stahl 15 CrMoV 9 (Werkstoffnummer 1.8521) lief bisher unter dem Kurznamen 14 CrMoV 9 und der Werkstoffnummer 1.7735. Wegen seiner Aufnahme in die Norm für Nitrierstähle mußte aus rein formalen Gründen eine Werkstoffnummer in der Nummernklasse 85 festgelegt werden.

Da das in der Ausgabe August 1970 der DIN 17 211 enthaltene System der Lieferarten zur Kennzeichnung der gewünschten Anforderungen in der Praxis kaum verwendet

wurde, ist es in dieser Norm entfallen und nach eingehenden Erörterungen der jeweiligen Einzelheiten durch die in Tabelle 1 wiedergegebenen Kombinationen von Wärmebehandlungszuständen bei der Lieferung, Erzeugnisformen und Anforderungen ersetzt worden. So ist jetzt auch eindeutig festgelegt, welche Anforderungen bei welchem Wärmebehandlungszustand einzuhalten sind, wenn in der Bestellung keine entsprechenden Angaben enthalten sind.

Die in Tabelle 4 für den vergüteten Zustand angegebenen Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte sind gegenüber der Ausgabe August 1970 in N/mm² umgerechnet und auf durch 50 teilbare Zahlen gerundet worden. Außerdem wurde infolge einer weniger feinen Durchmesserstaffelung beim Stahl 31 CrMo 12 (Werkstoffnummer 1.8515) zum Teil eine Absenkung der Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte erforderlich, während beim Stahl 34 CrAlNi 7 (Werkstoffnummer 1.8550) durch Einfügung der Durchmessergränze 100 mm die entsprechenden Werte angehoben werden konnten.

Beim Nitrocarburieren muß, im Hinblick auf die vergleichsweise hohen Nitrocarburiertemperaturen, mit einem Abfall der Festigkeitseigenschaften (siehe Tabelle 4) gerechnet werden.

Einem vielfach geäußerten Wunsch entsprechend wurden für die Kerbschlagarbeit nicht nur Werte für DVM-Proben, sondern auch für ISO-V-Proben festgelegt.

Bei betrieblicher Prüfung der Nitrierhärte (siehe Tabelle 4) wird im allgemeinen die Oberflächenhärte gemessen; dabei ist der Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit zu berücksichtigen. Bei genaueren Messungen ist entsprechend den Angaben in DIN 50 190 Teil 3 vorzugehen.

Die vorliegende Norm steht im Zusammenhang mit ISO/DIS 683/10-1985 „Für eine Wärmebehandlung bestimmte Stähle, legierte Stähle und Automatenstähle. Teil 10: Nitrierstähle“ und EURONORM 85-70 „Nitrierstähle; Gütevorschriften“. Die nachfolgende tabellarische Gegenüberstellung gibt einen Überblick über die Stahlsorten nach dieser Norm und den internationalen Unterlagen für Nitrierstähle.

Nitrierstähle nach					
DIN 17 211		EURONORM 85-70		ISO/DIS 683/10-1985	
Kurzname *	Werkstoffnummer	Kurzname	1)	Kurzname	1)
31 CrMo 12	1.8515	31 CrMo 12	●	31 CrMo 12	●
31 CrMoV 9	1.8519	—	—	—	—
15 CrMoV 9	1.8521	—	—	—	—
34 CrAlMo 5	1.8507	34 CrAlMo 5	○	33 CrAlMo 54	○
—	—	39 CrMoV 13	—	—	—
—	—	41 CrAlMo 7	—	41 CrAlMo 74	—
34 CrAlNi 7	1.8550	—	—	—	—

1) In dieser Spalte ist der Grad der Übereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung der Stähle nach dieser Norm einerseits und der Stähle nach den internationalen Unterlagen andererseits gekennzeichnet. Es bedeutet:

- geringfügige Abweichungen,
- nicht unwesentliche Abweichungen.

Internationale Patentklassifikation

C 22 C 38/08
G 01 N 33/20

Fuente: DIN. Norma DIN 17211, Nitruación. 1987. p. 10.