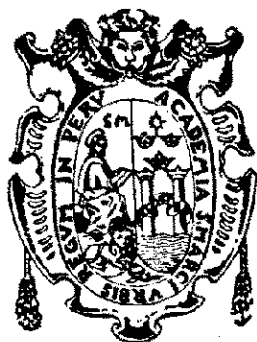


Universidad Nacional Mayor de San Marcos

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA METALURGICA



TESIS

"NITRURACION EN BAÑO DE SALES"

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO METALURGICO

PRESENTADA POR:

JULIA MARILU CALDERON CELIS

LIMA - PERU

1984

AGRADECIMIENTO

A las Cías. ACEROS BOEHLER DEL PERU S.A. y BOEHLER INDUSTRIAL S.A., por haber auspiciado el presente estudio; en especial al Ingeniero Javier Mendoza del Solar, a cuyo valioso asesoramiento se debe su exitosa culminación.

Al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en las personas de los Ingenieros Gustavo Vela Prado y Edgardo Tabuchi y los Químicos Gladys Yong de Banchero y Carmen Díaz de Malaspina por su colaboración en la corrección y asesoramiento de este trabajo.

A las Cías. Metalúrgica Peruana S.A. y Chrysler Perú S.A. y a todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

INDICE

		<u>Pag.</u>
I	RESUMEN	5
II	INTRODUCCION	
	2.1 Generalidades	6
	2.2 Objetivos	7
	2.3 Importancia del Estudio	8
III	ESTUDIO DE LA NITRURACION	
	3.1 Historia de la Nitruración	9
	3.2 Diagrama de Fases Fe-N	10
	3.3 Influencia de los elementos de aleación en el Proceso.	13
	3.4 Propiedades que adquieren las piezas Nitruradas.	14
	3.5 Proyecciones del Proceso.	17
IV	FUNDAMENTOS TEORICOS	
	4.1 Cementación y Temple	20
	4.1.1 Reacciones	23
	4.2 Nitruración	25
	4.2.1 Teoría de la Difusión	26
	4.2.2 Acción Nitrurante	35
	4.2.3 Instalaciones	37
	4.2.4 Descripción del Proceso	38
	4.2.5 Control del Baño	39
	4.2.6 Control de las Piezas	40
V	TECNOLOGIA DEL PROCESO	
	5.2 Ensayos e Investigaciones	42
	5.2 Preparación de las Muestras	42
	5.3 Pruebas Metalúrgicas Especiales	42
	5.3.1 Cementación	42
	5.3.2 Temple y Revenido	42
	5.3.3 Nitruración	47
	5.3.4 Ensayo de Dureza	47
	5.3.5 Descripción de los Gráficos	49
	5.4 Análisis Metalográfico	51
VI	CONCLUSIONES	62
VII	RECOMENDACIONES	66
VIII	BIBLIOGRAFIA	66

I RESUMEN

En la presente tesis, se exponen las observaciones obtenidas en el estudio experimental de la Nitruración, sobre varios materiales ferrosos. Al practicar la nitruración en diferentes condiciones, se ha obtenido información útil sobre la influencia real de los factores que intervienen en el proceso y el estado del material a nitrurar.

Atención especial, se ha prestado a la determinación de las durezas en las capas nitruradas utilizando una pequeña carga de 100 gr.

La Nitruración de algunos aceros con pequeñas cantidades de elementos endurecedores (Cr, Mn, V y Al), nos ilustra sobre el incremento de dureza en la superficie y la cantidad presente de éstos.

Se ha realizado un estudio sistemático de un acero en especial de nitruración, con el fin de apreciar la influencia del tratamiento de nitruración sobre la dureza, profundidad de la capa de compuestos y la profundidad total, para esto ha sido necesario: Realizar análisis químico, ensayos de dureza y análisis metalográfico.

II INTRODUCCION

2.1 Generalidades:

Tanto la nitruración, como la carburación, se han convertido en los procesos de difusión, con más aplicación en el tratamiento termquímico de los metales férricos.

El proceso de nitruración en baño de sales, introducido en la industria desde hace más de 25 años, cumple todas las exigencias, tanto en el aspecto técnico como en lo económico, además tiene un vasto campo de aplicación en continuo crecimiento en el tratamiento de partes y piezas de todo tipo.

Por medio de éste tratamiento, se pueden conseguir capas superficiales de dureza excepcionalmente elevada, directamente y sin necesidad de un tratamiento térmico posterior (temple y revenido) como exige la cementación.

El proceso Tenifer ha sido desarrollado en el Instituto Experimental DURFERRIT de la DEGUSSA, Frankfurt/Main y su aplicabilidad industrial ha sido consagrada química, metalográfica y técnicamente.

Se trata de un proceso de nitruración que se efectúa en un baño salino y aireado con una composición química determinada cuyo crisol es, o bien revestido internamente con Titanio y / o construido enteramente del mismo.

Durante los primeros años de desarrollo de este novedoso método de nitruración, se empleó con una serie de publicaciones, generalmente la denominación "Nitruración Blanda" muy pronto se comprobó que esta denominación alude en forma imperfecta a los resultados obtenidos, pues los aceros aleados acusan muy notables aumentos de dureza y dicha denominación no expresa de ninguna manera, la influencia de este procedimiento sobre el mejoramiento de la resistencia a la fatiga.

Por consiguiente, este proceso se ha denominado Tenifer, designación derivada de Tenax (tenáz, resistente), Nitrogenium (Nitrógeno) y Ferrum (Hierro). En países de predominante habla inglesa, la denominación es Tufftride. En el proceso de Nitruración con baño de sales (TENIFER), existen , condiciones de transmisión de calor por convección muy uniformes y a la vez una reacción muy rápida y homogénea con las sustancias que ceden Nitrógeno.

Además los baños de sales en general, tienen comparación con la atmósfera gaseosa, debido a su elevada densidad, un elevado potencial de carbono y Nitrógeno, variando así muy lentamente su composición química y con ello su efecto.

El estudio realizado, se basa fundamentalmente en el tratamiento termoquímico de nitruración en baño de sales, según el proceso Tenifer, el que está regido por la segunda Ley de Fick, acá se difunde nitrógeno que es generado por la descomposición del cianato mediante aire; en carbonato, nitrógeno y carbono, estos dos últimos son absorbidos por el acero y el carbonato se convierte nuevamente en cianato, mediante la adición de un compuesto orgánico de forma plástica.

2.2 Exposición de Motivos:

El estudio de los aceros de temple, cementación, nitruración y trafileado, se ha llevado a cabo empleando el tratamiento de nitruración en Baño de sales, que va a permitir obtener una capa de compuestos y difusión respectivamente.

El objetivo del presente trabajo, es el de determinar experimentalmente la máxima dureza superficial y el espesor de la capa de compuestos a un determinado tiempo.

Creímos necesario realizar dicho estudio, por lo que no existen en nuestro medio cuadros de durezas respecto a tiempos de nitruración en determinadas condiciones de temperatura, composición química del baño y del acero.

2.3 Importancia del Estudio:

El presente estudio, permite demostrar que es posible la nitruración en todo tipo de aceros .

No obstante, es necesario mencionar que este trabajo, se refiere a un tipo de aceros en especial DIN 34 Cr Al Mo5, que considero , será un patrón para el resto de aceros, cuando nos referimos a Nitruración.

Por otro lado, se ha logrado obtener curvas de durezas en función al tiempo de inmersión en el horno, para siete aceros diferentes, elegidos convenientemente.

III ESTUDIO DE LA NITRURACION

3.1 Historia de la Nitruración:

La influencia del Nitrógeno sobre el hierro y los aceros, fué descubierta por Frey hacia el año 1861, cuando experimentaba la acción del amoníaco sobre piezas de acero calentadas a elevadas temperaturas¹.

A pesar del gran interés que parecía tener el proceso, pasaron muchos años sin que este método se pudiera aplicar industrialmente con éxito, debido a la fragilidad con que quedaba la capa superficial dura de los aceros nitrurados.

En 1905, el Francés Hjalmar Braune, anunció que en sus trabajos había descubierto la existencia de un eutectoide formado por hierro y nitruro de hierro Fe_4N , en las capas frágiles de los aceros nitrurados que era parecido a la perlita. A este eutectoide se le llamó Braunita en recuerdo a su descubridor.

Después de terminada la primera guerra mundial europea, en el año 1923, el Dr. Fry, de los laboratorios de la Casa Krupp de Essen, dió a conocer un nuevo método de endurecimiento superficial de los aceros, que proporcionaba mayor dureza que el temple; dicho método consiste en la absorción del nitrógeno en la superficie del material ferroso, dando lugar a una disolución sólida del compuesto Fe_4N , que le comunica una gran dureza y buena adherencia.

Además de esto, descubrió que el problema de la fragilidad de la capa exterior de las piezas nitruradas, podría ser resuelto con el empleo de una temperatura de nitruración relativamente baja (unos 500°C aprox) y con el uso de aceros aleados con aluminio, cromo y molibdeno, en lugar de aceros ordinarios al carbono.

Si se realiza el proceso a temperaturas muy próximas a 500°C , no aparece Braunita en la capa superficial, como ocurre cuando el tratamiento se realiza a temperaturas elevadas, como normalmente se venía haciendo hasta que Fry realizó sus investigaciones. Estudiando con la ayuda del microscopio la capa periférica de las piezas nitruradas, se ve que en general, está formada por dos capas de aspecto diferente: Una exterior blanca, muy delgada y muy frágil y otra inferior de mayor espesor, oscura que es la verdaderamente importante.

Se ha comprobado que esta última capa, está formada por nitruros de elementos aleados y en cambio en la exterior, además de nitruros aleados, aparece también el nitruro de hierro.

3.2 Diagrama de Fases Fe-N:

En el diagrama Hierro-Nitrógeno (Fig.1) señalan los principales constituyentes que pueden aparecer².

Preparado inicialmente por Fry y corregido luego por Eisenhut, Kaupp y Cohrer, se señalan las zonas de los constituyentes formados por el hierro y el nitrógeno.

Analizándolo, podemos distinguir dos partes, una de contenido bajo en nitrógeno (inferior al 5.7%) y otra con una cantidad superior a ésta.

El Nitrógeno se disuelve en el hierro alfa, formando una solución sólida Fe-N, cuyo contenido máximo de nitrógeno en la ferrita es de 0.11%. Esta solución saturada, no visible al microscopio forma un eutectoide a 590°C , del 2.35% N, denominada Braunita.

