



D-14519

T
672.36
V146



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica

"CARBONITRURACION GASEOSA : ANALISIS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:

MANUELITO ALFONSO VALDIVIESO OJEDA

GUAYAQUIL

AÑO
1994

ECUADOR



DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos, ideas y expuestas en esta tesis, le corresponden exclusivamente al autor; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

{ Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL }

MANUELITO ALFONSO VALDIVIESO OJEDA

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS SOBRINOS



BIBLIOTECA

A G R A D E C I M I E N T O

A Dios por mi Fe

Al Ing. JOSE PACHECO M.


Director de Tesis, por su
colaboración para la realización
de éste trabajo.

A los Srs. MARCO ROJANO Y JHON QUITO, por toda
la ayuda brindada.

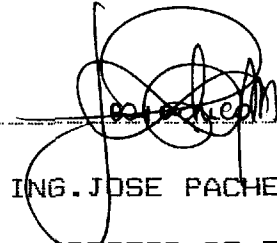
R E S U M E N

La carbonitruración gaseosa es un proceso de endurecimiento que tiene como finalidad suministrar una capa superficial dura, resistente al desgaste y con núcleo suave y tenaz. Se aplica fundamentalmente a los aceros de bajo y medio contenido de carbono y consiste básicamente en agregar nitrógeno y carbono a la superficie del acero mediante el uso de una atmósfera gaseosa constituida por Amoniaco disociado y Propano.

El objetivo de la presente investigación es la de analizar la incidencia de variar los parámetros del proceso tales como composición de la atmósfera, temperatura y tiempo, sobre la composición y espesor de la capa carbonitrurada en un acero AISI 1020.

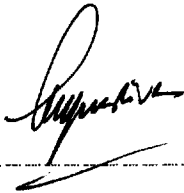


Dr. ALFREDO BARRIGA
DECANO

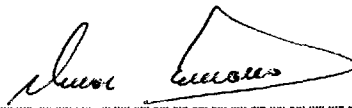


ING. JOSE PACHECO M.
DIRECTOR DE TESIS

FACULTAD DE INGENIERIA EN
MECANICA



ING. JORGE DUQUE
Miembro Tribunal



ING. OMAR SERRANO
Miembro Tribunal

I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
RESUMEN	V
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XI
NOMENCLATURA.....	XII
CAPITULO I	
INTRODUCCION.....	15
CAPITULO II FUNDAMENTO TEORICO	
2.1 MECANISMO DE CARBONITRURACION.....	17
2.2 MECANISMO DE DIFUSION.....	18
2.3 VARIABLES DE PROCESO.....	23
2.4 APLICACIONES.....	28
2.5 CONSTITUYENTES DE LA ATMOSFERA DEL TRATAMIENTO	29
2.6 CONTROL DE LA ATMOSFERA.....	32
2.7 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD.....	37
CAPITULO III TRABAJO EXPERIMENTAL	
3.1 OBJETIVO.....	41
3.2 EQUIPO UTILIZADO.....	41
3.3 MATERIALES.....	45

3.4	METODOLOGIA DE ENSAYOS.....	50
3.5	RESULTADOS OBTENIDOS.....	60
3.5.1	ESPESOR DE LA CAPA CARBONITRURADA.....	61
3.5.2	METALOGRAFIA.....	64
3.5.3	CONTROL DE DUREZA.....	68
3.5.4	PRUEBA DE RESISTENCIA AL DESGASTE.....	69

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS.....	75
-----------------------------	----

CAPITULO V

CONCLUSIONES.....	79
APENDICES.....	81
BIBLIOGRAFIA.....	87

INDICE DE FIGURAS

Núm	Pág.
2.1	Mecanismo intersticial de difusión 18
2.2	Variación de ϕ con la temperatura en aceros de bajo carbono 22
2.3	Influencia del tiempo y temperatura en la carbonitruración de un acero al carbono 25
3.1	Horno con atmósfera controlada, marca LINDBERG 46
3.2	Generador de atmósferas, marca LINDBERG 47
3.3	Microdurómetro Riehle-Kentron AKB usado para medir espesor de la capa carbonitrurada, e indentaciones de microdureza (Knoop) 48
3.4	Máquina para medir la resistencia al desgaste 49
3.5	Diagrama de flujo del proceso 50
3.6	Forma de los probetas 51
3.7	Efectos de los constituyentes de la atmósfera sobre la microestructura y el espesor de la capa carbonitrurada durante el proceso. Ataque: Nital 2%. Aumento: 150X..... 65

3.9	Influencia del tiempo y composición de la atmósfera sobre la microestructura y el espesor de la capa carbonitrurada. Ataque: Nital 2%. Aumento: 150X.....	66
3.9	Influencia de la temperatura y composición de la atmósfera sobre la microestructura y el espesor de la capa carbonitrurada. Ataque: Nital 2%. Aumento: 150X.....	67
3.10	Influencia del tiempo y temperatura sobre el espesor de la capa carbonitrurada.....	70
3.11	Influencia del tiempo y composición de la atmósfera sobre el espesor y dureza superficial de la capa carbonitrurada.....	71
3.12	Influencia de la temperatura y composición de la atmósfera sobre el espesor y dureza superficial de la capa carbonitrurada.....	72
3.13	Influencia de las variables del proceso sobre la resistencia al desgaste.....	73
3.14	Influencia de las variables del proceso sobre la resistencia al desgaste.....	74

INDICE DE TABLAS

Núm.		Pág.
I	Atmósferas típicas de carbonitruración	27
II	Aplicaciones típicas de carbonitruración	30
III	Interrelación que existe entre el rango del flujo de su gas, volúmen del horno y número de cambio de gas por hora, como una función del tipo de horno	40
IV	Condiciones de carbonitruración para las pruebas preliminares	55
V	Condiciones de carbonitruración para las pruebas finales	57
VI	Condiciones de carbonitruración para las pruebas finales	58
VII	Variación del espesor de la capa carbonitrurada en las pruebas preliminares	61
VIII	Variación del espesor de la capa carbonitrurada en las pruebas finales	62
IX	Variación del espesor de la capa carbonitrurada en las pruebas finales	63
X	Variación de la dureza sobre la capa carbonitrurada.....	68
XI	Variación de la resistencia al desgaste	69

N O M E N C L A T U R A

a	Espesor de la capa carbonitrurada
•	
Å	Angstrom
AC1	Temperatura de calentamiento crítica inferior
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM685	Prueba estandar para determinar la resistencia al desgaste.
C	Carbono
°C	Grados centigrados
Cm	Centímetros
Co	Composición en %
C3H8	Propano
da	Longitud de la diagonal en mm.
dc/dx	Variación de la concentración con la distancia
D	Coefficiente de difusión.
Do	Coefficiente de difusión independiente de la temperatura
Dg	Desgaste del disco
e	Base de los logaritmos naturales
Fe	Hierro
g	gramos
h	horas
H	Hidrógeno
HCl	Acido clorhídrico
Hk	Dureza Knoop
HRC	Dureza Rockwell C

J	Julio
J1	Cantidad de sustancia que se difunde
K	Constante de Boltzman
•K	Grados Kelvin
Kg	Kilogramos masa
Kgf	Kilogramos fuerza
lb	Libras
L	Carga aplicada en Kg.
m	Metros
min	Minutos
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
N	Nitrógeno
NH3	Amoniaco
φ	Constante de proporcionalidad en mm/t ^{1/2}
OD	Diámetro en mm
pie	Pie Cúbico
Ps	Pérdida de peso en gramos
Pv	Pérdida de volumen en mm ³
q	Caudal expresado en m ³ /h ó pie ³ /h
qt	Caudal total
Q	Energía de actividad de la difusión
r	Radio Atómico
rev	Revolución \
seg	Segundos
SAE	Society of Automotive Engineers
Si	Silicio

ST	Sin tratamiento térmico
t	Tiempo en minutos
T	Temperatura en grados centígrados
V	Volumen expresado en m ³
Z	Cambio de gas por hora
R	Densidad
%	Por ciento

CAPITULO I

INTRODUCCION

En la utilización de muchos componentes mecánicos es necesario que los mismos sean altamente resistentes al desgaste y además posean propiedades de suavidad y tenacidad. Para ello se han desarrollado numerosas técnicas de endurecimiento superficial entre las cuales se encuentra la carbonitruración gaseosa. Esta técnica modifica la composición química de la superficie del acero.

En la carbonitruración gaseosa los aceros al carbono y aleados son mantenidos a temperaturas elevadas (usualmente sobre el rango de transformación) en una atmósfera gaseosa en la cual el carbón y nitrógeno se difunden simultáneamente y son después enfriados hasta obtener las propiedades deseadas en la superficie y en el núcleo.

La fuente principal de adición de carbono en la superficie es el propano o gas natural, mientras que el amoníaco suministra el nitrógeno. Por efecto de la temperatura se producen reacciones químicas que hace que los aceros absorban carbón y nitrógeno simultáneamente.

El proceso abarca una serie de características y variables (temperatura, tiempo, composición) que deben ser controladas y manejadas correctamente para asegurar un proceso eficiente.

La presente investigación suministra la información necesaria para garantizar el éxito del proceso.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 MECANISMO DE CARBONITRURACION

En carbonitruración, el amoniaco adicionado a la atmósfera de carburización es disociado para producir hidrógeno y nitrógeno, éste último se difunde sobre la superficie del acero junto con el carbono proveniente del gas carburizante.

El nitrógeno proveniente del amoniaco y el carbono proveniente del gas carburizante al difundirse sobre la superficie del acero forma una capa cuyo espesor varia generalmente desde 0.075 hasta 0.75 mm.

Las propiedades de una superficie carbonitrurada se logran bajo condiciones de monoequilibrio. La concentración de amoniaco y gas carburizante en la atmósfera determina, en parte, los contenidos de nitrógeno y carbón en la superficie del metal; tiempo y temperatura determina la concentración final de nitrógeno y carbono, así como el espesor o profundidad de la capa carbonitrurada.

2.2 MECANISMO DE DIFUSION

La efectividad del proceso de carbonitruración depende de cuanto carbono y nitrógeno se difunde sobre el acero.

Difusión es el movimiento de átomos en un material, es decir es el proceso mediante el cual átomos se mueven a través de una estructura cristalina.

DIFUSION DE CARBONO

Los átomos de carbono son pequeños ($r=0.7 \text{ \AA}$) y se difunde intersticialmente entre los átomos de hierro como se muestra en la fig. 2.1.

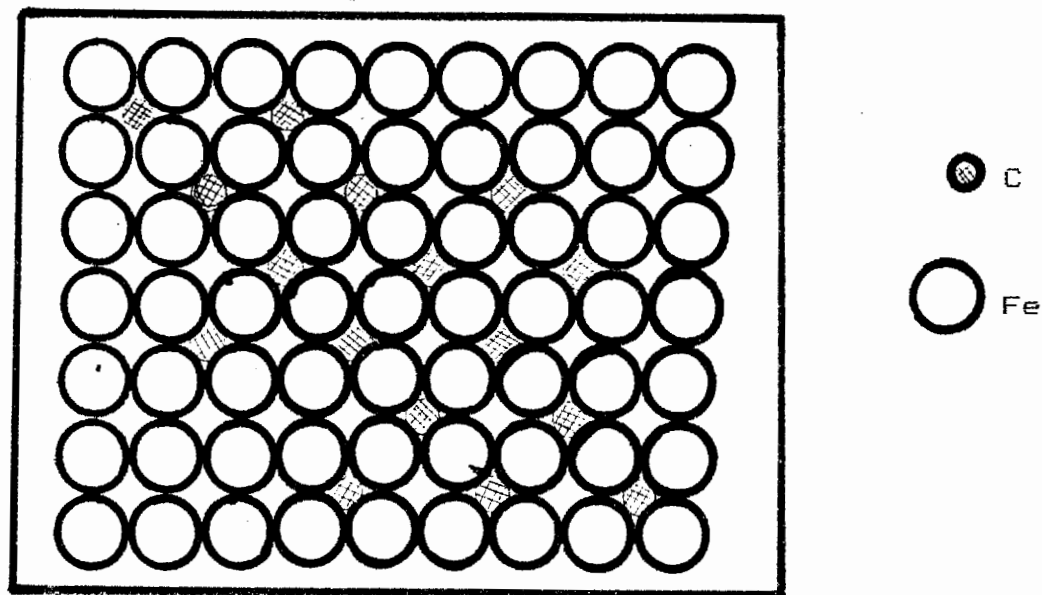


Fig. 2.1 Mecanismo Intersticial de Difusión

A mayores incrementos de temperatura, los átomos vibran con mayor energía y si tienen suficiente energía (alrededor de 0.24×10^{-8} J/átomo) pueden abrirse paso entre los átomos de hierro hasta el siguiente intersticio. Este mecanismo de difusión se conoce como difusión por intersticial (intersticios).

A la energía necesaria para que un átomo cambie su posición se llama energía de activación y está íntimamente ligada con el tamaño de los átomos. A un tamaño mayor del átomo intersticial la distorsión de la red asociada con su salto hacia el siguiente intersticio aumenta, entonces es necesario mayor energía para que tenga lugar el salto.