El mayor interés del diagrama Fe-N, se centra en la presencia de los diferentes nitruros de hierro que se puedan formar, dando origen a las siguientes fases:

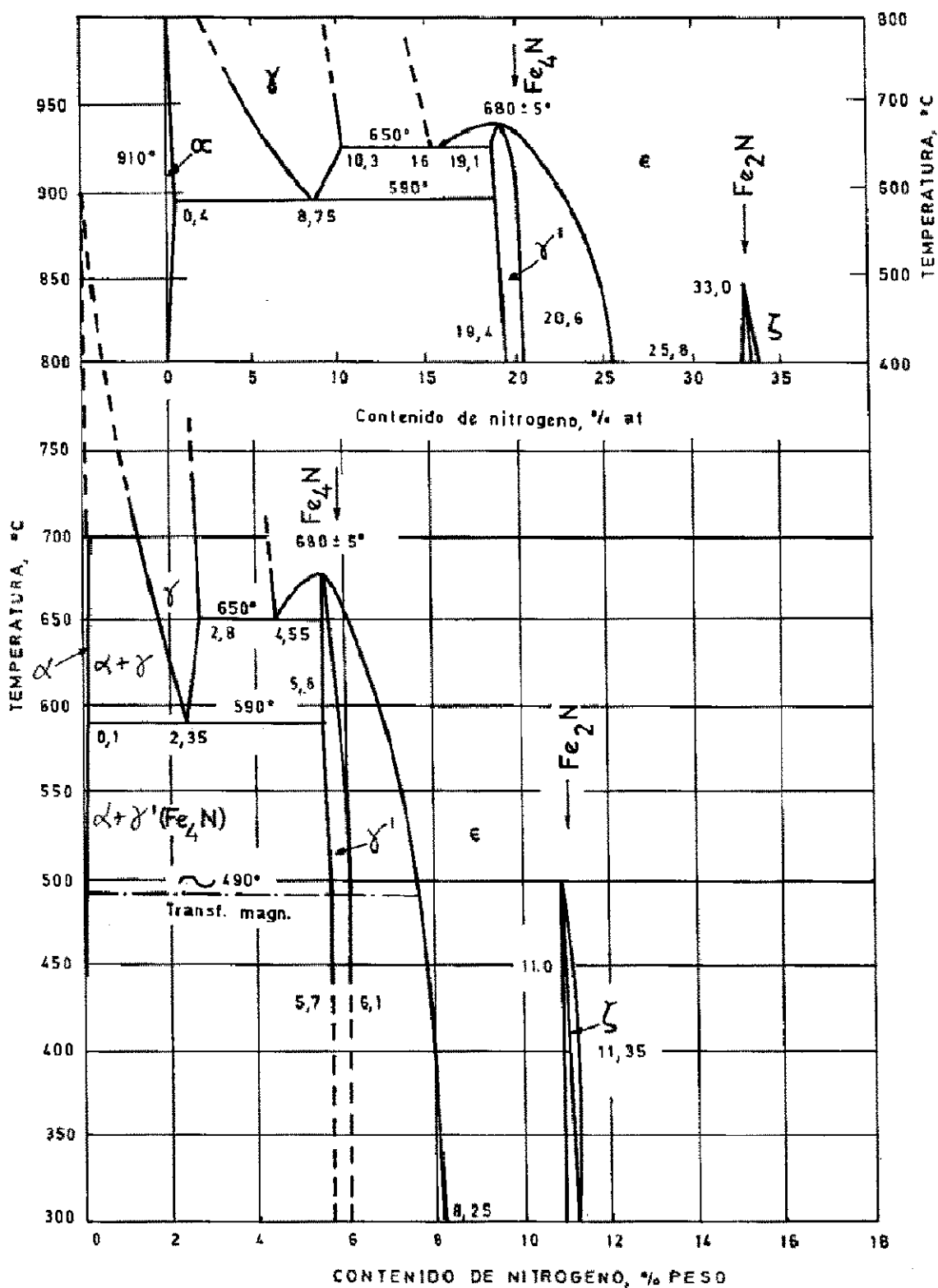


Figura 1
DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO-NITROGENO

- Nitruro de Fe_4N

Que cristaliza en el sistema cúbico de cara centrada (FCC), $a = 3.79 \text{ \AA}$, se caracteriza por una estructura fina y acicular, con un contenido de 5.69 % N, que es una mezcla de Fe alfa + Eutectoide ($N = 0.11 + 5.58$).

Este nitruro no es frágil y se forma por precipitación en enfriamientos muy lentos o revenidos a 300°C , distinguiéndose metalográficamente en la zona de difusión, con las clásicas agujas de nitruros.

La cantidad de precipitados Fe_4N , es mayor en los procesos de nitruración en sales, que en la nitruración gaseosa.

- Nitruro Fe_2N

De gran fragilidad y que es el principal constituyente de la "Capa Blanca" que puede formarse en la nitruración gaseosa. Este nitruro no está presente en la nitruración en sales, debido a que el nitrógeno difuso a través de los cianatos, no alcanza porcentajes tan elevados para formar dicha fase ($N = 11.41$).

- Nitruro $\epsilon\text{-FeN}$

No es frágil, cristaliza en el sistema exagonal compacto, manteniéndose homogéneo desde 4.35 a 11% N; aparece en la zona de compuestos de las piezas nitruradas en baño de sales.

3.3 Influencia de los Elementos de Aleación en el Proceso de Nitruración³:

Si bien es cierto que cualquier tipo de acero se puede nitrurar, no es menos cierto que los elementos de aleación en el acero juegan un papel muy importante dentro del proceso de nitruración.

En la fabricación de piezas para nitrurar se emplean aceros con porcentajes de carbono variables de 0.20 a 0.60% C, aleados con aluminio, cromo, molibdeno y vanadio.

Carbono:

El contenido de carbono de todos estos aceros no influye en la dureza, ni en la profundidad de la capa nitrurada, utilizándose diversos porcentajes de acuerdo con las características mecánicas que se quieren obtener en el núcleo.

Hay que evitar en las piezas descarburizaciones superficiales, eliminando por mecanizado las que hubiera antes de la nitruración, porque en las zonas donde el porcentaje de carbono es muy bajo, se forman capas con nitruros de hierro que son muy frágiles y pueden ocasionar el desprendimiento de las capas superficiales.

El Molibdeno:

El Molibdeno aumenta la dureza de la capa exterior, mejora la tenacidad del núcleo y evita la fragilidad de Krupp, que suelen presentar los aceros sin molibdeno al permanecer durante mucho tiempo a temperaturas de 580°C esto es el caso de que el acero haya sido previamente templado y revenido.

El Nitrógeno:

El nitrógeno incrementa la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia mecánica en caliente, la dureza, la templabilidad, la resistencia al desgaste, la fragilidad, la tendencia a la segregación, la sensibilidad al envejecimiento y a la corrosión.

En la nitruración en baño de sales, es el elemento principal que proviene de la descomposición del cianato mediante aire, este elemento es difundido en el acero en condiciones adecuadas de temperatura, tiempo, composición química del baño y del acero.

3.4 Propiedades que adquieren las Piezas Nitruradas⁴:

Con el tratamiento TENIFER, varían solamente las propiedades de los bordes, por lo que si por motivo de elevado esfuerzo de la pieza, fuera precisa una mayor resistencia en el núcleo, se someterá la misma a un temple por cementación, se emplean con frecuencia aceros aleados y no porque fuera necesaria la resistencia del núcleo con motivo del esfuerzo, sino que, solamente debido a la pequeña deformación por la posibilidad de temple de aceros aleados en baño caliente o en aceite. Con el empleo del Proceso TENIFER para tales piezas, se pueden sustituir las mismas con aceros no aleados, influyendo estos favorablemente en la configuración del precio de la pieza. Las propiedades más notables de las piezas nitruradas en el baño de sales son:

- Dureza:

Las durezas superficiales que se obtienen son muy elevadas, debido a que durante el proceso de nitruración se forman gran cantidad de partículas sub-microscópicas (nitruros) que precipitan en el seno de la ferrita originando un bloqueo en casi todos los planos de deslizamiento, lo que da origen a un aumento de dureza.

El Aluminio:

El aluminio se usa como desoxidante y afinador de grano en el proceso de fabricación. Estrecha la región gamma, por lo que los aceros con más del 1.0% de Al., son ferríticos, si el contenido de carbono es pequeño.

El aluminio incrementa la resistencia a la formación de cascarilla, la resistencia a la corrosión y la inestabilidad al envejecimiento.

Por su tendencia a la formación de nitruros, se le alea en proporciones de hasta el 1.3% a los aceros para nitrurar. Este elemento de aleación es el más importante cuando se quieren obtener las máximas durezas, pero debe ir acompañado de otros elementos para evitar que las capas nitruradas resulten demasiado frágiles.

El Cromo:

El cromo es un intenso formador de carburos y estrecha la región gamma. Cuando se añade para incrementar la resistencia a la corrosión, se debe disolver totalmente en la matriz y no debe formar carburo alguno.

El Cromo aminora en proporción importante, la velocidad crítica de enfriamiento para el temple, por lo que los aceros que contienen más del 12% de Cr, templan incluso por enfriamiento al aire.

Este elemento, incrementa la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia mecánica en caliente, la dureza, la templabilidad, la resistencia a la fatiga, la resistencia al desgaste, la tenacidad, la resistencia al calor, la resistencia a la corrosión, la formación de cascarilla, a la remanencia y a la fuerza coercitiva.

Por las mejoras que produce el acero, se le emplea en los aceros para cementar, templar-revenir y para nitrurar, por ser altamente favorecedor de la formación de nitruros.

- Principio de Engrane:

El tan temido engrane que suele producirse en casi todos los metales que deslizan entre sí, muy especialmente en aceros y en chapas de aceros, queda totalmente eliminado con la zona de compuestos. Esta seguridad anti-engrane, es de especial importancia en la construcción del herramental para la conformación de los metales sin arranque de viruta.

- Resistencia al desgaste y deslizamiento:

Esta característica, le da la zona de compuestos que está constituida por un compuesto no metálico.

- Resistencia a la fatiga:

Los aceros nitrurados resisten a una flexión alternativa debido a la formación de una segunda capa, que es la de difusión, esta es más resistente y más dura que la zona de compuestos y su espesor está en función al tipo de acero.

- Resistencia a la corrosión:

Otra propiedad que le da a la nitruración en baño de sales, es la mayor resistencia a la acción corrosiva del agua dulce, agua salada, vapor o atmósfera húmeda.