El transporte del carbón desde la superficie hacia el interior del acero, obedece las leyes de Fick(9). La primera ley de Fick establece que la cantidad de sustancia que se difunde a través de una sección transversal por unidad de tiempo es proporcional al gradiente de concentración de sustancia que se difunde (9):

$$J_1 = -D \quad dc / dx \quad (2.1)$$

La segunda ley) de Fick expresa que la razón de cambio de concentración con respecto al tiempo es proporcional a la razón de cambio del gradiente de concentración.

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (2.2)$$

Donde D es el coeficiente de difusión y es una función de la temperatura y de la concentración de carbón. Una expresión que relaciona el coeficiente de difusión con la temperatura es la siguiente (9):

$$D = D_0 e^{-Q/RT} \quad (2.3)$$

DIFUSION DE NITROGENO

La difusión del nitrógeno en el hierro, debe considerarse como la difusión de un gas dentro de un metal. la tendencia de los gases a difundirse a través de los metales está relacionada con su capacidad para combinarse con el correspondiente metal.

Al nitrógeno le es permitido difundirse únicamente como gas elemental, a través de los metales. El nitrógeno forma compuestos, es soluble y su difusión a través del hierro es bastante alta. La velocidad de difusión gas-metal generalmente es asociado con la solución intersticial de gas en el metal.

Los átomos no metálicos necesitan ser desplazados de sus posiciones reticulares para admitir la difusión del gas y la energía requerida para remover un átomo de gas de un

sitio intersticial a otro el cual no está previamente ocupado, es relativamente pequeña.

En definitiva el mecanismo de difusión explicado para el carbón es aplicable al nitrógeno por que el tamaño del radio atómico del nitrógeno es menor al del hierro.

Como resultado de la difusión del carbón se forma una capa cuyo espesor puede estimarse (2) por:

$$a = \sqrt{K t^{1/2}} \quad (2.4)$$

Donde a es el espesor total de la capa carbonitrurada, t es el tiempo de carbonitruración y K es una constante de proporcionalidad que varía con la temperatura aproximadamente como se muestra en la fig. 2.2 (2).

Nota : La adición de nitrógeno impide la difusión de carbón por lo tanto la ecuación 2.4 no es exacta en cálculo de espesores, pero sin embargo se la usa para seleccionar tiempos y temperaturas de carbonitruración.

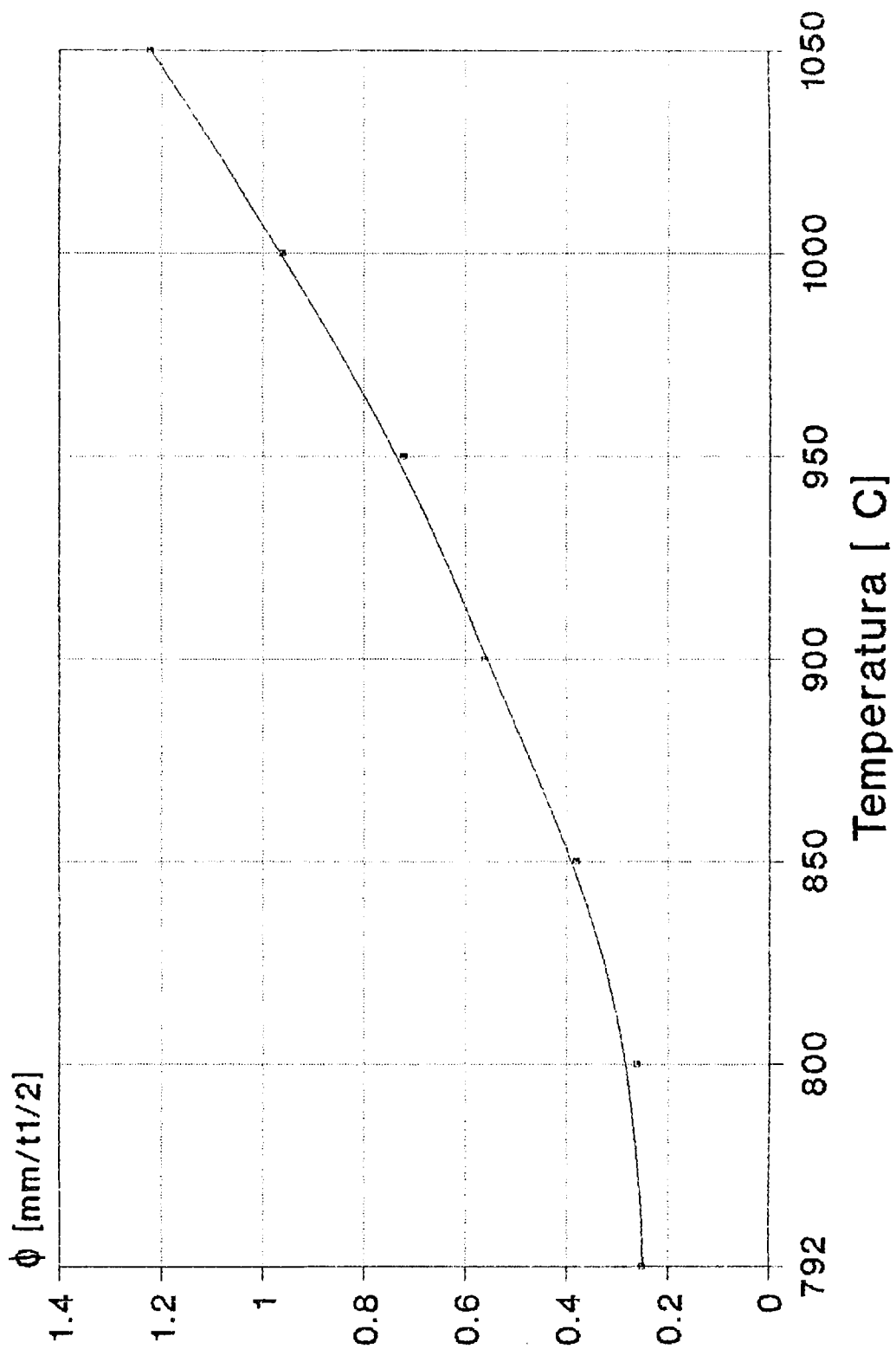


Fig. 2.2: Variación de ϕ con la temperatura

2.3 VARIABLES DEL PROCESO

La difusión del nitrógeno y carbón como se anotó anteriormente, obedecen las leyes de Fick. Las mismas que se relacionan con la temperatura, con el tiempo y la composición de la atmósfera.

Por lo tanto el éxito de mejorar las propiedades en la superficie de un elemento depende de la forma de como se maneje y se controle éstos parámetros.

TEMPERATURA

Es uno de los parámetros más importantes en la carbonitruración gaseosa, la cual varía generalmente desde 740 hasta 955 °C.

Altas temperaturas son seleccionadas para exceder el punto Acl del acero; permiten una velocidad alta de difusión y producen un completo endurecimiento en el interior, después del temple.

Cuando se selecciona cierto valor, se debe considerar que ésta influye directamente en la estabilidad dimensional, dureza, propiedades de fatiga y desgaste de las piezas enfriadas después del tratamiento. Los aceros tratados a temperaturas altas y enfriados arriba de la

temperatura crítica superior producirá elevadas durezas en el núcleo. Estas elevadas durezas son deseables en aplicaciones que involucren altos esfuerzos superficiales, por que un núcleo duro es necesario para soportar estos esfuerzos.

La temperatura también influye en el contenido de carbono y nitrógeno de la capa carbonitrurada, ya que a temperaturas altas, mayor es la difusión de carbón que la de nitrógeno; y cuando las temperaturas son menores la difusión de nitrógeno es mayor.

También, al aumentar la temperatura del horno, se reduce el contenido de nitrógeno en la superficie de la capa carbonitrurada, entonces se minimiza la cantidad de austenita retenida; por ser indeseable en muchas aplicaciones; la baja dureza superficial es causada por la presencia de la austenita retenida (1).

TIEMPO

A diferencia de otros procesos de endurecimiento superficial tales como: la cementación y la nitruración, para la carbonitruración son necesarios tiempos mínimos desde 10 hasta 270 minutos; periodos en los cuales se obtienen valores de dureza de 60 HRC o más.

Cuando se utiliza un periodo de 270 minutos, fácilmente se

se alcanzan durezas superficiales comprendidas entre 60 y 65 HRC, y espesores de capa carbonitrurada de 0.6 a 0.8 mm.

En la fig. 2.3 se muestra la variación del espesor de la capa carbonitrurada como resultado del cambio tiempo y temperatura.

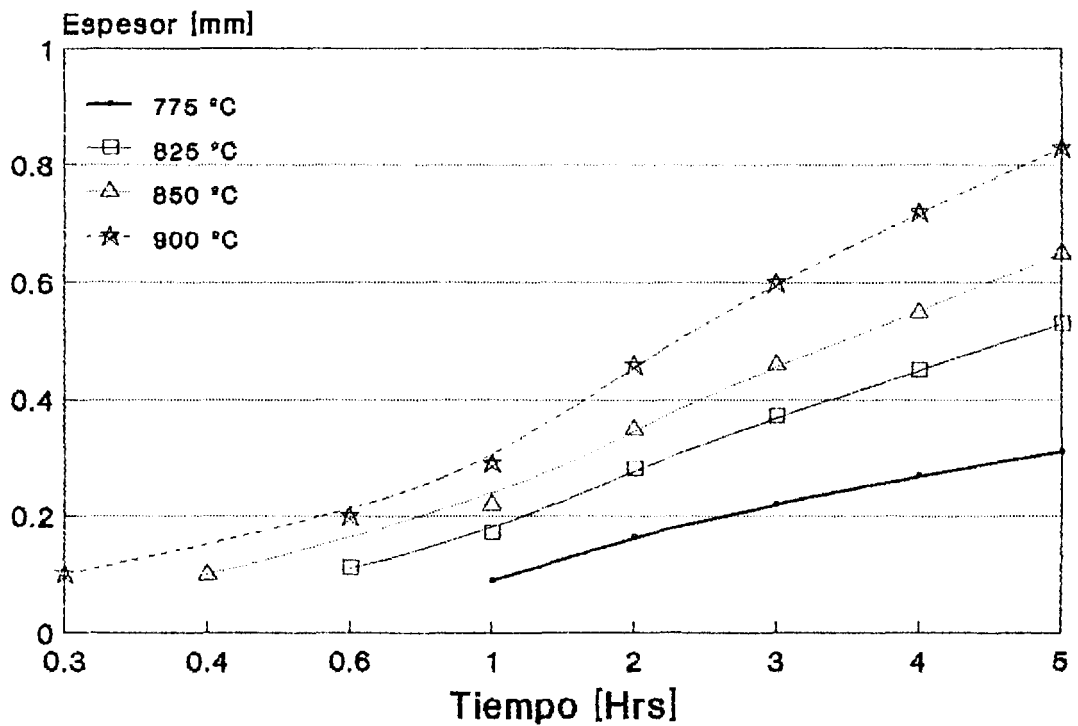


Fig. 2.3 Influencia del tiempo y temperatura en la carbonitruración de un acero al carbono (6).

COMPOSICION

Se refiere al porcentaje de constituyentes gaseosos que son introducidos a la cámara del horno y el éxito del proceso depende directamente de la capacidad de difusión sobre el acero, la misma que dependerá del contenido de amoníaco y gas carburizante reinante en la cámara del horno.

CONTENIDO DE AMONIACO

Generalmente el contenido de amoníaco para carbonitruración gaseosa varía del 2 hasta el 10% del volumen de la cámara para una atmósfera standar.

El nitrógeno producto de la disociación del amoníaco tiene tres efectos importantes:

- Impide la difusión de carbono, la cual favorece la producción de nitruros, la presencia de nitruros disminuye la temperatura crítica de transformación.
- Aumenta la durabilidad, lo cual favorece la adquisición de una muy buena dureza superficial que es fácilmente pulible y una resistencia al desgaste, elevada.
- Los nitruros formados, permiten que las piezas endurecidas posean igual o mayor resistencia al desgaste atribuible básicamente a la matriz.

En resumen el contenido de amoníaco incide en la formación de nitruros y por ende en las propiedades de la capa carbonitrurada. A mayor amoníaco adicionado mayores la

cantidad de nitruros, así como el riesgo de obtener austenita retenida.

CONTENIDO DE GAS CARBURIZANTE

Depende directamente del amoníaco adicionado ya que, como regla general la cantidad de éste constituyente debe ser mayor. Básicamente el contenido de gas carburizante varía entre un 2.5 hasta 20.8% del volumen de la cámara. Mucho cuidado se debe tener en el suministro de éste constituyente ya que excesivas cantidades producen hollín, que a su vez impide la difusión del carbón.

En la tabla I se muestran atmósferas típicas de carbonitruración:

TABLA I

<u>AMONIACO %</u>	<u>GAS CARBURIZANTE %</u>
10	20
10 (a)	8
5	8
4	6
2	3
7	10

(a) Cuando se utilizan elevadas temperaturas de carbonitruración.

De éstas atmósferas la más utilizada para elevada dureza

superficial y considerable resistencia en el núcleo; es la constituida por un 5% NH_3 y 8% de gas carburizante.

EFEECTO DE LA COMPOSICION.— Dependiendo de los gradientes de carbón y nitrógeno sobre la superficie carbonitrurada, una variedad de microestructuras pueden ser obtenidas.

En general, adición de nitrógeno a lo largo de la superficie con carbón, produce superficies carbonitruradas que usualmente consisten de martensita, considerable austenita retenida, partículas de carburo y algunas veces cementita.

La cantidad de austenita retenida se incrementa conforme se aumenta la adición de nitrógeno.

2.4 APLICACIONES

El proceso de carbonitruración usado principalmente para impartir dureza y generar resistencia al desgaste tiene una serie de aplicaciones dependiendo de las condiciones de servicio a las que se somete los componentes o piezas de acero.

En la tabla II se muestran varios productos carbonitrurados con gran éxito. En la misma se sugiere los rangos de aplicación para el cual los productos establecen sus

ventajas. Incluyendo en la tabla identificación de los aceros carbonitrurados en existencia y que son básicos en la producción, junto con las temperaturas del proceso, medio de temple, duración y profundidad superficial.

2.5 CONSTITUYENTES DE LA ATMOSFERA DEL TRATAMIENTO

La atmósfera usada en carbonitruración generalmente comprende una mezcla de gas portador, gas enriquecedor y amoníaco. Básicamente, la atmósfera usada en carbonitruración es producida por adición del 2 hasta el 12% de amoníaco para una atmósfera standar de gas carburizante.

Gas portador.- Generalmente es una mezcla de nitrógeno, hidrógeno y monóxido de carbono, con restos de metano, oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono, preparado muy frecuentemente por destilación fraccionada de gas natural u otros hidrocarburos con aire en un generador endotérmico. Este es usualmente alimentado al horno con suficiente volumen para mantener una presión positiva de la cámara y prevenir infiltración de aire. En el también se diluye gases activos (Hidrocarburos y amoníaco), así se hacen los procesos más fáciles de controlar.

TABLA II APLICACIONES TÍPICAS DE CARBONITRURACIÓN

PARTE	ACERO	ESPESOR (mm)	T DEL HORNO (°C)	t EN HORNO	MEDIO DE TEMPLE
ACEROS AL CARBONO					
Culata de ajuste 25x9.5mm	1020	0.05-0.15	775x745	64 min	Aceite
Cubierta esférica, 22g	1010	0.75	670	15 1/2 h	Aceite
Block de cojinetes 64 x 32 x 3.2mm	1010	0.05-0.15	775x745	64 min	Aceite
Tren para leva 76 x 6.4mm	1010	0.05-0.15	775x745	64 min	Aceite
Buje 14g	1113	0.25-0.35	645	1 2/3 h	Aceite
Leva 2.3 x 57 x 64mm	1010	0.38-0.45	885	2 1/2 h	Aceite
Punta de cincel 16 g	1020	0.13-0.20	790	1 h	Aceite
Copa 13 g	1015	0.08-0.13	790	1/2 h	Aceite
Distribuidor del motor 127 mm OD x 127 mm	1015	0.15-0.25	815-745	108 min	Gas (a)
Cojinete de eje frontal 66.7 mm OD x 3.2 mm	1010	0.15-0.25	815-745	108 min	Gas (a)
Engranaje 44.5 mm diam. x 3.2 mm	1213(b)	0.30-0.38	855	1 3/4 h	Aceite(b)
Tuerca 60.3 x 9.5 mm	1030	0.15-0.25	815-745	64 min	Aceite
Pasador de bisagra 14 mm OD x 89 mm	1113	0.05-0.15	775-745	64 min	Aceite
Cubierta para picaporte 6.4mm diam	1015	0.05-0.15	775-745	64 min	Aceite
Corredera 2 x 38 x 38 mm	1022	0.30-0.38	855	1 1/2 h	Aceite
Mandril 40g	1117	0.20-0.50	845	1 1/2 h	Aceite
Anillo de cerradura 23g	1010	0.25-0.38	845	110 min	Aceite
Segmento 1 x 64mm	1010	0.18-0.25	845	1 1/2 h	Aceite
Segmento 2.3x44.5x44.5mm	1010	0.38-0.45	855	2 1/2 h	Aceite
Eje 47mm dia. x 159mm	1213(b)	0.30-0.38	815	2 1/2 h	Gas(a)(b)
Deslizadera 1.9x38x197mm	1010	0.30-0.38	815	2 1/2 h	Gas (a)
Engranaje recto 66.7mm OD	1018	0.38-0.50	870	2 h	Aceite

(a) Atmósfera modificada de carbonitruración

(b) Templado a 190 °C o revenido a 190 °C

TABLA II APLICACIONES TÍPICAS DE CARBONITRURACION

PARTE	ACERO	ESPESOR (mm)	T DEL HORNO (°C)	t EN HORNO	MEDIO DE TEMPLE
Pasador de resorte 14.3 mm OD x 114 mm	1030	0.25-0.50	815-745	114 min	Aceite
Eje de piñón 41.3 OD mm	1018	0.30-0.50	870	2 h (g)	Aceite(d)
Trinche para cambio de transmisión 127 x 76 mm	1040	0.25-0.50	815-745	162 min	Gas (a)
Eje de transmisión des- lizante 22 mm OD x 171 mm	1030	0.15-0.25	815-745	96 min	Aceite
ACEROS ALEADOS					
Engranaje helicoidal, 82 mm OD	8617 H	0.05-0.75	845	6 h (g)	Aceite(e)
Eje 50 mm OD	8622	0.15-0.25	815x745	108 min	Gas (a)
Entrada del eje 1.2 Kg	5140	0.30-0.35	775	5 1/2 h	Aceite(c)
Engranaje 0.2 Kg.	4047	0.30-0.35	775	5 1/2 h	Aceite(c)
Anillo engraneje 0.9 Kg	4047	0.20-0.30	760	9 h	Aceite(f)
Segmento 1.4x83mm	8617	0.18-0.25	815	1 1/2 h	Gas (a)
Eje de piñón recto 63.5mm OD X 203 mm	5140 H	0.05-0.20	845	1 h (g)	Aceite(g)
Placa de engranaje esta- cionario 0.32 Kg.	5140	0.30-0.35	775	5 1/2 h	Aceite(c)
Manguito del eje prin- cipal de Transmisión 38mm OD x 25 mm	8622	0.05-0.25	815-745	108 min	Gas (a)
Arandola del eje prin- cipal de Transmisión 57mm OD x 6.4 mm	8620	0.25-0.50	815-745	162 min	Gas (a)

- (c) Templado a 190 °C
(d) Aceite a 105 °C
(e) Aceite a 175 °C
(f) Templado a 175 °C
(g) Aceite a 150 °C

Gas enriquecedor.- usualmente es hidrocarburo (como gas natural, propano o butano), que es la principal fuente para el carbón añadido a la superficie del acero. En algunas operaciones, un hidrocarburo líquido que se vaporiza a temperaturas altas es usado como la fuente de carbón. En este caso no es necesario un generador de gas portador.

En el apéndice A se muestran adjunto hidrocarburos líquidos.

Amoniaco.- usado para carbonitruración es hidróxido de amoniaco de 99% de pureza. Si se introduce a la cámara del horno amoniaco disociado no es necesario gas portador.

2.6 CONTROL DE ATMOSFERA

Los tres tipos de gases que comprende la atmósfera de carbonitruración pueden ser mezclados justo antes de la entrada al horno y usualmente son medidos a través de medidores de flujo. Hornos grandes para aplicaciones continuas, requiere la adición de la mezcla de gas en diferentes puntos, para suministrar la composición deseada en la cámara. El control de la atmósfera tiene como objeto producir un gas portador de una composición química constante y punto de rocío práctico, y el de variar el gas enriquecedor y el amoniaco manualmente o automáticamente para suministrar el carbón y nitrógeno necesario para la

carbonitruración. Al suministrar el gas enriquecedor, mucho cuidado se debe tener de no introducir excesiva cantidad de monóxido de carbono dentro del horno, por que éste produce hollín. Pesados depósitos de hollín, en adición dificultan el trabajo de limpieza tiene un efecto perjudicial sobre la aleación, partes del horno y puede impedir el rango de carbonitruración.

CONTENIDO DE AMONIACO: Algunos factores deben estudiarse para establecer el contenido de amoniaco, los mismos que son:

Renovación de la Atmósfera.- Frecuentemente bajos porcentajes de amoniaco pueden ser usados con altos porcentajes de cambio de gas en el horno por hora.

Rango de Recirculación.- Generalmente, incrementos en el rango de circulación, dá como resultado una atmósfera uniforme, permitiendo el uso de bajas concentraciones de amoniaco.

Duración del ciclo en el horno.- El porcentaje de absorción de nitrógeno por austenita disminuye con el tiempo; por lo tanto pequeños ciclos en el horno y baja profundidad superficial requiere altos porcentajes de amoniaco.

Temperatura del horno.- Altos porcentajes de amoniaco a

menudo deben ser usados con valores elevados de temperatura en el horno.

Tamaño de carga, densidad y tamaño del área (superficie)

A medida que el tamaño, densidad y área de la carga se incrementa, un alto porcentaje de amoníaco es requerido para satisfacer durabilidad.

Potencial de carbono.- Bajos porcentajes de amoníaco pueden ser usados normalmente con altos porcentajes de carbón.

Tipos de acero.- El mínimo porcentaje de amoníaco requerido para durabilidad depende grandemente de la composición de acero. Austenita retenida se incrementa con un aumento en el contenido de aleación.

Por lo tanto, bajos contenidos de amoníaco pueden ser usados con aceros aleados particularmente si contiene níquel y alto porcentaje de manganeso, aceros al carbono como 1117, 1118, 1024.

Solamente suficiente amoníaco debe ser añadido para mantener la reacción en la atmósfera de carbonitruración; exceso de amoníaco no contribuye sobre el contenido de nitrógeno en la superficie.

Usualmente, 2.5% de amoníaco es suficiente para producir

un contenido satisfactorio de nitrógeno sobre la superficie. Contenidos altos de amoníaco como 10% o más, aunque son relaciones comunes, son muchas veces innecesariamente altas.

Comúnmente aceros para carbonitruración comprenden las siguientes series SAE o AISI 1000, 1100, 1200, 1300, 1500, 4000, 4100, 4600, 5100, 6100, 8600 y 8700, con un contenido de carbono de 0.25%. También muchos aceros de las mismas series con un contenido de carbono de 0.35 hasta 0.50%, son carbonitrurados para obtener penetración de alrededor de 0.3mm, con una combinación razonable de dureza en el centro y superficie a lo largo de toda su longitud (Ejes y engranajes de transmisión son ejemplos típicos).

Partes de aceros de medio carbono o aceros aleados son a menudo tratados para obtener elevada dureza superficial y gran resistencia al desgaste como los aceros de las series AE o AISI 4140, 5140, 8640 y 4340 que son usados para engranajes de servicio duro.

CONTAMINANTES

Contaminantes deben evitarse para mantener una atmósfera efectiva en la cámara del horno.

Infiltración de aire hacia el horno causa productos de

combustión con un efecto perjudicial para la atmósfera al entrar a la cámara de trabajo. En forma igual la carga de trabajo por sí sola puede proveer una fuente de contaminación, cuando cantidades considerables de grasas, aceite, agentes de limpieza, humedad o sales de temple se presentan sobre la carga de trabajo.

Estos materiales pueden ser serios contaminantes de la atmósfera. Estas fuentes de contaminación pueden evitarse por limpieza de la zona de trabajo con un agente apropiado antes de cargar y por el uso de ciclos de purgas.

INFLUENCIA DE TIPOS DE HORNOS

Diferentes tipos de hornos requieren diferentes porcentajes de los gases componentes de entrada y diferente volumen de los gases, dependiendo de las renovaciones (el número de cambio de gas por hora). Las variables incluidas son:

- a) La reacción del gas con las paredes del horno.
- b) Estrechez del horno y el número de entradas de operación.
- c) Grado de circulación de los gases, son relacionados con la densidad de carga y superficie del área de trabajo.

Datos sobre la interrelación que existe entre el rango del flujo de gas, volumen del horno y número de cambios de gas por hora, como una función de tipo horno, son dados en la tabla III.

2.7 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

Debido a que el proceso de carbonitruración es altamente tóxico, inflamable y explosivo; por lo tanto es necesario el conocimiento de medidas o normas de seguridad que permiten proteger a las personas y equipos.

La seguridad del personal y equipos en el proceso de carbonitruración depende primordialmente del operador y de los accesorios de seguridad. Es necesario recalcar que los accesorios de seguridad no pueden ser substituídos por un entrenamiento adecuado del operador.