- Ausencia de deformaciones:

En este tratamiento no hay deformación alguna debido a la baja temperatura de trabajo.

- Mejor retención de dureza a elevadas temperaturas:

Las capas de nitruración conservan la dureza hasta los 600°C, lo que no se consigue con otros procedimientos de endurecimiento de la capa periférica. Esta propiedad es muy importante para elementos de máquinas en los que pueden presentarse sobrecalentamientos accidentales por falta de lubricación. En este caso, si el material está cementado, al disminuir la dureza de una pieza, puede agarrotarse el mecanismo y en cambio no ocurrir nada si el acero está nitrurado.

3.5 Proyecciones del Proceso de Nitruración⁵:

El proceso TENIFER, se caracteriza especialmente por sus múltiples posibilidades de aplicación y es en virtud a la formación de la zona de compuestos y difusión en todo tipo de aceros y fundiciones, en condiciones adecuadas. A continuación, se mencionan algunas aplicaciones prácticas.:

- Cigüeñales:

Con este tratamiento aplicado en aceros y fundiciones se ha logrado incrementar notablemente la resistencia a la fatiga. La deformación debida a la nitruración, es menor en los cigüeñales de fundición que en los de acero, de forma que los cigüeñales fundidos pueden ser empleados sin un enderezamiento posterior.

- Arboles de levas y balancines:

Son elementos que presentan sollicitaciones de desgaste y formación de pitting, con el tratamiento Tenifer en el acero CK 45, se ha logrado disminuir estas deficiencias.

- Engranaje de Distribución⁶:

Aumenta su resistencia al rodamiento y resistencia a la flexión del pie de diente.

- Válvulas de Escape:

Son piezas esenciales en el motor, de ahí la necesidad de darle un adecuado tratamiento teniendo en cuenta el trabajo que realizan.

La nitruración en baño de sales, se debe realizar sobre la pieza bonificada previamente, ya que este tipo de piezas, está sujeta a presiones y choques, desgaste y corrosión, que es provocada por la acción de los gases procedentes de la combustión.

- Coronas de Arranque:

Fabricadas con material SAE 1035, estas piezas nitruradas no sólo muestran una buena resistencia al desgaste, sino que, además soportan mayores solicitaciones de presión y choque.

- Discos de Embrague:

Se nitruran sobre material bonificado, con este tratamiento, no sólo se consigue aumentar la resistencia al desgaste de los discos, sino un mejor acoplamiento elástico de los mismos.

- Brazo de Dirección:

Adquiere mayor resistencia a la fatiga.

- Tambor de Pistón:

Mejor resistencia al desgaste, se elimina el engrane.

- Engranaje para Bomba de Aceite:

Fabricado de un acero SAE 1015, y nitrurado; se economiza costos de fabricación y se consigue una buena resistencia al desgaste y mejor resistencia a la corrosión.

- Herramientas de Acero Rápido:

El tratamiento de las herramientas para la mecanización con arranque de virutas ha sido modificado a tenor del avance tecnológico del proceso de nitruración en baño de sales. En el acero rápido, debido a la gran proporción de elementos aleantes que favorecen la formación de nitruros, se ha logrado aumentos de dureza superficial con cortas duraciones de inmersión de las herramientas en un baño nitrurante, esto para evitar la fragilidad en las aristas cortantes, originada por la elevada porción de elementos de aleación.

- Troqueles y Matrices para embutir y punzonar⁷:

En este tipo de piezas, se presentan un proceso abrasivo en la chapa soporte y en la matriz; con el tratamiento Tenifer en ese tipo de herramientas debido a la resistencia a la abrasión y a la buena propiedad de deslizamiento en la zona de compuestos, no solamente se disminuye el desgaste, sino que, también se impide la adherencia y soldadura del material embutido a la herramienta.

- Moldes para Inyección:

En estos moldes se consigue resistencia y dureza adquiridas en el temple, acompañadas de una gran resistencia al desgaste, elevada dureza contra la cavitación y a la adherencia de la masa fundida, conseguida por la nitruración en baño de sales.

IV FUNDAMENTOS TEORICOS

La influencia que ejercen los tratamientos térmicos sobre los aceros es muy benéfica, puesto que le dan propiedades mecánicas superiores a las iniciales, teniendo así una mayor resistencia a la tracción y mayor dureza, si el acero ha sido templado y revenido, dureza simplemente si el material ha sido cementado; existe otro tratamiento termoquímico al igual que la cementación que es la nitruración, éste aparte de brindar mayor dureza, también incrementa la resistencia a la corrosión, a la fatiga y al desgaste.

Para obtener información útil sobre la influencia de la nitruración sobre los aceros elegidos, se tuvo la necesidad de someterlos a varios tratamientos, como son: temple, cementación y nitruración.

4.1 Cementación y Temple⁸:

Los aceros de cementación tienen normalmente un bajo contenido de carbono. Para aumentar su dureza, es necesario carburar su superficie. Un acero de cementación carburado, permite templar sus superficies mientras que el núcleo queda blando, tenaz y elástico. Por sus propiedades extraordinarias que ofrece el acero de cementación tratado de este modo, es más apropiado para toda clase de piezas que tienen que combinar gran dureza con gran tenacidad.

Se emplean pues los aceros de cementación convenientemente para piezas de vehículos, ruedas para engranajes, piezas de máquinas, etc.

La penetración de carbono que se denomina cementación o carburación por gran variedad de métodos, está regida por la 2da. Ley de Difusión de Fick; según los procedimientos más antiguos, se introduce el acero en una caja con mezclas a base de carbono y se lo mantiene a unos 900°C durante muchas horas.

El agente carburante entrega carbono al acero y el carbono penetra tanto más en el acero cuanto mayor sea la duración de cementación y cuanto más alta sea la temperatura de cementación, de 0.6 hasta 1.5 mm. para piezas de vehículos y de engranajes y hasta 2 mm. para piezas de omnibuses y camiones.

Pero este procedimiento más antiguo, es bastante sucio y complicado durante el servicio, de modo que ya desde hace tiempo, se lo ha reemplazado con éxito, por la cementación en baño de sales y por la cementación gaseosa.

Trataremos a continuación la cementación en baño de sales.

En este procedimiento, se sumergen durante suficiente tiempo, las piezas de acero de cementación a la temperatura de 850 hasta 930°C, en una fusión de sales con contenido de carbono. La favorable transmisión térmica por la fusión líquida de sales, acelera no sólo considerablemente la cementación frente al procedimiento antiguo con medios sólidos de carburación, sino resulta también más uniforme la cementación de todas las piezas que se cuelgan simultáneamente en la fusión de sales.

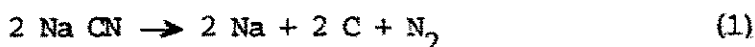
Para el tratamiento térmico de temple suele usarse el mismo horno de cementación con condiciones de temperatura y composición química apropiadas para este.

(Ver Fig.2).

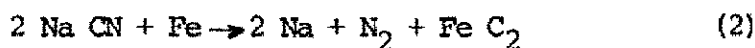
4.1.1 Reacciones químicas en baños de sales de cementación⁹:

Todavía no están totalmente explicadas las reacciones que tienen lugar en un baño de sales.

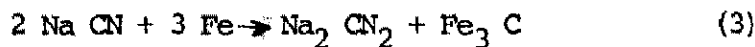
No es por ello de extrañar que discrepen las teorías expuestas por diferentes científicos. Es sabido que el cianuro sódico se descompone térmicamente de acuerdo a la ecuación:



También se sabe que a 600°C, el cianuro sódico, reacciona con el polvo de hierro.



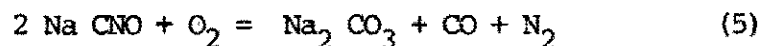
o, según datos de Regirer,



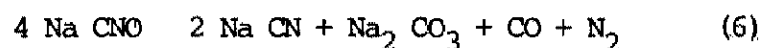
El curso de estas reacciones se estudian sobre la base de ensayos al vacío o en ausencia de oxígeno. En la práctica no se realizan las cementaciones al abrigo del aire y en los baños no activados se oxida primero el cianuro sódico a cianato.



el cianato vuelve a oxidarse



o se descompone por la acción del calor,



El CO formado puede cementar de acuerdo al equilibrio de Boudourard.

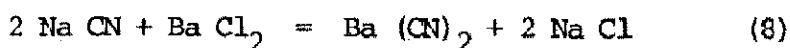


La validez de este equilibrio está comprobada para la cementación en caja y en atmósfera gaseosa.

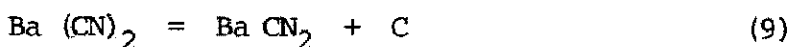
Según las ecuaciones 4 a 6, debe ser perjudicial para la cementación, impedir o dificultar el acceso de oxígeno del aire a los baños no activados, cubriéndolos de grafito.

La práctica ha confirmado esta teoría, pues los baños de esta clase cementan peor cuando se les cubre con grafito, además, en los baños no activados depende la eficacia de la carburación de la profundidad de inmersión y es máxima inmediatamente por debajo de la superficie libre.

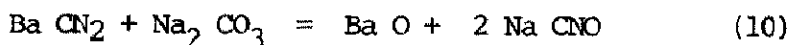
En las sales que contienen activadores es muy distinta la reacción en el baño. Todas las sales para cementar, activadas, contienen cloruros de bario o de estroncio, o mezcla de ambos cloruros alcalinotérreos. El cianuro sódico reacciona con estos cloruros, p. ej.: con el bario, para formar cianuro.



El cianuro de bario se descompone a temperaturas de trabajo de 850° a 930°C es cianamida de bario y carbono.



y la cianamida reacciona con el carbonato sódico, formando cianato sódico y óxido de bario.

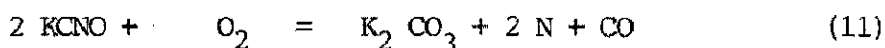


El cianato sódico se descompone, según la ecuación 6, en cianuro sódico, carbonato sódico, óxido de carbono y nitrógeno y el óxido de bario formado, según la reacción 10, fija CO_2 con formación de carbonato bórico. Como consecuencia de esta reacción, resulta comprensible que la eficacia de la cementación no dependa de la profundidad de inmersión y que actúen lo mismo junto a la superficie que en el fondo.