A continuación se describen una serie de normas con el fin de que el operador evite riesgos las mismas son:

- 1.- Verificar si la cámara está debidamente sellada.
- 2.- Ubicación conveniente de equipos para combatir incendios.
- 3.- Conocimiento de los límites de explosión más bajo de los componentes de la atmósfera.

15.50 y 2.1% * para el amoniaco y el propano respectivamente.

4.- No permitir la introducción de la atmósfera de carbonitruración cuando la temperatura está por abajo de los 760 C. Por que a temperaturas inferiores no se produce la disociación del amoniaco.

5.- Purgar por lo menos durante 5 horas, introduciendo un volumen de gas purgante igual al volumen del horno.

6.- En caso de hacerse alguna reparación y luego de desconectar las líneas de suministros de la atmósfera y el suministro de energía. Purgar el horno y si es que se lo pinta soplar grandes cantidades de aire continuamente a través del horno.

7.- En el suministro del gas enriquecedor debe tomarse en cuenta el potencial de peligro del mismo; durante todo el proceso.

8.- Cuando ocurren fallas en el suministro de la atmósfera y energía. Luego de cerrar las válvulas de paso y apagar el equipo. Proceper a purgar inmediatamente la cámara del horno con un gas inerte (nitrógeno es lo más práctico).

* Valores dados en % de volumen.

Es recomendable un equipo de emergencia tanto para el suministro de la atmósfera como para la entrega de energía. Con lo cual se garantiza una restauración de la atmósfera evitando así cualquier complicación.

9.- Luego de haberse cumplido un proceso de carbonitruración y antes de iniciar otro se debe purgar completamente la cámara.

10.- Todo el equipo debe ubicarse en un lugar bien ventilado.

TABLA III INTERRELACION QUE EXISTE ENTRE EL RANGO DEL FLUJO DE GAS, VOLUMEN DEL HORNO Y NUMERO DE CAMBIO DE GAS POR HORA, COMO UNA FUNCION DEL TIPO DE HORNO.

TIPO DE HORNO	CONSTITUYENTES GASEOSOS (% POR VOLUMEN)			FLUJO TOTAL DE GAS (m ³ /h)	V DEL HORNO (m ³)	Z
	NH ₃	Gas Natural	Gas Portador			
De ladrillo alineados	10.4	20.8	68.8	6.8	0.29	23.5
De ladrillo alineados	4	6	90	14.5	1.42	10.2
De ladrillo alineados	8.3	8.3	83.3	10.2	2.55	4
De ladrillo alineados	5	20	75	11.3	8.5	1.3
De ladrillo alineados Continuamente	3.4	2.3(a)	94.3	42	8.07	5.2
De ladrillo alineados Continuamente	7	7	86	28.3	25.5	1.1
De ladrillo alineados Continuamente	5	4	91	31.1	25.5	1.2
Con Chimenea de metal	2.5	2.5	95	6.16	0.056	110

Z: CAMBIO DE GAS POR HORA.

CAPITULO III

TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1. OBJETIVO

El objetivo de esta investigación es evaluar los beneficios y limitaciones de la carbonitruración gaseosa. Cuantificar la manera en que factores como la temperatura, el tiempo, el porcentaje de los constituyentes gaseosos, inciden sobre la capa superficial obtenida después del proceso.

Para ello se han sometido varias muestras de un acero de bajo contenido de carbono a distintas situaciones de carbonitruración tal como se indica en la metodología de ensayos.

3.2 EQUIPO UTILIZADO

a) Horno con atmósfera controlada, y control automático de temperatura, marca LINDBERG, modelo TREL-ALL, con un rango de temperatura de 0 hasta 1100 °C, el mismo se muestra en la Fig. 3.1.

Además en la parte posterior existen tres entradas, las cuales se comunican con el interior de la cámara. Una de ellas está conectada con la tubería proveniente del generador de atmósferas, la otra se conecta con la



termocupia y la tercera entrada permite el ingreso de la atmósfera carburizante.

El suministro del gas carburizante.- Se lo hace mediante tuberías que se conectan con la cámara del horno y mediante una válvula se regula el flujo de gas carburizante.

Para asegurar una operación uniforme a la salida del gas se instaló un regulador de presión. La presión de salida puede variar entre 995.36 y 1991 Pa.

Mediante un medidor de flujo se controla el flujo que ingresa a la cámara del horno.

Anteriormente se explicó que los principales gases carburizantes son: Propano, Butano o una mezcla de las dos. En la presente investigación se utilizó propano (gas casero).

Control de la atmósfera carburizante.- El proceso seguido puede resumirse de la siguiente manera:

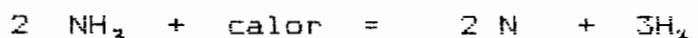
- Se adaptó un indicador de carátula en la válvula de tal forma que cada abertura se registre.

- Para cada abertura de válvula se hizo una medición de flujo.

- Luego se elaboró una tabla indicando la abertura de la válvula y el correspondiente valor de flujo (ver apéndice B).

b) Generador de atmósferas, marca LINDBERG, modelo LAM-100 el mismo se muestra en la Fig. 3.2. La función principal del "GEN-ATM" es de disociar el amoníaco en sus constituyentes hidrógeno y Nitrógeno.

La disociación se rige por la siguiente ecuación:



A temperatura y presión atmosférica, una libra de amoníaco ocupa aproximadamente 0.6 m^3 ; al disociarse en el generador de atmósferas éste volumen se duplica.

La presión del tanque (0.0621 kg/mm^2) depende enteramente de la temperatura del amoníaco líquido en el tanque y no de la cantidad. Debido a que cambios de temperatura del amoníaco producen cambios de presión.

Entonces para asegurar una operación uniforme el equipo tiene un regulador de presión automático, el cual permite que el sistema opere a una presión de 0.03 kg/mm^2 .

Operación.— Con todas las válvulas cerradas, girar el control automático del generador de atmósferas hasta 871°C (1600°F). Después de que el generador se estabilize a 871°C , (aproximadamente después de 10 minutos) la válvula del suministro de amoníaco puede ser abierta y ajustada de tal forma que el medidor de flujo indique la cantidad deseada.

Antes de apagar el equipo, primero se corta el suministro de amoníaco y después de que el medidor de indique que no hay flujo. Entonces, se puede apagar el sistema.

Para obtener el flujo de amoníaco disociado se multiplican las lecturas obtenidas por dos. Por ejemplo, cuando el medidor indica un flujo de $0.283 \text{ m}^3/\text{h}$, la cantidad de amoníaco disociado es de $0.566 \text{ m}^3/\text{h}$.

c) Microdurómetro Riehle - Kentron AKB (fig.3.3).

d) Máquina para medir la resistencia al desgaste (fig.3.4).

e) Microscopio.

f) Reguladores de presión.

g) Medidores de flujo.

h) Máquina para pulido.

3.3. MATERIALES

- Acero AISI 1020, cuya composición química es:

C	Mn	Si
0.17 - 0.23	0.30 - 0.60	0.10 - 0.20

Este material se encuentra en el mercado en forma de platinas y barras.

- Acido Clorhídrico, usado para eliminar la capa de calamina de las muestras.

- Lijas usadas en el pulido.

- Nital al 2%, usado para revelar las microestructuras.

- Arena de sílice AFS 50-70, usada en la prueba de resistencia al desgaste.

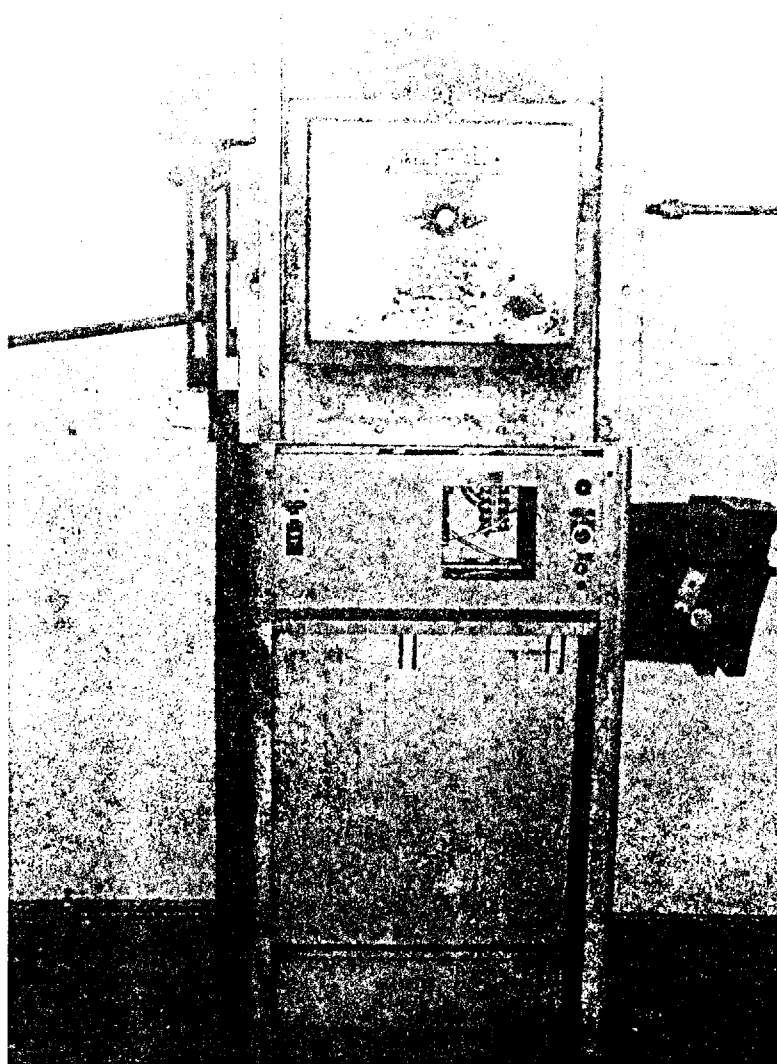


FIGURA 3.1:

HORNO CON ATMOSFERA CONTROLADA, MARCA LINDBERG

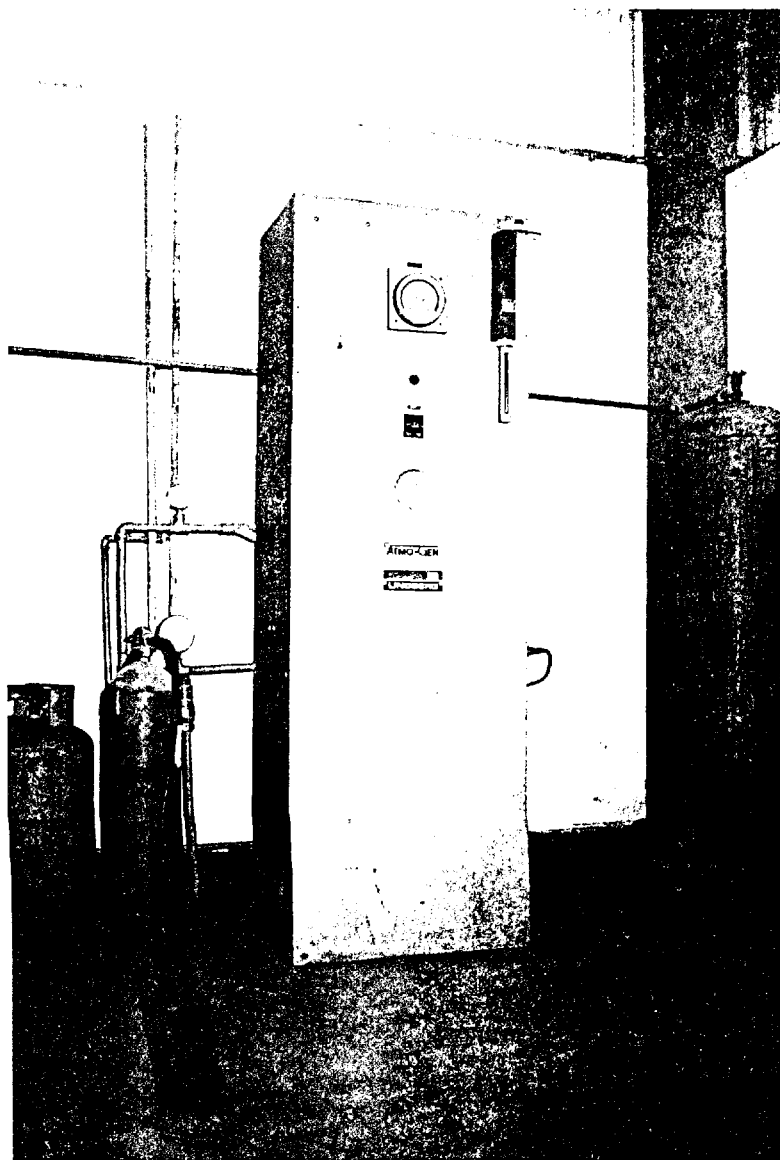


FIGURA 3.2:

GENERADOR DE ÁTOSFERAS MARCA LINDBERG

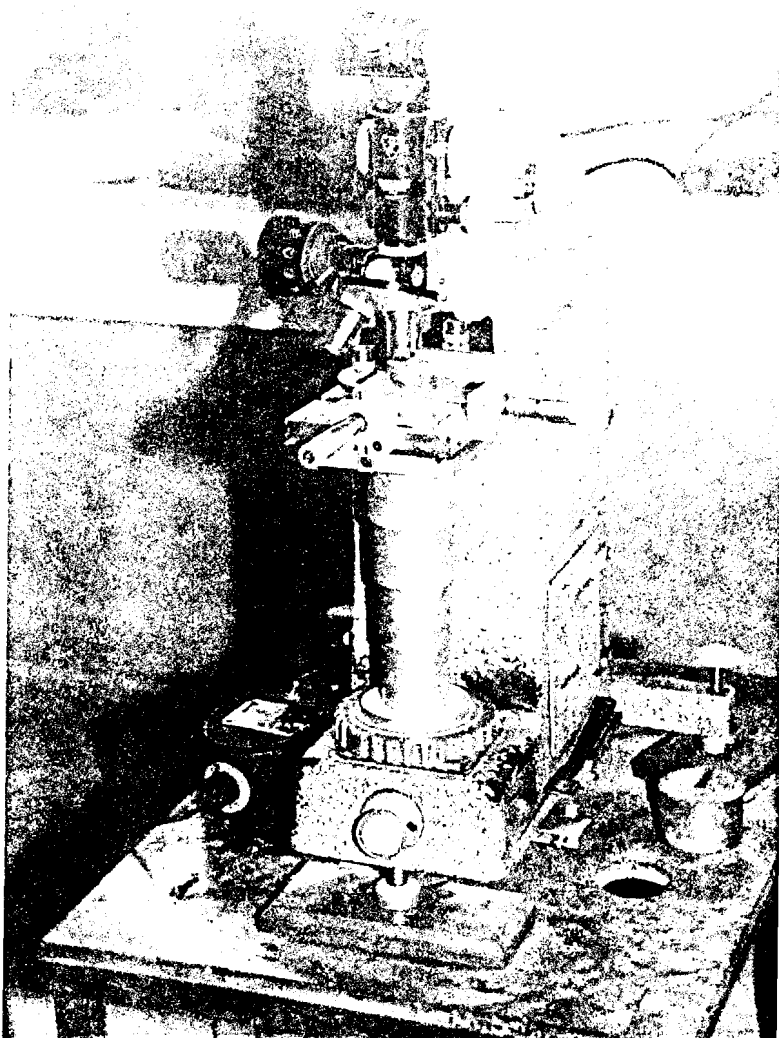


FIGURA 3.3:

MICRODUREMETRO RIEHLE-KENTRON AKB USADO PARA MEDIR
ESPESOR DE LA CAPA CARBONITRURADA, E INDENTACIONES
DE MICRODUREZA (KNOOP).

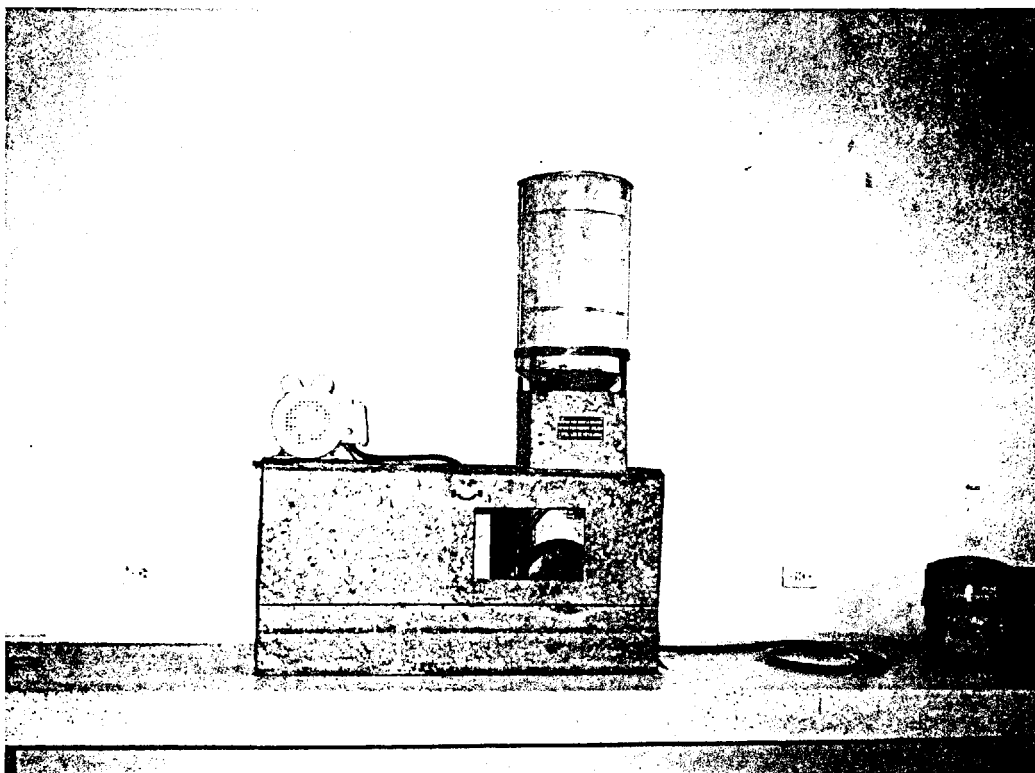


FIGURA 3.4:

MADUINA PARA MEDIR LA RESISTENCIA AL DESGASTE.

3.4 METODOLOGIA DE ENSAYOS

La metodología seguida puede resumirse en el siguiente proceso :

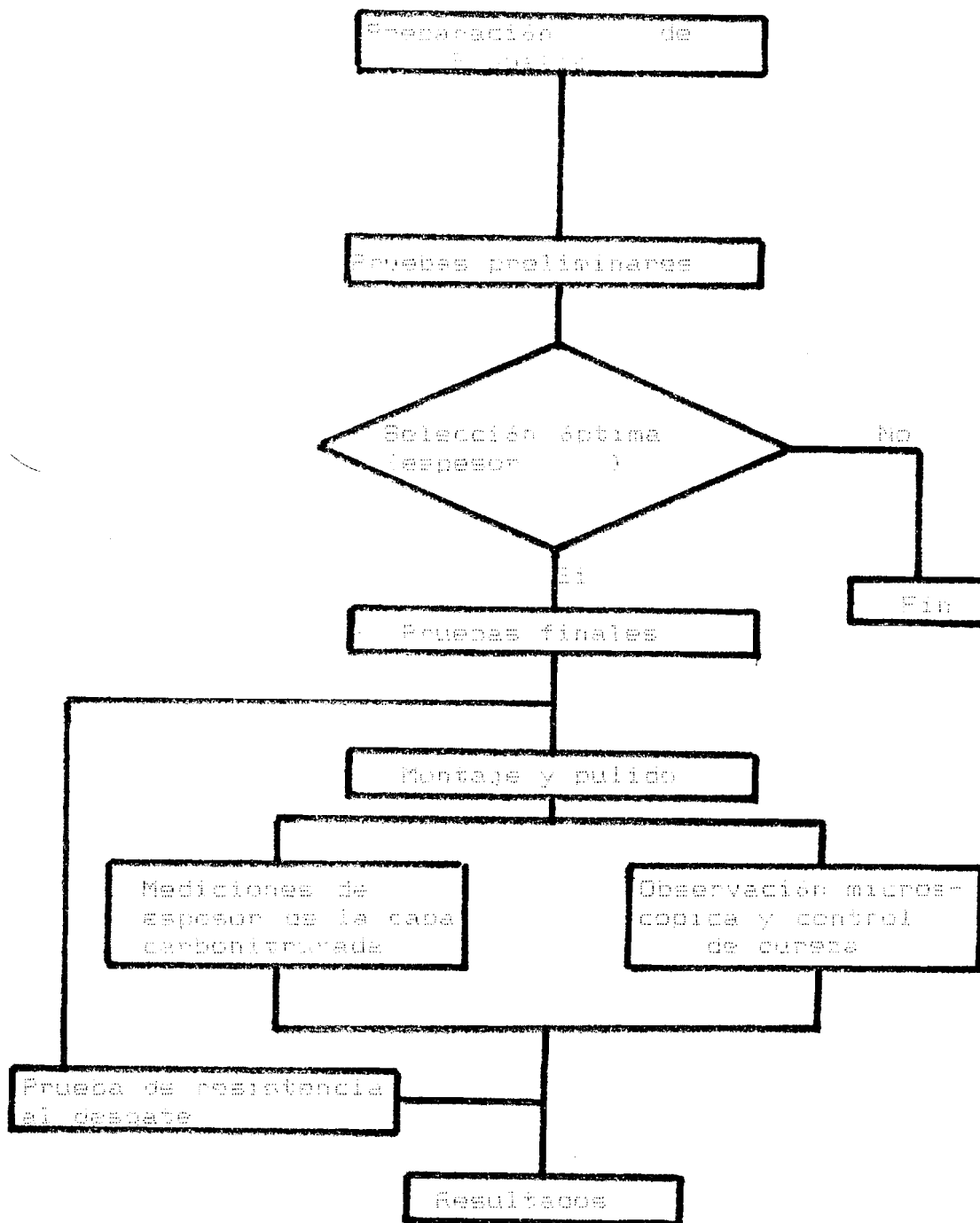


Fig. 3.5: Diagrama de flujo del proceso

PREPARACION DE PROBETAS

Se cortaron muestras del acero tal como se indica en la fig. 3.6. Luego se eliminó la capa de calamina.

Además se pulieron completamente y se lavaron con detergente.

El pulido tiene como fin asegurar una superficie plana y así evitar que se cometan errores al momento de hacer mediciones.

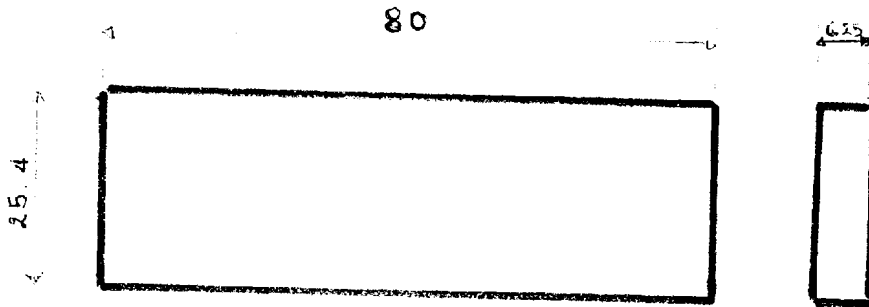


Fig. 3.6: Forma de las probetas.

PRUEBAS PRELIMINARES DE CARBONITRURACION

Estas pruebas tiene como objeto conocer el comportamiento de las atmósferas de carbonitruración al variar el contenido de los constituyentes (NH_3 , C_2H_6), para ello se carbonitruró muestras en distintas situaciones tal como indica la tabla IV.

El cálculo de la atmósfera de carbonitruración depende generalmente del volumen de gases que se pueden inyectar a la cámara del horno. El proceso seguido se resume a continuación:

- Determinación del volumen del horno.

$$V = 0.0229 \text{ m}^3$$

- De la tabla III se determinó el flujo total del gas.

$$q_t = 4.98 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Con la siguiente relación $q = V/t$ se determina el tiempo necesario para ocupar el volumen del horno.

$$t = V/q \quad (3.1)$$

$$t = \frac{0.0229 \text{ m}^3}{4.98 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$t = 0.00459 \text{ h}$$

- Se determina el volumen que ocuparán los gases en la cámara del horno. Por ejemplo, para un flujo de amoniaco igual a $0.1247 \text{ m}^3/\text{h}$

Entonces $q = 0.12494 \text{ m}^3/\text{h}$ de amoniaco disociado

De (3.1) $V = q \cdot t$

Por lo tanto $v = 0.0013 \text{ m}^3$

- Posteriormente se expresa en % los volúmenes calculados en función del volumen de la cámara del horno.

El tiempo de carbonitruración generalmente varia en un rango de 1 hora a 3 h y la temperatura oscila entre 740 y $955 \text{ }^\circ\text{C}$. Pero la selección del tiempo y temperatura de carbonitruración deben estimarse a partir del espesor de la capa carbonitrurada. Por ejemplo:

Según la ecuación (2.4) $s = k \cdot t^{1/2}$

Con $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, de la figura 2.2 se obtiene $k = 0.40$ para $t = 2 \text{ h}$, entonces $s = 0.40 \text{ mm} (2\text{h}) = 0.56 \text{ mm}$.

1.- Encender el generador de atmósferas y el horno hasta las temperaturas de disociación y carbonitruración respectivamente.

La temperatura de disociación recomendada para garantizar

una disociación del amoniaco en un 100% (25% H_2 y 75% N_2) a $671^\circ C$.

3.- Después de obtener las temperaturas deseadas se hace la inyección de una atmosfera inerte (nitrogenada) a la cámara del horno durante cinco minutos.

3.- Ingreso de las probetas.

4.- Inyección de la atmosfera gaseosa.