4.2 Nitruración:

La nitruración en baño de sales, es un tratamiento que a temperatura baja (580°C), nos proporciona nitrógeno para ser difundido a la superficie del acero y permite aumentar la dureza superficial, la que depende exclusivamente de la composición química del material a nitrurar y de la acción nitrurante del baño Tenifer, que se debe a la formación equilibrada de sus componentes.

Las reacciones son las siguientes¹⁰:



El único causante de la nitruración, es el cianuro que por acción del oxígeno, se convierte en carbonato, nitrógeno nascente y monóxido de carbono, el carbonato se convierte nuevamente en cianato, mediante la adición de un compuesto orgánico de forma plástica con contenido de carbono, nitrógeno e hidrógeno.

De acuerdo con el equilibrio de Boudcuard, se forma dióxido de carbono a partir del monóxido.



El carbono que se difunde en la zona de unión que se va formando, no es suministrado por la reacción (12), sino del cianuro en una reacción que todavía no se ha podido explicar, pero si es necesario para la activación del nitrógeno, cuya solubilidad en Fierro Alfa es escasa para la formación de la capa nitrurada.

También el nitrógeno es absorbido directamente por el acero y lo hace con relativa facilidad, por ser un elemento de inserción:



4.2.1 Teoría de la Difusión:

La nitruración en baño de sales, según el proceso Tenifer y la cementación, son tratamientos termoquímicos que se basan fundamentalmente en la teoría de la difusión¹¹.

La difusión, es el proceso de migración de átomos individuales dentro de los materiales y puesto que el acero tiene un gran número de sitios vacantes en la retícula, hay una continua migración de átomos vía estas vacancias. Los átomos de C y N, son pequeños, comparados con los átomos de Fe y pueden por consiguiente estar situados en los lugares entre los átomos de Fe, formando así una solución sólida intersticial. Estos pequeños átomos pueden difundirse sin la ayuda de vacancias y su velocidad de difusión es mucho más alta que aquella de los átomos sustitucionales.

La segunda ecuación de Fick, describe la variación de la concentración de la sustancia que difunde en el espacio y en el tiempo. Esta ecuación se deduce directamente derivando la primera ley de Fick.

$$\frac{dm}{dx} = -D \frac{dc}{dx} \quad A dt \quad (14)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (14a)$$

Esta forma de la ecuación, tiene en cuenta la variación del coeficiente de difusión (D) con la concentración. Sin embargo, es bastante difícil de aplicar y por lo tanto, se simplifica suponiendo que D es constante, entonces la ecuación se transforma en:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (15)$$

Aparte de que el coeficiente de difusión depende de la concentración y hemos supuesto que es constante respecto a ésta, no se puede dejar de lado su dependencia de la temperatura a través de la Ley de Arrhenius, que es una regla empírica por la que se sabe que la constante de difusión duplica su valor por cada 20°C de aumento de temperatura, lo que nos da idea de la enorme influencia que ésta ejerce sobre la difusión. Más exactamente, la constante está relacionada con la temperatura absoluta por la ecuación:

$$D = D_0 e^{-Q/RT} \quad (16)$$

Donde D_0 = Factor de frecuencia y está relacionado con la frecuencia de vibración de los átomos que se difunden.

Q = Es la energía de activación de la difusión, es decir la medida de la barrera de energía que tiende a impedir que se produzca la difusión y que es en realidad la que determina la función $D(T)$.

R = Constante de los gases.

ambas magnitudes (D_0 , Q) no dependen de la temperatura; están representadas en las Tablas 1 y 3. Puesto que la segunda Ley relaciona la concentración con el tiempo y con la profundidad, es razonable que esta ecuación, se pueda utilizar para obtener la curva de penetración de nitrógeno en el acero.

La solución de la ecuación de difusión que satisface las condiciones de este problema es:

$$(C - C_0) = (C_1 - C_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(x / 2\sqrt{Dt} \right) \right] \quad (17)$$

Donde:

C = Concentración de nitrógeno o carbono a una profundidad de x mm. después del tratamiento termoquímico en t segundos.

C_1 = Concentración máxima de Nitrógeno o Carbono, estos datos se obtienen de los diagramas Fe-N y Fe-C, respectivamente.

C_0 = Concentración inicial de Nitrógeno o carbono en el acero.

$\text{erf}(x/2\sqrt{Dt}) = \text{erf}(y) =$ Es una función de la variable $y = x/2\sqrt{Dt}$, cuyos valores se encuentran en las tablas matemáticas, como los logaritmos o las funciones trigonométricas.

D = Coeficiente de difusión del Nitrógeno o carbono en hierro alfa y gamma respectivamente, de acuerdo a la Ley de Arrhenius.

Aplicando las ecuaciones 16 y 17, podemos determinar los datos, Tablas 2 y 4 para la curva de penetración del nitrógeno y del carbono en el hierro y en el acero AISI C1020 en diferentes tiempos. Fig. 3, 4, 5, 6.

TABLA N° 1

Datos aproximados para la difusión del Nitrógeno

Solvente	Soluto	$D, \text{mm}^2/\text{seg.}$	$Q, \text{Kcal/mol-gr.}$	$D(580^\circ\text{C}) \text{mm}^2/\text{seg.}$
Fe alfa	N	0.66	18.0	1.4328×10^{-5}

TABLA N° 2

Resumen de los resultados obtenidos, aplicando la 2da. Ley
de Fick, en el tratamiento de nitruración del Hierro

Distancia (mm) y %N Tiempo	Distancia bajo la superficie (mm)	Concentración de N (%)
5 minutos	0.000	5.6000
	0.025	4.4100
	0.050	3.3023
	0.075	2.3442
	0.100	1.5725
	0.125	0.9946
	0.150	0.4362
	0.175	0.3438
	0.200	0.1775
	0.225	0.0907
	0.250	0.0302
90 minutos	0.00	5.6000
	0.10	4.4764
	0.20	3.4225
	0.30	2.4958
	0.40	1.7316
	0.50	1.1406
	0.60	0.7321
	0.70	0.4337
	0.80	0.2378
	0.90	0.1261
	1.00	0.0622
180 minutos	0.00	5.6000
	0.15	4.4096
	0.30	3.3025
	0.45	2.3440
	0.60	1.5725
	0.75	0.9946
	0.90	0.6083
	1.05	0.3439
	1.20	0.1757
	1.35	0.0912
	1.50	0.0300

FIGURA 3

DIFUSION DEL NITROGENO EN EL HIERRO DURANTE
LA NITRACION APLICANDO LA 2ª LEY DE FICK

Temperatura: 580°C

Tiempo: 5 min.

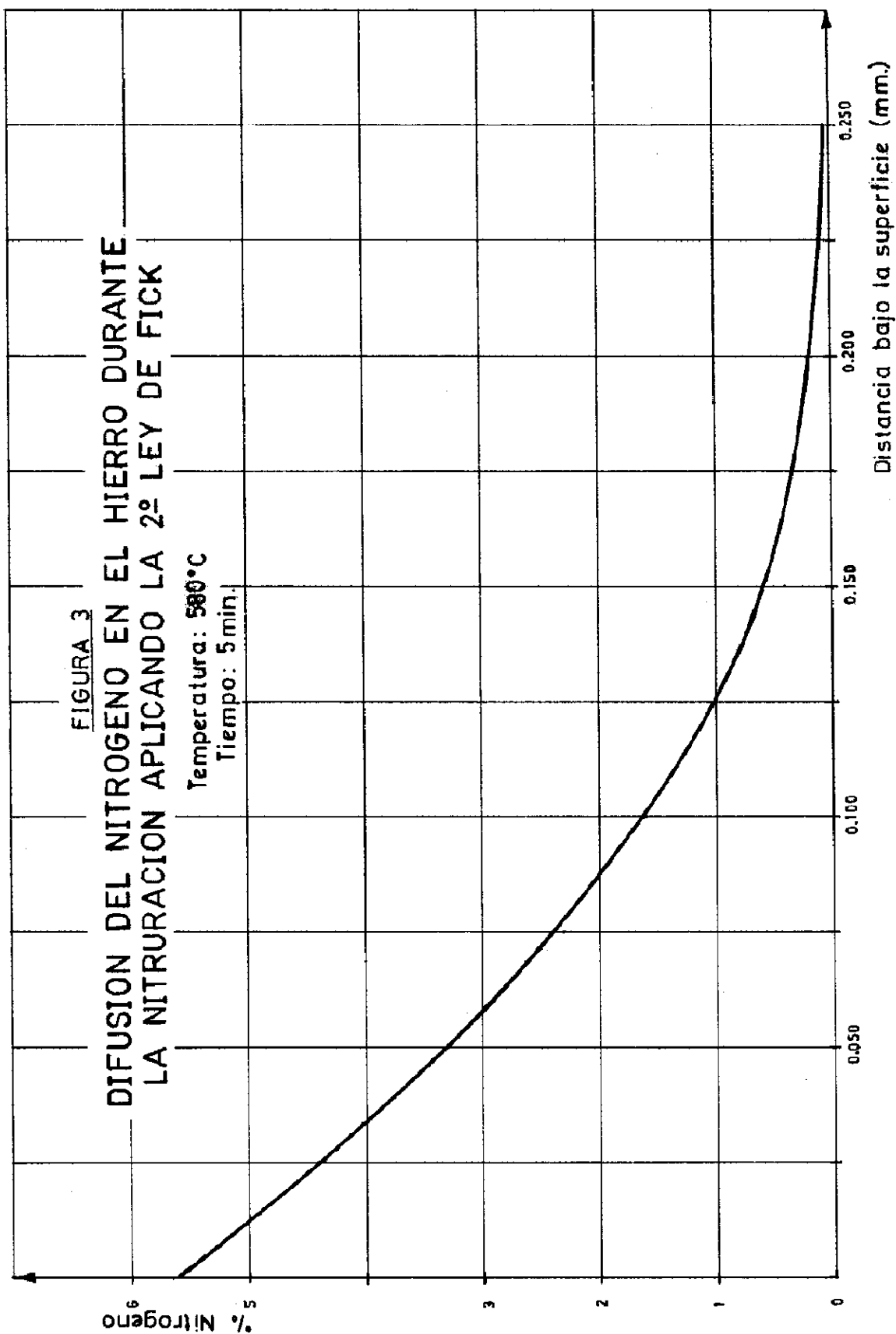


FIGURA 4
DIFUSION DEL NITROGENO EN EL HIERRO DURANTE
LA NITRURACION APLICANDO LA 2ª LEY DE FICK

Temperatura: 580°C
 Tiempo: 90 min.