5.- Salida de las probetas despues del tiempo establecido. Antes se deben cerrar las valvulas que permiten el ingreso de los gases.

6.- Temple de las probetas en aceite.

TABLA IV : CONDICIONES DE CARBONITRURACION PARA LAS PRUEBAS PRELIMINARES.

MUESTRA	T °C	t (min)	Co (%)	
			NH ₃	C ₂ H ₈
1	750	120	15	20
2	750	120	10	15
3	750	120	5	8
4	750	120	10	8
5	750	120	12	8
6	750	120	8	10

Co : Composición

SELECCION DE ATMOSFERAS OPTIMAS DE CARBONITRURACION

En función de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas anteriormente se procedió a seleccionar las atmósferas más apropiadas de carbonitruración.

Esta selección se la hizo en función de los mejores espesores de capa carbonitrurada (ver sección 3.5.1 y 3.5.2).

PRUEBAS FINALES DE CARBONITRURACION

Se carbonitruró varias muestras usando las atmósferas seleccionadas. En la tabla V y VI se muestran las condiciones de carbonitruración usadas en las pruebas finales.

TABLA V : CONDICIONES DE CARBONITRURACION PARA LAS PRUEBAS FINALES.

MUESTRA	T °C	t (min)	Co NH ₃	(%) C ₃ H ₈
I	800	120	5	8
II	800	120	10	8
III				
IV	850	120	10	8
V	800	180	5	8
VI	800	180	10	8

Co : Composición.

TABLA VI : CONDICIONES DE CARBONITRURACION PARA LAS PRUEBAS FINALES.

MUESTRAS /	T (°C)	t (min)	Co (%)		
			NH ₃	C ₂	H ₂
1	750	15	5		8
2	750	30	5		8
3	750	60	5		8
4	800	15	5		8
5	800	30	5		8
6	800	60	5		8

Co: Composición.

MONTAJE Y PULIDO

A todas las muestras carbonitruradas se las cortó transversalmente. Se montó las probetas entre dos placas de mismo acero a las cuales se les puso un cromado duro, luego se las pulió y atacó químicamente con nival al 2%.

MEDICION DEL ESPESOR DE LA CAPA CARBONITRURADA

El espesor de la capa carbonitrurada se lo determinó únicamente con el ocular de un micrómetro. Se tomaron mediciones para todas las probetas.

OBSERVACION MICROSCOPICA Y CONTROL DE DUREZA.

OBSERVACION MICROSCOPICA.— Se realizó en todas las muestras excepto para aquellas que fueron carbonitruradas bajo las condiciones establecidas por la tabla VI.

En el ensayo de dureza se realizaron mediciones de microdureza sobre la capa carbonitrurada a una distancia 0.08 mm de la superficie. Para ello

se utiliza el MICRODUREMETRO que se muestra en la fig. 3.3.

La longitud de la diagonal se mide ópticamente con el ocular de un micrómetro de rosca. Generalmente se utilizan tablas para convertir la impresión medida al número de dureza Knoop (HK). Posteriormente mediante tablas la dureza Knoop se expresa en dureza Rockwell C.

PRUEBA DE RESISTENCIA AL DESGASTE

Se realizó para aquellas muestras carbonitruradas según las condiciones establecidas en la tabla V.

El ensayo consistió en:

- Medir la resistencia al desgaste de una muestra sin tratamiento.
- Medir la resistencia al desgaste de las muestras carbonitruradas.
- Establecer diferencias entre los resultados obtenidos.

En el apéndice D se explica el método seguido para medir la resistencia al desgaste.

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan los valores obtenidos como resultado del trabajo experimental.

3.5.1 ESPESOR DE LA CAPA CARBONITRURADA

TABLA VII : VARIACION DEL ESPESOR DE LA CAPA
CARBONITRURADA EN LAS PRUEBAS
PRELIMINARES.

TEMPERATURA DE ENSAYO : 750 °C

TIEMPO DE ENSAYO : 120 min.

MUESTRAS	ESPESOR (mm)	Co (%)	
		NH ₃	C ₂ H ₆
1	0.03	15	20
2	0.05	10	15
3	0.10	5	0
4	0.15	10	5
5	0.15	5	10
6	0.15	12	5

Co : Composición

TABLA VIII : VARIACION DEL ESPESOR DE LA CAPA
 CARBONITRURADA EN LAS PRUEBAS
 FINALES.

MUESTRAS	ESPESOR (mm)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
I (a)	0.23	120	600
II (b)	0.15	120	600
III (a)	0.24	120	650
IV (a)	0.18	120	650
V (a)	0.25	180	300
VI (b)	0.17	180	600

(a) Composición : 5% NH_3 y 8% C_2H_2

(b) Composición : 10% NH_3 y 8% C_2H_2

TABLA IX : VARIACION DEL ESPESOR DE LA CAPA CARBONITRURADA
EN LAS PRUEBAS FINALES.

COMPOSICION : 5% NH₃ y 3% C₂H₆

MUESTRAS	ESPESOR (mm)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
1	0.01	15	750
2	0.013	30	750
3	0.02	60	750
4	0.015	15	800
5	0.023	30	800
6	0.043	60	800

3.5.2 METALOGRAFIA

À continuaci3n se muestra el comportamiento de capas carbonitruradas en distintas situaciones de carbonitruraci3n .

CARBONITRATACIÓN (AEPDPA)

Temperatura de ensayo: 250 °C

Tiempo de ensayo: 120 min

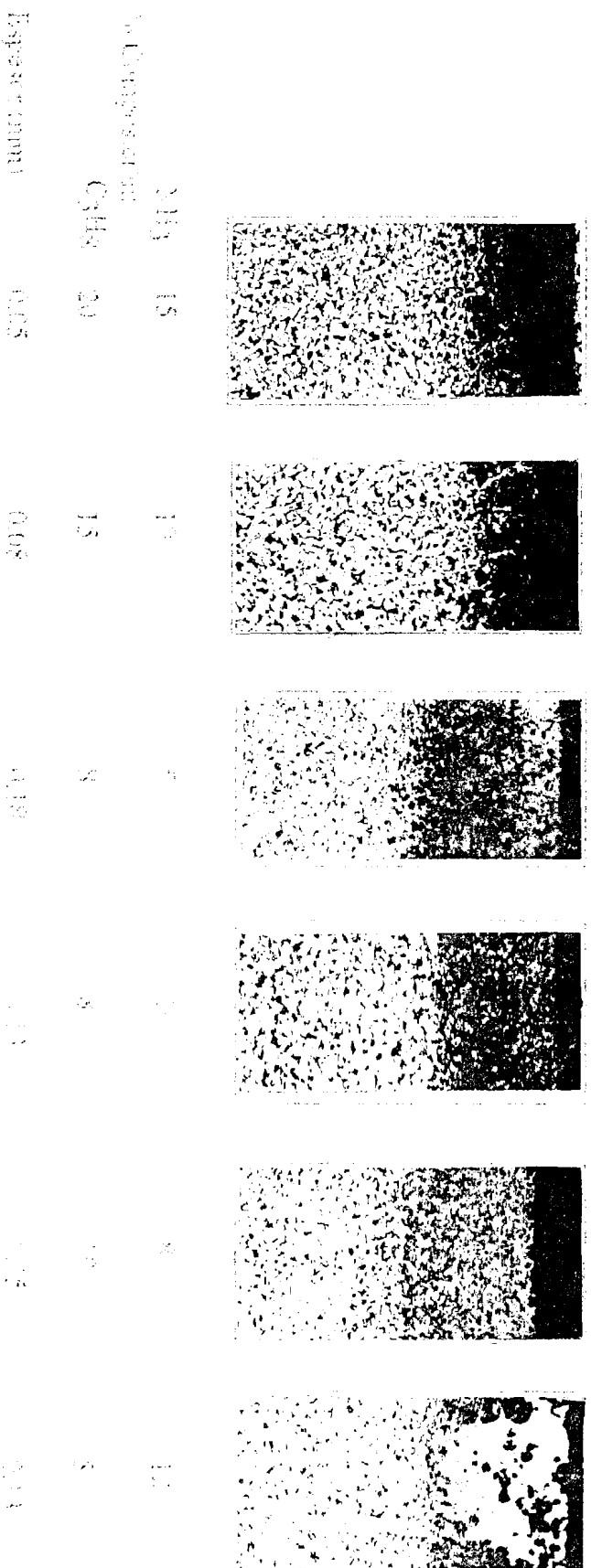
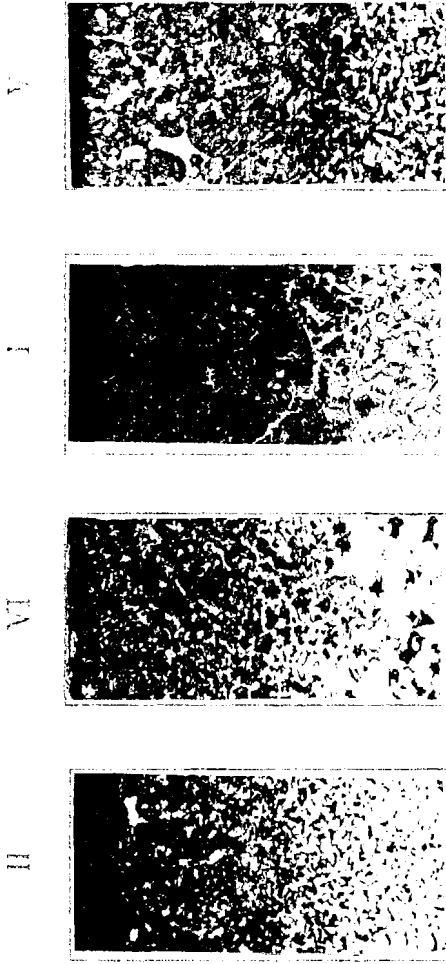


Fig. 3.7. Efectos de los cambios en la estructura sobre el microestructura y el estado de la superficie carbonitrada con un nivel de avance de avance nivel 2^{na}. Avance de 150°C

CARBONITRURACION GASEOSA

Temperatura de ensayo: 800 °C

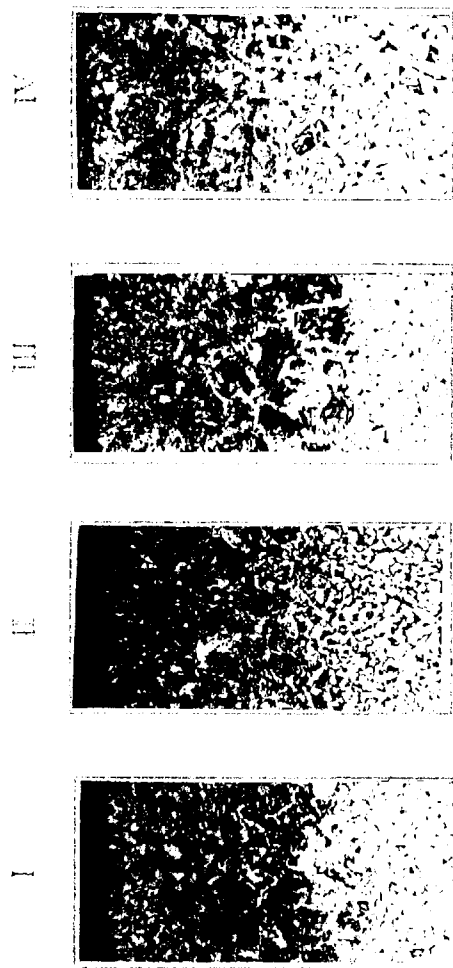


NH_3	10	10	5	5
% Composición				
C_2H_2	8	8	8	8
Tiempo (min)	120	180	120	180
Espesor (mm)	0.15	0.15	0.23	0.25

Fig. 3.8: Influencia del tiempo y composición de la atmósfera sobre la microestructura y el espesor de la capa carbonitrurada. Acero: Aislal 2%, Aumentar: 150X.

CARBONITRILRACION GASEOSA

Tiempo de ensayo: 120 min



NH ₃	5	10	5	10
% Composición:				
C ₂ H ₆	8	8	8	8
Temperatura (°C)	800	800	850	850
Espesor (mm)	0.23	0.15	0.24	0.18

Fig. 3-9. Influencia de la temperatura y composición de la atmósfera sobre la microestructura y el espesor de la capa carbonitrilada.
Ataque: nital 2%. Aumento: 150X

3.5.3 CONTROL DE DUREZA

TABLA X: VARIACION DE LA DUREZA SOBRE LA CAPA
CARBONITRURADA

MUESTRA	DUREZA (HRC)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
I (a)	59.83	120	800
II (b)	62	120	800
III (a)	57	120	850
IV (b)	59.74	120	850
V (a)	61.44	180	800
VI (b)	53	180	800

(a) Composición : 5% NH_3 y 8% C_3H_8

(b) Composición : 10% NH_3 y 8% C_3H_8

3.5.4. PRUEBA DE RESISTENCIA AL DESGASTE

TABLA XI: VARIACION DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE

MUESTRAS	Ps (g)	Pv (mm)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
ST	0.18	22.93		
I (a)	0.04	5.09	120	800
II (b)	0.03	3.82	120	800
III (a)	0.04	5.09	120	850
IV (b)	0.03	3.82	120	850
V (a)	0.02	2.54	180	800
VI (b)	0.75	9.5	180	800

(a) Composición: 5% NH_3 y 8% C_3H_8

(b) Composición: 10% NH_3 y 8% C_3H_8

Ps : Pérdida de peso

Pv : Pérdida de volumen

Los resultados obtenidos permitieron realizar una serie de gráficos, los cuales permiten hacer un análisis más objetivo del proceso.