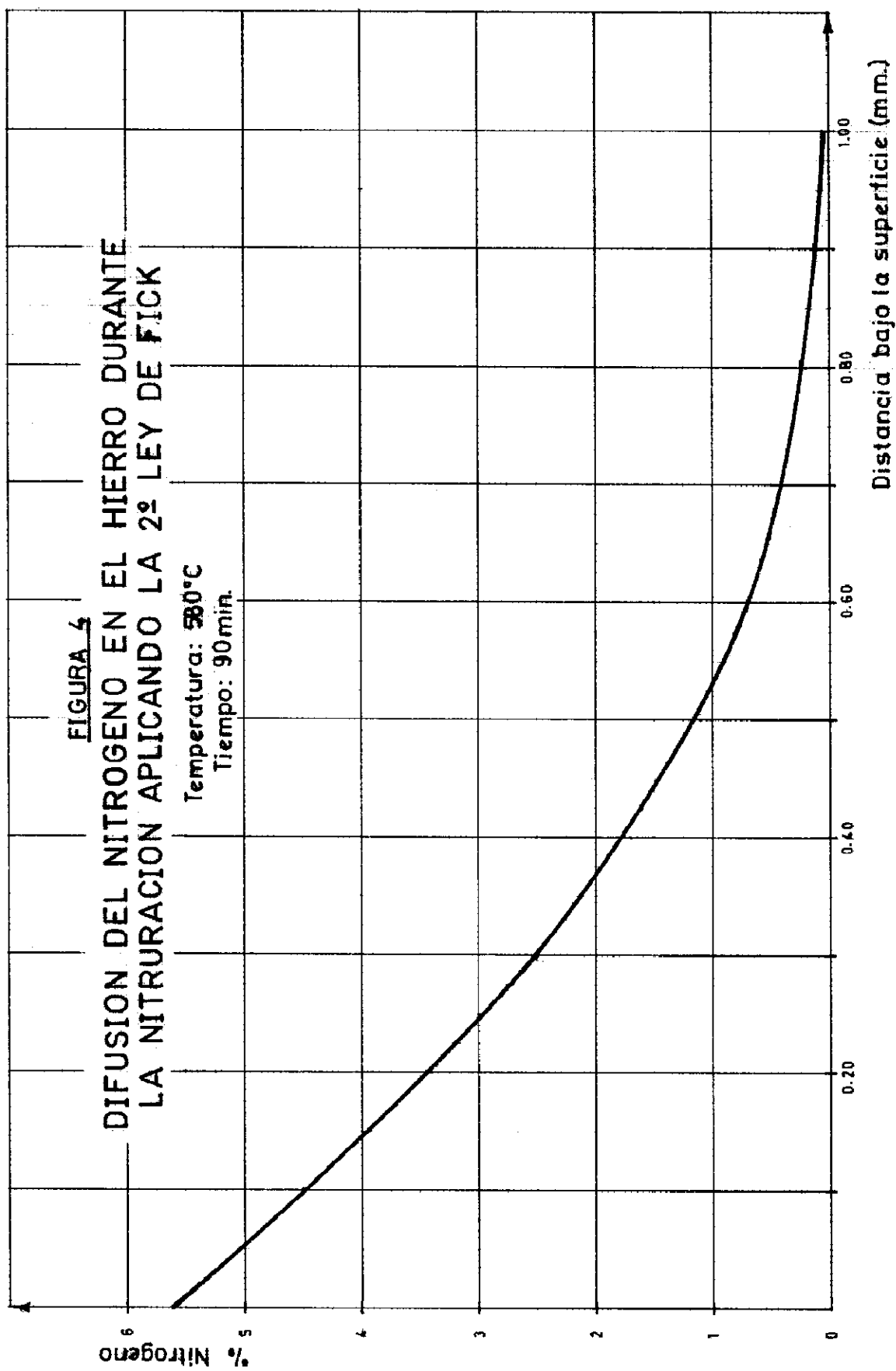


FIGURA 5

DIFUSION DEL NITROGENO EN EL HIERRO DURANTE
LA NITRURACION APLICANDO LA 2ª LEY DE FICK

Temperatura: 580°C

Tiempo: 180 min.

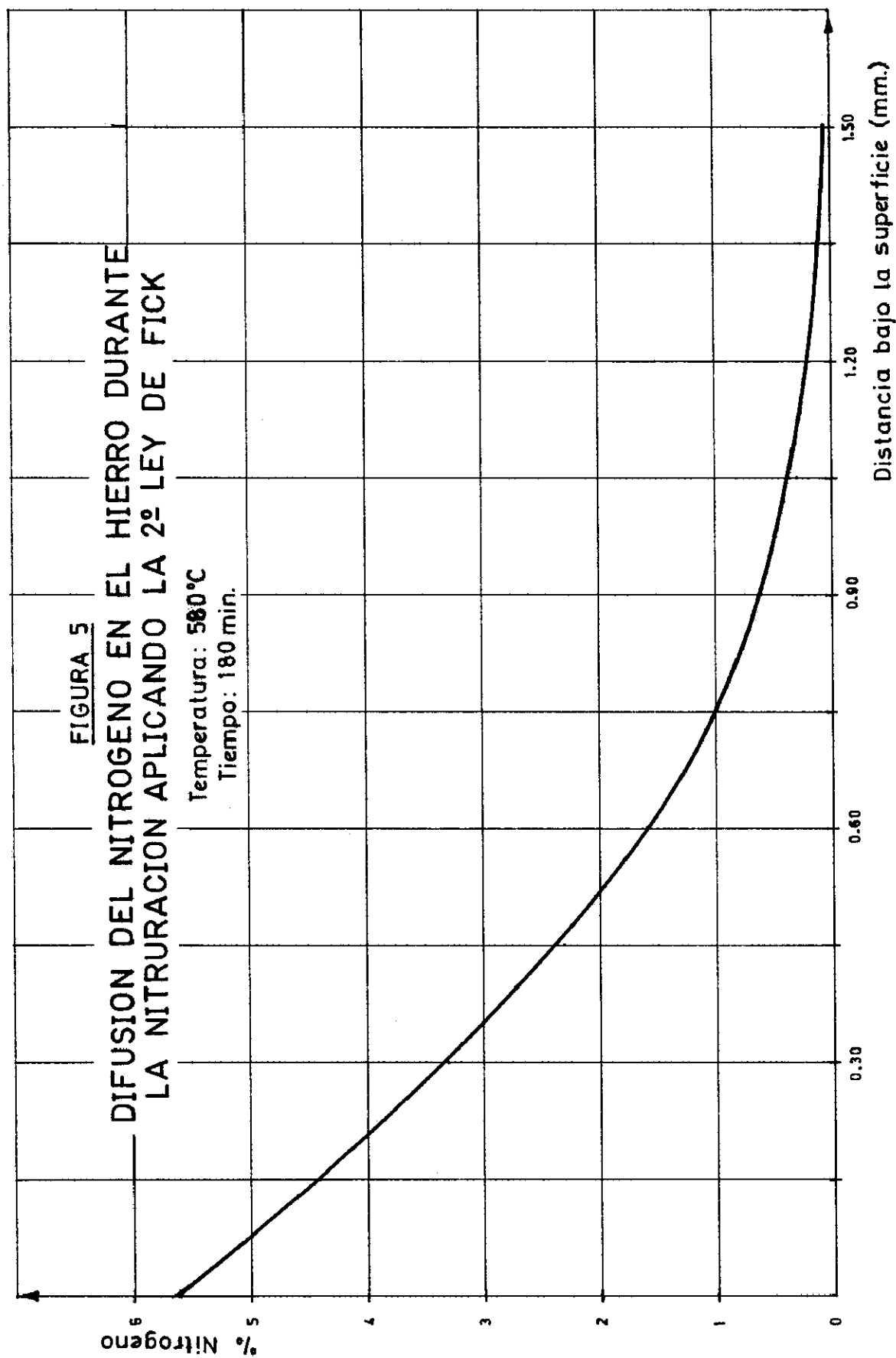


TABLA N° 3

Datos aproximados para la Difusión del Carbono

Solvente	Soluto	$D_0, \text{mm}^2/\text{seg.}$	$Q, \text{Kcal/mol-gr.}$	$D(930^\circ\text{C}) \text{mm}^2/\text{seg.}$
Fe (gamma)	C	21	33.8	$1.4940 \times 10^{-5} (+)$

(+) Según la Ley de Arrhenius.

TABLA N° 4

Datos obtenidos aplicando la 2da. Ley de Fick, en el tratamiento de Cementación del Acero AISI C1020