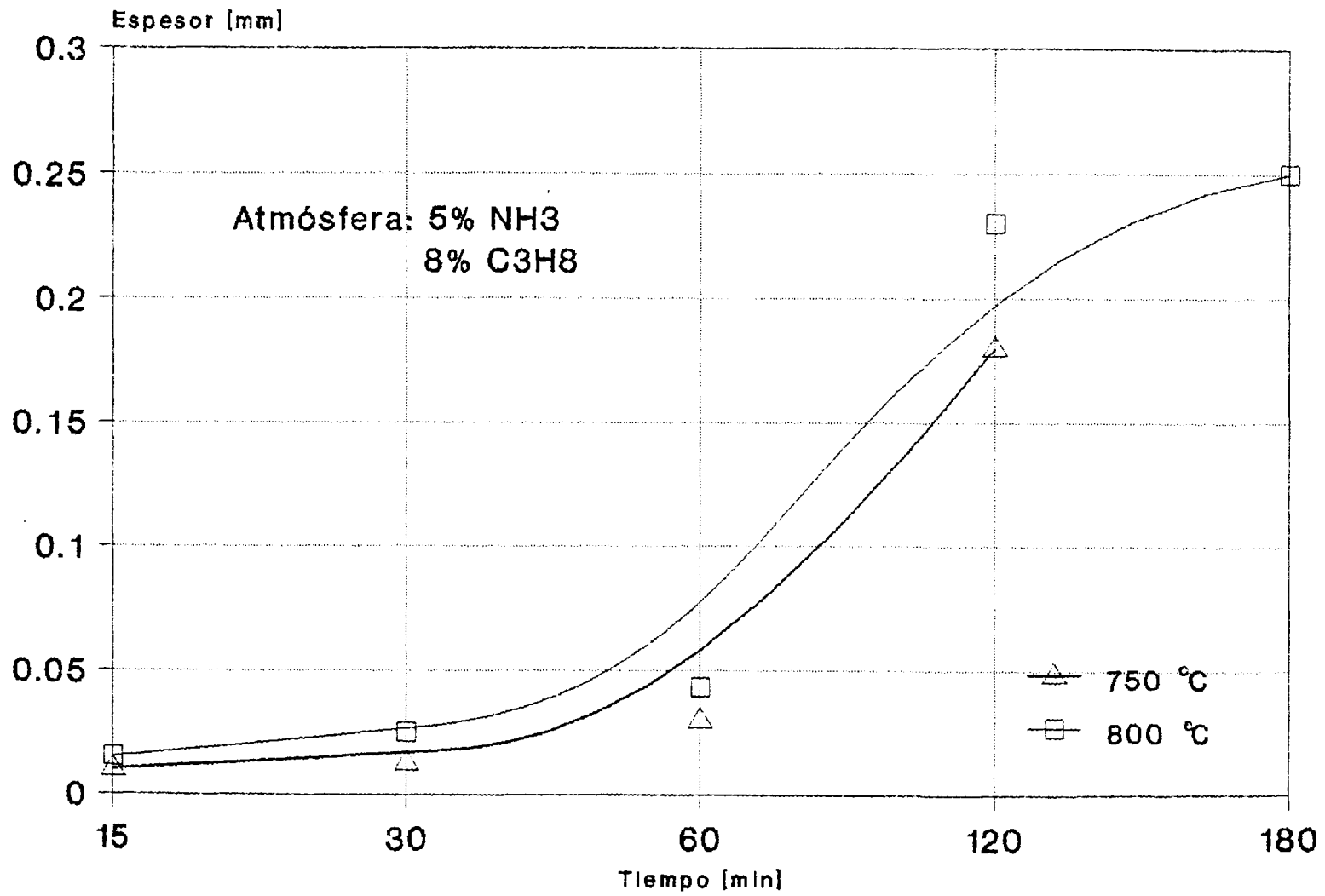


Fig. 3.10: Influencia del tiempo y temperatura sobre el espesor de la capa carbonitridada

"CARBONITRURACION GASEOSA "

TEMPERATURA DE ENSAYO: 500 °C

MUESTRA	COMPOSICION (%)		TIEMPO (min)
	NH ₃	C ₃ H ₈	
I	5	8	120
II	10	8	120
V	5	8	180
VI	10	8	180

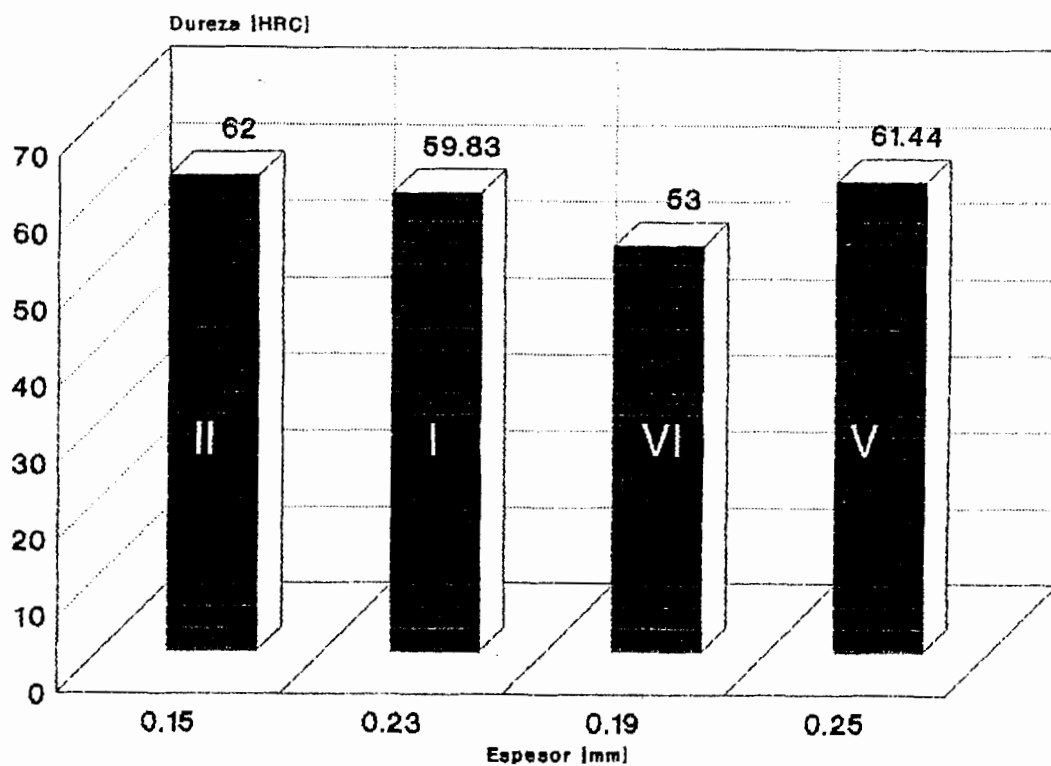


Fig. 3.11: Influencia del tiempo y composición de la atmósfera sobre el espesor y dureza superficial de la capa carbonitrurada.

"CARBONITRURACION GASEOSA "

TIEMPO DE ENSAYO: 120 min

MUESTRA	COMPOSICION (%)		TEMPERATURA (°C)
	NH ₃	C ₃ H ₈	
I	5	8	800
II	10	8	800
III	5	8	850
IV	10	8	850

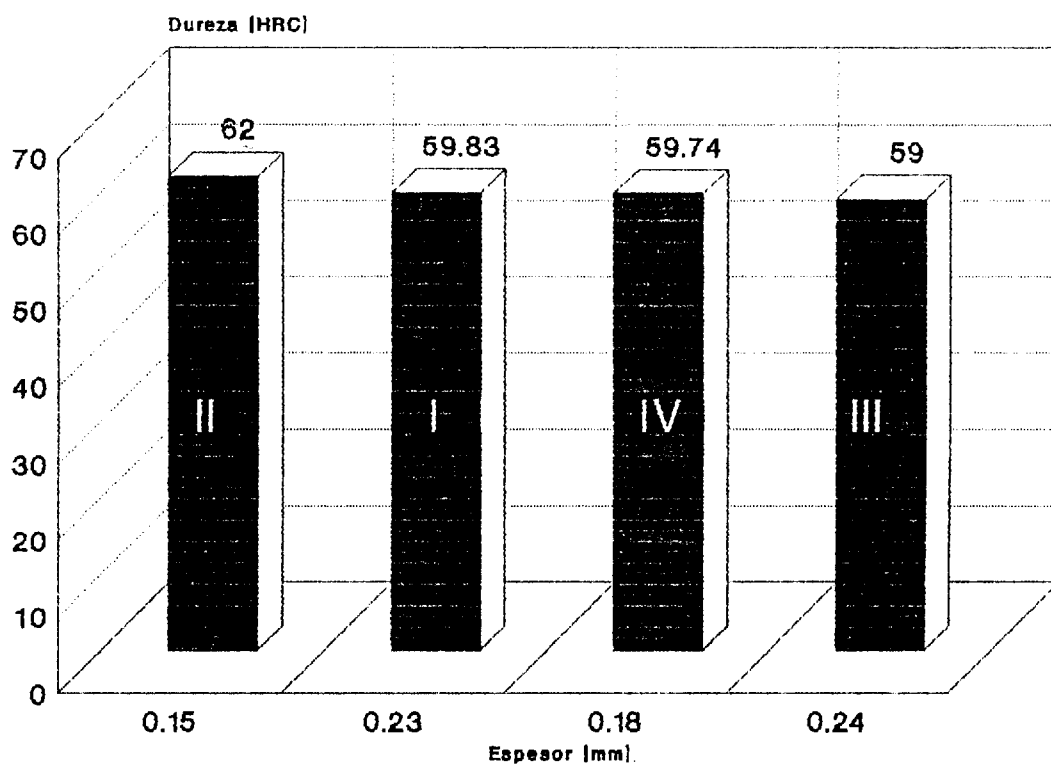


Fig. 3.12: Influencia de la temperatura y composición de la atmósfera sobre el espesor y dureza superficial de la capa carbonitrurada.

MUESTRA	COMPOSICION (%)		TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
	NH ₃	C ₂ H ₆		
ST				
I	5	8	120	800
II	10	8	120	800
III	5	8	120	850
IV	10	8	120	850
V	5	8	180	800
VI	10	8	180	800

ST : Sin Tratamiento

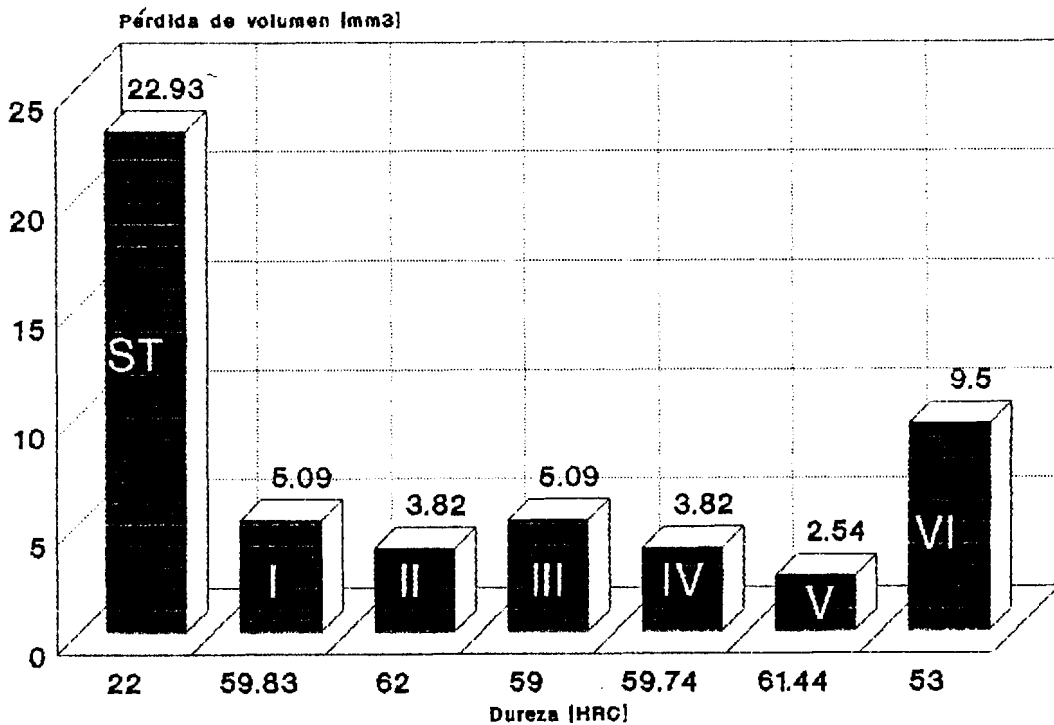


Fig. 3.13: Influencia de las variables del proceso sobre la resistencia al desgaste.

MUESTRA	COMPOSICION (%)		TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
	NH ₃	C ₃ H ₈		
ST				
I	5	8	120	800
II	10	8	120	800
III	5	8	120	850
IV	10	8	120	850
V	5	8	180	800
VI	10	8	180	800

ST : Sin Tratamiento

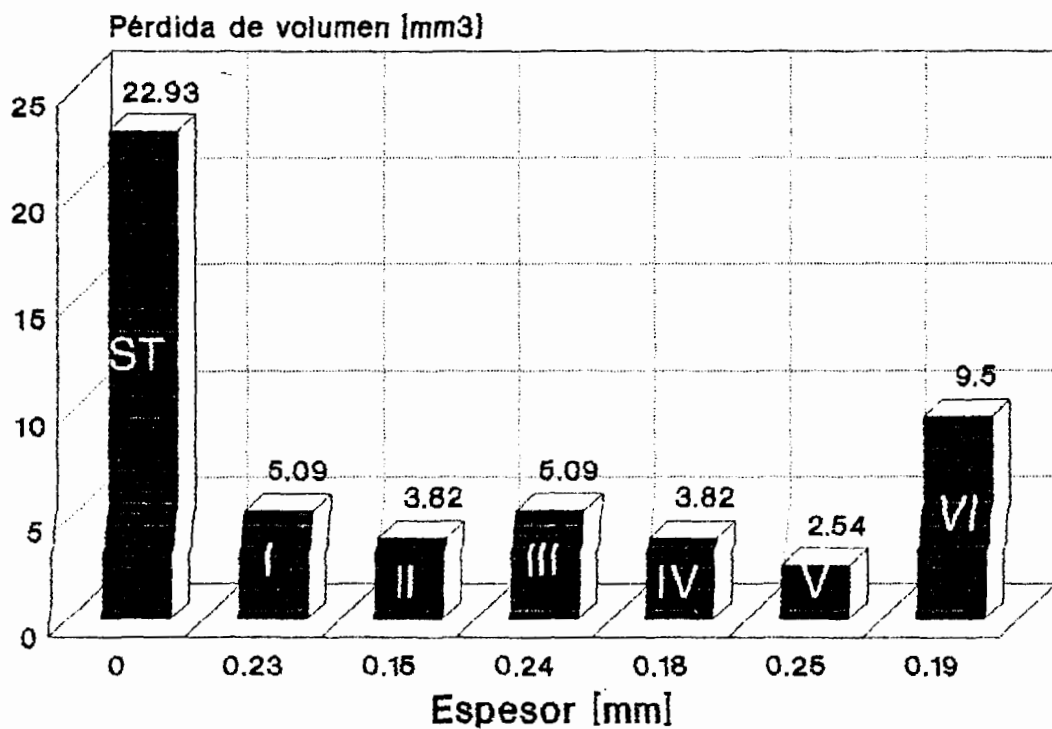


Fig. 3.14: Influencia de las variables del proceso sobre la resistencia al desgaste.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

La fig. 3.7 revela que los mejores espesores de capa carbonitrurada, corresponden para aquellas condiciones dónde el porcentaje de amoníaco varia entre 5 y 10%, manteniendo una atmósfera de propano del 5% al 10% .

Se observa que porcentajes superiores al 10 y 12% de NH_3 y C_3H_8 respectivamente, permitieron obtener espesores de capa muy pequeños (0.05 - 0.08mm), ésto significa que excesivas cantidades de amoníaco y propano no mejoran la difusión de nitrógeno y carbono.

Esto puede ser observado en las diferentes microestructuras presentadas, en dónde vemos que los % mencionados anteriormente generan capas carbonitruradas delgadas y estructuras indeseables como es el caso para la atmósfera compuesta de 12% NH_3 y 8% C_3H_8 .

Además debo mencionar que atmósferas con un porcentaje de propano superior al 10% formaron grandes cantidades de hollín alrededor de las muestras, entonces es lógico suponer que el hollín impide la difusión del carbono y nitrógeno sobre el acero, ésto se comprueba con los resultados obtenidos.

Al analizar la figura 3.8, con el propósito de conocer la influencia de variar el tiempo y composición de la atmósfera sobre el espesor de la capa carbonitrurada se observa:

- Que las probetas I y V tienen un mayor espesor de capa carbonitrurada que II y VI respectivamente. Esto significa que aumentos en el porcentaje de amoníaco disminuye la capacidad de formación de capas carbonitruradas.

- Que la muestra VI y V tienen mejores espesores de capa carbonitrurada que II y I respectivamente. Esto demuestra que a un mayor tiempo de carbonitruración se logra una mejor capa carbonitrurada.

Al comparar los resultados que muestra la figura 3.9, con el objeto de conocer la influencia de la temperatura sobre el espesor de la capa carbonitrurada se observa:

Que las muestras III y IV poseen un mayor espesor de capa carbonitrurada que I y II respectivamente. Esto nos indica que una temperatura mayor de carbonitruración permite lograr mejores capas carbonitruradas.

De los espesores reportados en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9, se procedió a realizar un gráfico de espesor de capa Vs. tiempo (ver figura 3.10). Se observa que conforme se aumenta el tiempo y la temperatura de carbonitruración; se

incrementa el espesor de la capa, debido a una mejor difusión de nitrógeno y carbono en el acero.

Al analizar los resultados mostrados en la fig. 3.11 con el objeto de conocer la influencia del tiempo y composición de la atmósfera sobre la dureza superficial de la capa carbonitrurada se observa:

- Una mayor dureza superficial (a pesar que tiene un menor espesor) en la muestra II que I, nótese que la atmósfera usada en la carbonitruración de la muestra II posee un mayor porcentaje de amoníaco para un mismo % de propano. Esto permite suponer que nitrógeno aumenta la capacidad del acero al temple y que la dureza superficial depende de la forma como se estructuran los átomos de carbono y nitrógeno en la capa carbonitrurada y no del espesor de la misma.
- Que la muestra VI carbonitrurada con mayor porcentaje de amoníaco tiene una menor dureza superficial que V. La razón de este comportamiento se debe a que existe más tiempo para la difusión de nitrógeno, con lo cual aumenta la posibilidad de obtener estructuras indeseables.
- La muestra VI tiene una capa de mayor espesor pero con menor dureza superficial que la muestra II. Esto revela que tiempos mayores de carbonitruración permiten más difusión de carbono y nitrógeno; pero a su vez indican que para

obtener buenas características de temple durante procesos largos de carbonitruración; se debe disminuir el porcentaje de nitrógeno adicionado, ya que la información reportada en la literatura (2) nos indica que el peligro de obtener austenita retenida se eleva con incrementos en el nitrógeno adicionado.

En resumen se puede decir que el nitrógeno aumenta la capacidad del acero al temple, con lo cual se gana mayor dureza superficial pero siempre y cuando no se exagere en el suministro del mismo, ya que excesivas cantidades generan estructuras indeseables.

De la figura 3.12 se observa que, la dureza superficial aumenta con incrementos en el porcentaje de amoníaco y disminuye con aumentos de temperatura. Esto indica que incrementos de temperatura permiten una mayor difusión de carbono en el acero, es decir que existe una mayor energía de activación lo que hace que los átomos de carbono se difundan más fácilmente por lo tanto, existen más dificultad a la difusión del nitrógeno con lo cual se disminuye la capacidad del acero al temple.

Por los valores de dureza reportados (más de 56HRC) en los resultados se puede decir que las microestructuras obtenidas en las figuras 3.6 y 3.9 corresponden a estructuras netamente martensíticas.

De la observación a los resultados obtenidos en las figuras 3.13 y 3.14, se determina que:

- La resistencia al desgaste de un acero carbonitrurado es mayor a la de un acero sin tratamiento.

- En forma general los gráficos revelan que la resistencia al desgaste depende fundamentalmente de la dureza superficial alcanzada y en cierta medida del espesor de capa logrado. \uparrow Dureza + \uparrow Espesor de capa = \uparrow Resistencia al desgaste.

- La muestra VI revela una menor resistencia al desgaste que las otras probetas carbonitruradas, esto se debe a la baja dureza superficial que posee.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

a) El tratamiento térmico de carbonitruración gaseosa permite conseguir elevada dureza y resistencia superficial.

b) Conforme aumenta el tiempo y la temperatura de carbunitruración se incrementa el espesor de la capa

c) La composición química de la capa carbonitrurada depende del tiempo, temperatura, del potencial de carbono y nitrógeno reinante en la cámara del horno.

d) Carbonitrurar con cantidades superiores al 10% de amoníaco y propano no es recomendable. Por qué:

-Elevadas cantidades de amoníaco generan estructuras indeseables.

-Excesivas cantidades de propano producen hollín el cual impide la difusión del carbono y nitrógeno dando como resultado capas carbonitruradas delgadas.

e) Atmósferas que varían entre 5 y 10% de amoníaco con un porcentaje de propano entre 5 y 10% pueden utilizarse con temperaturas bajas.

f) Con tiempos largos y temperaturas altas de carbonitruración, una atmósfera constituida por un 5% de amoníaco y 8% de propano, es suficiente para lograr considerable dureza superficial y resistencia al desgaste.

g) La presencia combinada de nitrógeno con carbón aumenta la facilidad de endurecimiento del acero. Por qué el nitrógeno disminuye la temperatura crítica de transformación.

h) Debido a que el proceso de carbonitruración es altamente tóxico, inflamable y explosivo, siempre es indispensable considerar lo estipulado en la sección 2.7.

A P E N D I C E S

APENDICE A

HIDROCARBUROS LIQUIDOS	RANGO DE EVAPORIZACION (°C)
------------------------	---------------------------------

Metanol (Alcohol Metilico)	64 - 65
Etanol (Alcohol Etilico)	78
Propanol	97
1 Butanol	116 - 119
1 Pentanol	112 - 140
1 Hexanol	156 - 162

APENDICE B

ABERTURA DE LA VALVULA (Diámetro de la carátula)	FLUJO DE C ₃ H ₈ (m ³ /h)
1/8	0.3984
1/4	0.4989
3/8	0.7484
1/2	0.9978

APENDICE C

FLUJO

GAS	(m ³ /h)	(pie ³ /h)	% VOLUMEN
C ₃ H ₈	0.3984	14.1	8
	0.4989	17.6	10
	0.7484	26.4	15
	0.9978	35.2	20
N ⁻ H ₃	0.1247	4.5	5
	0.1992	7	8
	0.2495	8.8	10
	0.2993	11	12
	0.3742	13.2	15

APENDICE D

PROCESO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE (NORMA ASTM 685).

Parámetros del ensayo:

- Carga: 30 lb.
- Flujo de arena: 340 g/min
- Revoluciones de la rueda: 210 rev/min
- Tiempo de prueba aproximado: 30 seg
- Arena de sílice AFS 50-70

- 1.- Determinar el peso de la probeta a ensayarse.
- 2.- Ubicar la muestra en el portaprobetas y someterla al desgaste.
- 3.- Luego del ensayo pesar nuevamente la probeta.
- 4.- Establecer la pérdida de peso que experimentó la muestra.

P_s = peso inicial - peso final

P_s = pérdida de peso

5.- Establecer la pérdida de volumen (10).

$$P_v = \text{pérdida de volumen (mm}^3\text{)}$$

$$P_v = \frac{\text{pérdida de peso (Kg)}}{\rho}$$

$$\rho_{\text{acero}} = \text{densidad del acero} = 7.85 \times 10^3 \text{ Kg/mm}^3$$

6.- Cuanto menor sea la pérdida de volumen, mayor es la resistencia al desgaste.

BIBLIOGRAFIA

1. BOYER HOWARD E., Case Hardening of Steel, American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1987.
2. ASM COMMITTEE ON GAS CARBURIZING, Carburizing and carbonitriding, American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1977.
3. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals Handbook 9TH Edition vol. 4 Heat Treating, American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1961.
4. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals Handbook 8TH Edition vol. 2 Heat Treating Cleaning and Finishing, American Society for Metals, Metals Park Ohio, 1961.
5. Mr, R.G. BOWES, Technical and Economic Aspects of Nitrogen- Based Controlled Atmospheres for heat Treatment, The University of Aston in Birmingham, 1981.
6. J. PASCUAL, Técnica y Práctica del tratamiento Térmico de los Metales Ferreos, Editorial Blume, España 1970.
7. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, 7TH Edition Vol. 7, Metals Park Ohio, 1973.

8. VAN VLACK., Materiales para Ingenieria B.E.C.S.A.
Mc. Graw- Hill, México 1975.

9. AVNER., Introduccion a la Metalurgia Fisica (2da
Edicion, Mc. Graw- Hill, México 1975.

10.- ASTM., Standard Practices and Procedures for Steels,
ASTM, Ohio, 1985