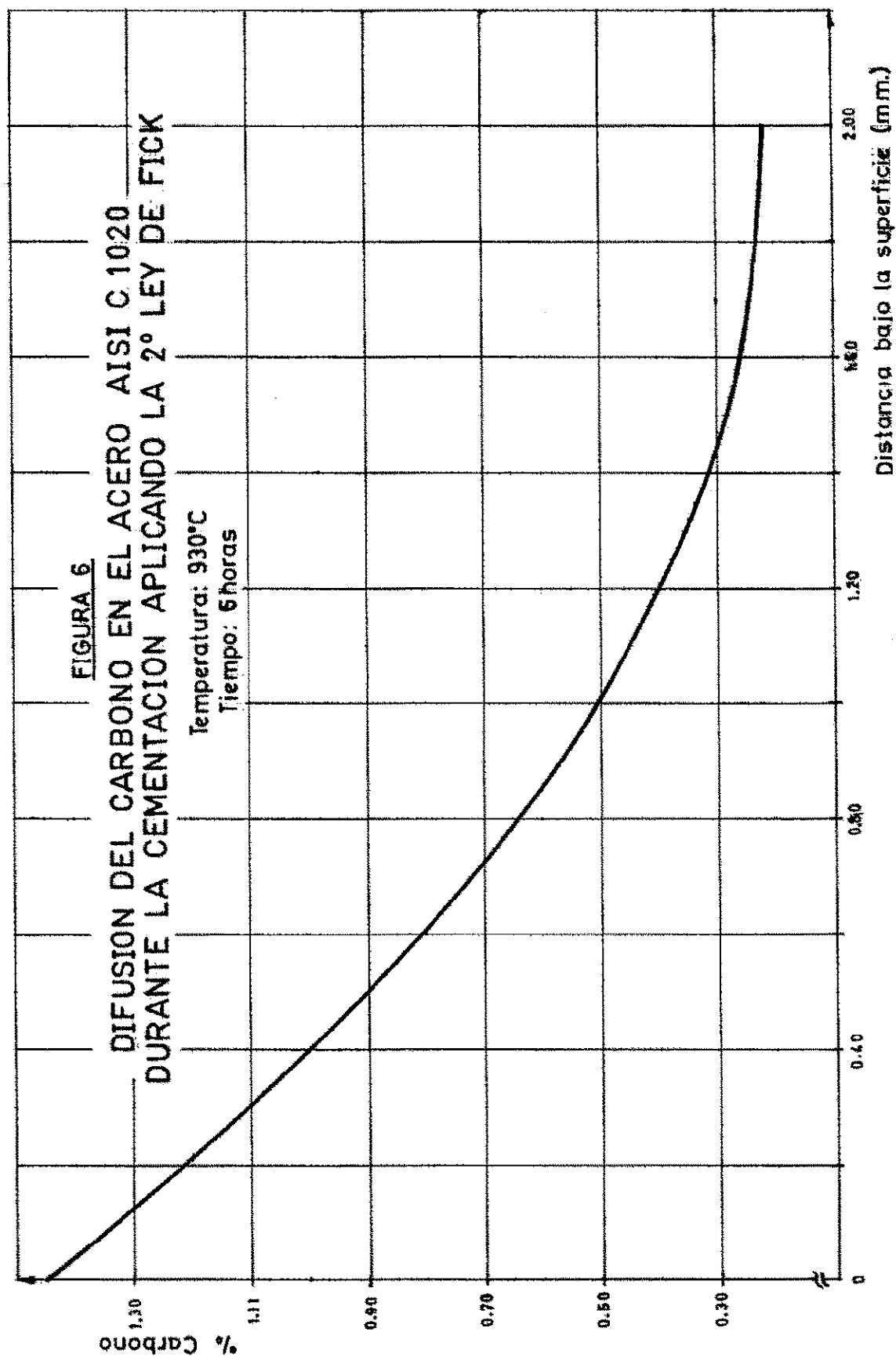
Distancia bajo la superficie (mm)	Concentración de C (%)
0.00	1.4500
0.20	1.2043
0.40	0.9732
0.60	0.7689
0.80	0.5992
1.00	0.4665
1.20	0.3728
1.40	0.3036
1.60	0.2582
1.80	0.2315
2.00	0.2168

FIGURA 6

DIFUSION DEL CARBONO EN EL ACERO AISI C 1020
DURANTE LA CEMENTACION APLICANDO LA 2° LEY DE FICK

Temperatura: 930°C

Tiempo: 6 horas



4.2.2 Acción Nitrurante:

El baño Tenifer, trabaja en sistema sodio-potasio-cianato-carbonato en un rango de 36-38% CNO y el ajuste de una determinada relación de sodio potasio.

Durante el funcionamiento, disminuye el contenido de cianato del baño, en pequeña dependencia de la carga, el carbonato proveniente de la reacción (11), es convertido nuevamente en cianato, por el regenerador.

La difusión simultánea del nitrógeno y del carbono en el acero, da origen a dos capas distintas:

Zona de Compuestos:

Originada en condiciones normales de trabajo, contiene ¹², además de carbono, un alto contenido de nitrógeno y una estructura de ϵ -FeN. El crecimiento de la zona de compuestos, se rige por la Ley de difusión, el carbono y demás elementos de aleación, producen una disminución del espesor de la capa.

La calidad de la capa de compuestos es afectada, al aumentar el contenido de hierro disuelto, aumenta la capa de poros, que en baños normales, es menor que un tercio del espesor total de la zona de compuestos.

Debido a la formación no metálica de la capa de compuestos, además del buen comportamiento al desgaste, deslizamiento y corrosión, no hay tendencia al gripado durante el frotamiento con una pieza metálica, lo que podría dar lugar a que se soldaran. Su observación al microscopio, revela un aspecto de capa blanca.

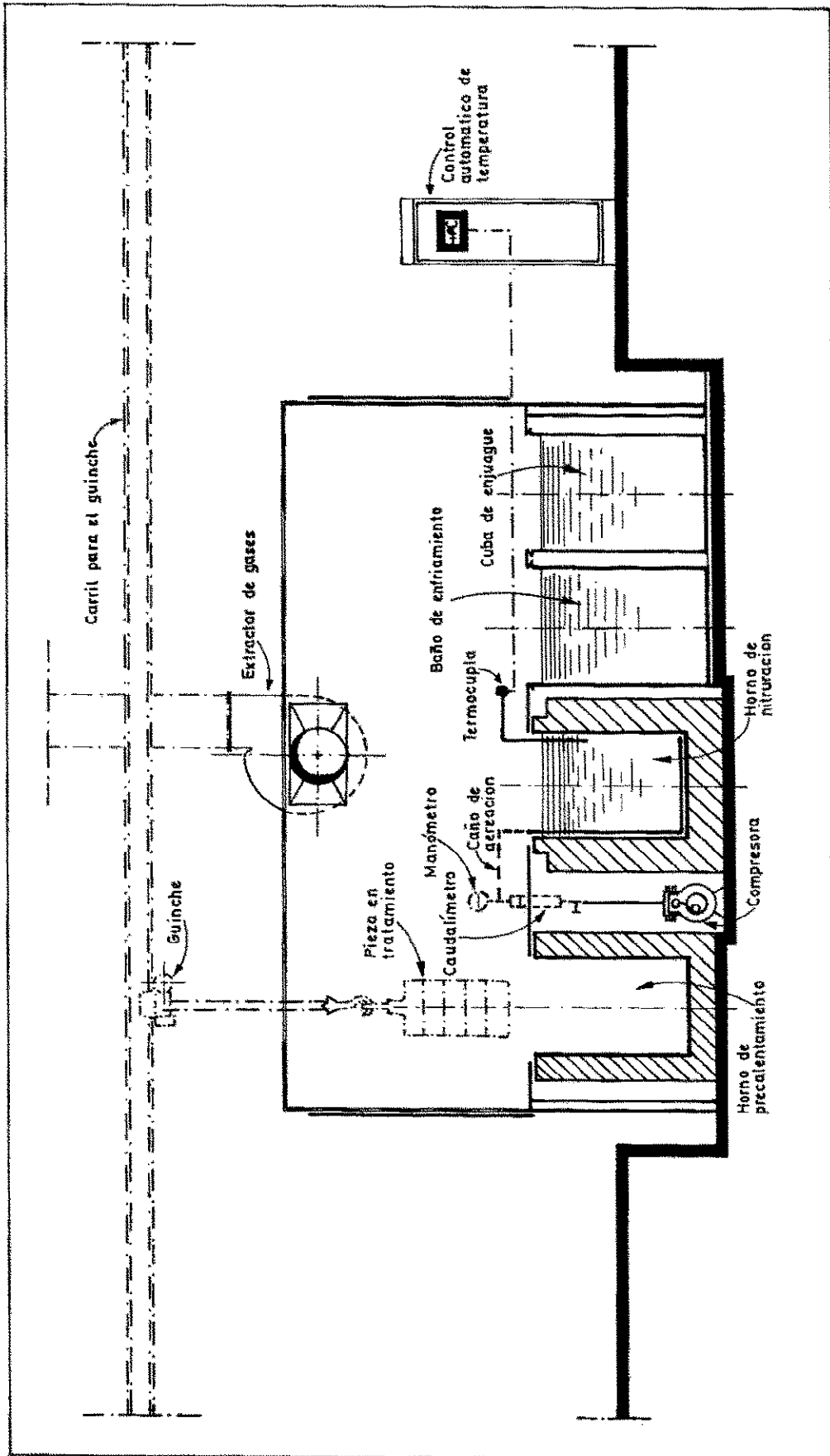


FIGURA 7
ESQUEMA DE UNA INSTALACION AUTOMATICA "TENIFER"

Zona de Difusión:

Mientras la absorción del carbono queda limitada a la "Zona de Compuestos", el nitrógeno se difunde desde la superficie hacia el núcleo del material, su profundidad depende del tiempo de nitruración de la temperatura, composición química del baño y del tipo de acero a tratar.

La zona de difusión ¹³, está formada de $Fe_4 N$ en forma de agujas, su principal característica es la elevada resistencia a la fatiga que infunde a las piezas nitruradas, lo que permite una mayor carga de trabajo, especialmente en piezas que por sus condiciones estén solicitadas a esfuerzos de flexión y torsión.

La dureza y profundidad de difusión de esta capa es afectada esencialmente por los elementos de aleación en el acero, esto es, cuanto más elementos de aleación, tanto menor será la profundidad de penetración del nitrógeno para la misma duración del tratamiento, pero también será más elevada la dureza de la capa de difusión.

4.2.3 Instalaciones:

El equipo Tenifer completo, se compone de las siguientes etapas : (Fig.7).

- 1.- Horno de pre-calentamiento con circulación de aire para el pre-calentamiento a temperaturas de 330-450°C.
- 2.- Horno de nitruración calentado por electricidad con crisoles de titanio macizo, debido a su rentabilidad por su larga duración y dispositivos de aereación.

- 3.- Recipiente de enfriamiento en agua con calefacción y con dispositivo de aspiración y en aceite a temperatura ambiente.
- 4.- Lavadora de agua caliente para la eliminación del agua salina arrastrada y calentamiento de las piezas hasta aproximadamente 80°C para que sequen inmediatamente, luego de ser sacadas de la instalación.

4.2.4 Descripción del Proceso:

Preparación:

Las piezas antes de ser incorporadas al baño, deben estar desengrasadas y secas, en caso de presentarse gruesas capas de aceite o grasas, se corre el peligro de que grandes cantidades de virutas de hierro queden adheridas y sean incorporadas al baño, lo que genera una formación de lodos excesiva, de igual manera actúa el polvo de hierro adherido que puede provenir del rectificado, terminado o desbastado electrolítico. Estas partículas de hierro, también deben ser eliminadas. Si en el tratamiento previo de las piezas se hubieran usado aceites con aditivos de azufre o para el lapeado, kerosene con aditivos de azufre, las piezas deben ser lavadas muy cuidadosamente antes de la nitruración, dado que el azufre inutiliza el baño. Si las piezas tuvieran zinc o cobre en su superficie como asimismo piezas sintetizadas con cobre o bronce, éstas no pueden ser trabajadas en el baño nitrurante, dado que llevaría a un rápido deterioro del mismo.

La incorporación de las piezas en el baño preferentemente, se realiza con ayuda de dispositivos o ganchos.

Si se utiliza canastos, existe el peligro en las piezas de poca altura, que éstas se encimen una sobre otra, por lo que no serán tocadas totalmente por la sal y no se nitruren o muy deficientemente. El atado de piezas con alambre es posible y en algunos casos hasta imprescindible, pero aumenta en forma considerable los costos de preparación.

Precalentamiento:

Las cargas deben ser precalentadas a temperaturas de aproximadamente 350-450°C, éstas no deben ser tan grandes, que durante el cargado del baño, la temperatura disminuya de 40°C. La temperatura de trabajo es 580°C y deberá ser alcanzada nuevamente en 20 a 30 minutos.

El tiempo de permanencia de las piezas en precalentamiento debe garantizar una temperatura uniforme de la carga.

Tratamiento en el baño:

La necesaria duración del proceso es dependiente de varios factores como el material, su procesamiento previo y sobre todo el propósito del tratamiento. Debido a ello no pueden ser suministrados valores de validez universal.

Luego de permanecer un tiempo determinado dentro del horno, se saca de éste y se enfria en agua, aceite o aire, dependiendo de los factores ya mencionados; posteriormente a esto, se lavan bien las piezas y se aceitan para su almacenamiento.

4.2.5 Control del baño:

A pesar de su estabilidad, los baños de nitrurar deben comprobarse periódicamente, determinando su composición por análisis químico.

En la literatura técnica y en los prospectos de los fabricantes de sales, se encuentran los más variados métodos para este análisis.

La firma Durferrit Frankfurt/Main., realiza la determinación del cianuro y cianato, mediante la valoración con nitrato de plata. La ventaja de este método, es que no se libera ácido cianhídrico, por descomposición del cianuro existente.

Una vez determinado el porcentaje de cianato en el baño, estamos en condiciones de agregar la cantidad exacta de regenerador que tiene la misión de convertir el carbonato en cianato.

Este producto está formado de una composición orgánica de forma plástica, con contenido de carbono, nitrógeno e hidrógeno. Al añadir este regenerador, el baño nitrurante trabaja benévolo al ambiente y no hay que sacar sal usada y los productos químicos necesarios para la fusión.

4.2.6 El Control de las Piezas Nitruradas:

El efecto del tratamiento térmico generalmente, se conoce por la dureza superficial y la profundidad de las capas logradas. Como complementación a dichos valores, es necesario contar con estudios metalográficos y/o de rayos X, para el correcto control de las piezas en los talleres de tratamientos térmicos.

Ensayo de Dureza:

Es común, que luego del tratamiento térmico, sea ensayada la dureza de las piezas, esta se realiza en un microdurómetro digital Vickers¹⁴, con una carga de 0.100 Kgr. Los valores de dureza, así determinados, pueden ser empleados únicamente para el control de la uniformidad del tratamiento; una

evaluación del comportamiento de la pieza en uso, frente a las distintas sollicitaciones, no puede ser derivada de los mismos.

Por la difusión del nitrógeno dentro del acero, aumenta la dureza de la zona marginal de la pieza; este aumento frente a la dureza del material no tratado, es, sin embargo muy fuertemente condicionado por el tipo y la calidad del acero y por la estructura de la cual se ha partido.

Medición Metalográfica de los espesores de capa¹⁵:

La determinación más exacta de la zona de compuestos, se obtiene por medio de la probeta metalográfica, la que permite comprobar al mismo tiempo, el espesor y la estructura de esta capa.

V TECNOLOGIA DEL PROCESO:

5.1 Ensayos e Investigaciones Preliminares:

Para el éxito del tratamiento termquímico de nitruración en baño de sales, es necesario saber la composición química de las muestras sujetas a investigación, de tal manera que, para garantizar resultados acordes con la realidad, fué indispensable conocer las características y propiedades mecánicas, datos que se muestran en la Tabla 5 y figura 8. También realizamos el análisis químico previo al proceso (Ver Tabla 6).

5.2 Preparación de las Muestras:

Para llevar a cabo el ensayo de dureza antes y después de cada tratamiento, fué necesario pulir las muestras con un abrasivo de 6, 3 y 1 micra, este pulido se realizó en muestras recocidas, normalizadas, bonificadas, cementadas y nitruradas.

5.3 Pruebas Metalúrgicas Especiales:

5.3.1 Cementación:

Este tratamiento lo aplicamos a los aceros de bajo porcentaje de carbono.

Condiciones: Temperatura	:	930°C
Tiempo	:	6 horas
% KCN en el horno	:	9

Se obtuvo una capa de cementación de 2 mm. con durezas mostradas en la Tabla 7.

5.3.2 Temple y Revenido:

El tratamiento de temple es aquél que afecta a toda la masa, es decir que las propiedades adquiridas son desde la superficie hasta el núcleo y la estructura obtenida es la martensita revenida que consideramos es la más apropiada para el tratamiento posterior de nitruración.

TABLA N° 5
PROPIEDADES MECANICAS

N O R M A S		Estado	Diam. (mm)	Límite de fluencia min. (Kgr./mm ²)	Resist. a la tracción (Kgr./mm ²)	Elong (%) mín.
DIN	AISI					
34 Cr Al Mo 5	--	Bonificado	hasta 70	60	80 - 100	14
85 Ni V 4	--	Recocido	--	--	--	--
C 85 W 2	W1-0,9C	Recocido	--	--	--	--
Ck 60	1060	Normalizado	16-100	39	70 - 90	14
Ck 45	1045	Normalizado	16-100	34	60 - 75	17
---	1118	Trafilado	40-60	24	45 - 65	12
9 S Mn 36	1113	Trafilado	40-65	32	44 - 69	9
Ck 20	C1020	Normalizado	--	32	45	35

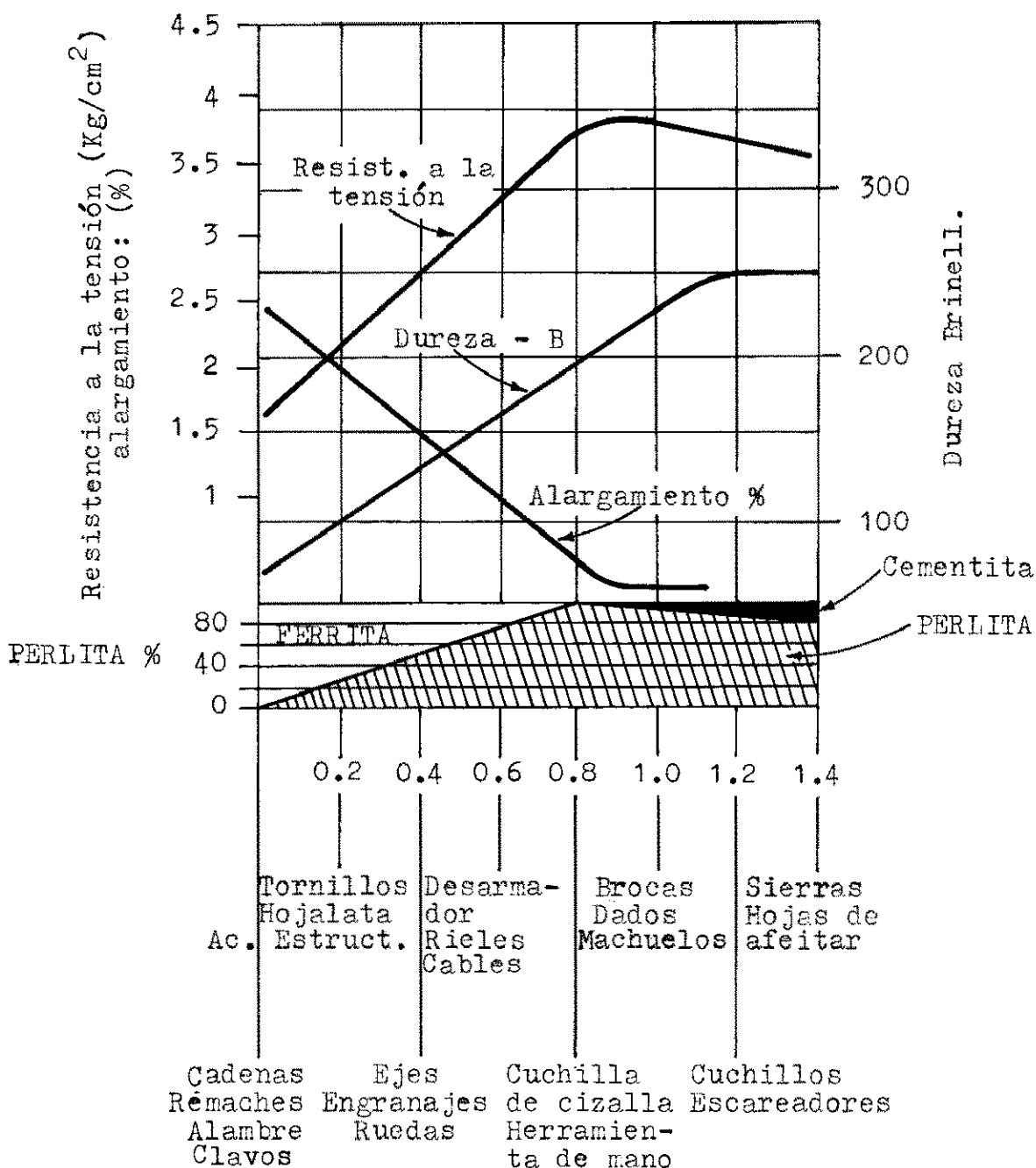


Figura 8

Diagrama esquemático de las propiedades mecánicas del acero al carbono en función de su % carbono. Las proporciones de la ferrita, cementita y la perlita o sea las microestructuras de los aceros ordinarios y sus aplicaciones están indicados en la parte inferior del diagrama.

TABLA N° 6

COMPOSICION QUIMICA

N O R M A		Marca Boehler	COMPOSICION QUIMICA									
DIN	AISI		% C	% Mo	% V	% Cr	% Ni	% Si	% S	% P	% Al	% Mn
34 Cr Al Mo 5	--	ACE	0.34	0.2	-	1.2	-	0.3	-	-	0.95	0.6
85 Ni V 4	--	V6N	0.85	-	0.1	-	0.8	0.2	-	-	-	0.3
C 85 W 2	W1-0.9 C	GENOM EXTRA	0.8	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.2
Ck 60	1060	HH	0.6	-	-	-	-	0.3	-	-	-	0.7
Ck 45	1045	H	0.45	-	-	-	-	0.3	-	-	-	0.7
----	1118	Z900	0.17	-	-	-	-	0.1	0.15	0.05	-	1.5
9 S Mn 36	C1113	Z908	0.08	-	-	-	-	-	0.35	0.08	-	1.2
Ck 20	C1020	----	0.19	-	-	-	-	-	0.05	0.04	-	0.4

TABLA N° 7

DUREZAS INICIALES AL PROCESO DE NITRURACION

N O R M A S		Estado	Dureza HV-0.1
DIN	AISI		
34 Cr Al Mo 5	—	Bonificado	285
85 Ni V 4	—	Recocido	260
		Templado	800
C 85 W 2	W1-0.9C	Recocido	270
		Templado	865
Ck 60	1060	Normalizado	285
		Templado	740
Ck 45	1045	Normalizado	265
		Templado	700
—	1118	Trafilado	220
		Cementado	765
9 S Mn 36	1113	Trafilado	205
		Cementado	-
Ck 20	1020	Normalizado	240
		Cementado	750

Condiciones:

1) Temple:

Temperatura : 770 - 860°C

% KCN en el horno: 5

2) Revenido:

Temperatura : 150 - 300°C

Las durezas obtenidas se muestran en la Tabla 7

5.3.3 Nitruración:

Todas las muestras en estado recocido, normalizado, bonificado y cementadas, fueron nitruradas variando los tiempos dentro del horno.

Condiciones:

Composición Química del baño:

1.92 % KCN, 37% KCNO

Temperatura del baño : 570°C.

En la Tabla 8, se tiene un resumen de todos los datos obtenidos en este tratamiento.

5.3.4 Ensayo de Dureza:

En ensayo se realizó en un microdurómetro con un sistema mecánico-electrónico, este instrumento es versátil por su facilidad de manejo en todo tipo de superficies usando para ello accesorios adecuados.

Datos técnicos: - Rango de medición: 0.50-995 HV-0.1.

- Tipo de material: materiales que tienen un módulo de elasticidad de 0.7×10^{-5} N/mm² a 4.6×10^{-5} N/mm² (aluminio, acero, metales duros, etc)

- Temperatura : - 15°C a + 70°C.

TABLA N° 8

CUADRO GENERAL DE DUREZAS (HV-0.1 Kg/mm²)

Tratamiento térmico Norma	S/T	T-R	C	N I T R U R A C I O N										(Tiempo en Horas)				
				0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00			
DIN 34 CrAlMo 5	285			785	905	835	835	810	785	740	690	700	740	770	775			
		800		660	670	590	570	585	585	555	555	560	570	575	625			
DIN 85 Ni V 4	260			490	510	525	535	540	550	460	390	330	330	330	490			
		865		730	710	700	690	690	625	590	600	610	615	610	590			
DIN C 85 W 2	270			500	550	540	555	560	560	555	550	560	585	615	590			
		740		640	610	550	560	575	570	570	575	575	580	585	555			
DIN Ck 60	285			440	480	480	495	490	490	500	520	550	510	560	555			
		700		660	540	545	560	570	590	580	570	575	590	585	585			
DIN Ck 45	265			425	475	490	510	520	550	555	410	345	355	430	510			
			765	615	615	615	625	635	600	570	575	560	575	590	600			
AISI 1118	220			410	490	510	525	540	555	540	465	460	415	510	540			
	205			450	475	480	490	495	500	515	520	535	540	560	570			
AISI 1113			750	585	610	620	615	610	615	600	485	460	445	380	370			
	240			420	500	515	525	540	560	570	515	500	440	445	460			

De cada muestra, se obtuvieron 10 mediciones para luego sacar el promedio y tener una idea más exacta de la dureza adquirida, en las figuras 9 hasta la 16, podemos apreciar los gráficos obtenidos en este ensayo.

5.3.5 Descripción de los Gráficos:

En vista que, todos los gráficos son similares en cuanto a su construcción; se tomará un acero representativo de cada grupo, es decir: El acero de nitruración DIN 34 Cr Al Mo 5, el acero de temple DIN 85 Niv 4, el acero trafilado AISI 1113 y el acero de cementación AISI C 1020.:

a) Acero de Nitruración DIN 34 Cr Al Mo 5: Fig.9

Estado Bonificado:

El tratamiento de nitruración, se realizó en estado bonificado con una dureza inicial de 285 HV-0.1, variando los tiempos y vemos que esta dureza asciende hasta 905 HV-0.1 en un tiempo de 0.50 hr. con lo que se demuestra el beneficio del tratamiento en materiales aleados al Cr, Al, Mo. Este acero se puede tratar en un rango de tiempo de 0.25 - 1.0 hr. obteniéndose durezas estables.

b) Acero de Temple DIN 85 Niv 4: Fig.10

Estado Recocido:

El estado inicial de la muestra es recocido con dureza de 260 HV-0.1, posteriormente se nitruró a diferentes tiempos obteniéndose durezas desde 490 hasta 550 HV-0.1, con márgenes de tiempo de 0.25 - 1.50 hr. Este acero puede tratarse en el rango de tiempo mencionado, lejos de él, no se consigue mejora alguna.

Estado Templado y Revenido:

El material ha sido templado a una temperatura de 800°C, enfriado en agua y revenido de 800HV-0.1, luego de nitrurarlo a diferentes tiempos, se obtuvo durezas estables hasta 585 HV-0.1, en un rango de tiempo 0.75 - 1.25 hr.

A mayor permanencia en el horno, se nota un decremento de dureza.

c) Acero Trafilado AISI 1113: Fig.15

Estado Trafilado:

El estado inicial de la muestra es trafilado, con una dureza de 205 HV-0.1 que nitrurado a diferentes tiempos, obtenemos durezas hasta de 570 HV-0.1, en un rango de trabajo de 0.25 - 3.00 hr.

d) Acero de Cementación AISI C1020: Fig.16

Estado Normalizado:

La dureza del acero AISI C1020, en estado normalizado, es de 240 HV-0.1, que luego del tratamiento de nitruración a diferentes tiempos, se logran durezas hasta de 570 HV-0.1 en un rango de tiempo de 0.25 - 1.75 hr.

Estado Cementado:

La muestra ha sido cementada a 930°C, por espacio de seis (6) horas, alcanzando una profundidad de 2 mm y una dureza de 750 HV-0.1.

Luego de nitrurada, se obtuvo durezas estables hasta de 600 HV-0.1, en un rango de tiempo de 0.25 - 1.75 hr. lejos de éste, la dureza va en disminución.

5.4 Análisis Metalográfico:

La metalografía es, esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación.

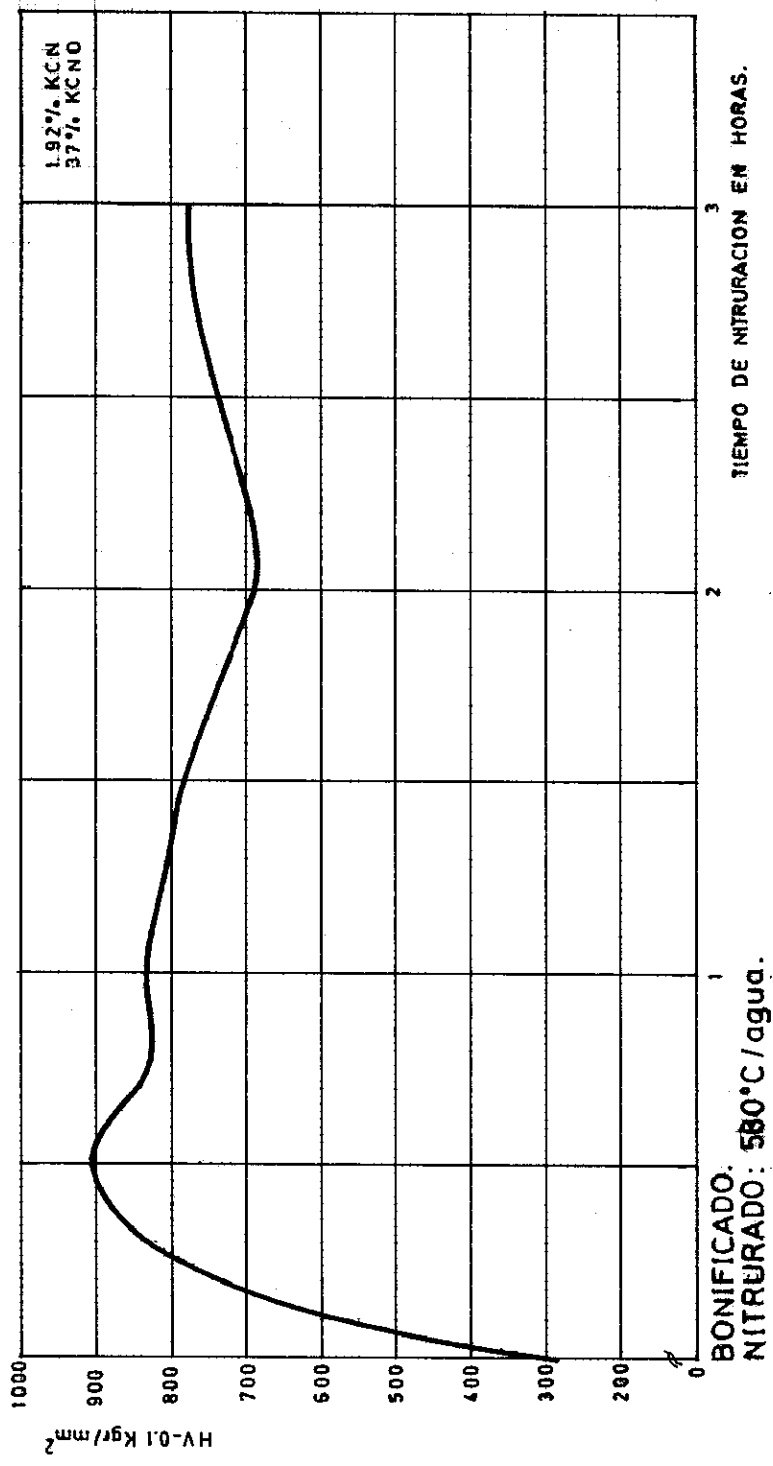
Lo más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada, empleando aumentos que en el microscopio óptico, oscilan entre 100 y 3,000 aproximadamente.

Este análisis, se realizó específicamente en el acero DIN 34 Cr Al Mo 5, teniendo en cuenta de que es un acero especial para nitruración por sus elementos aleantes Cr, Al, Mo, que son altamente favorecedores de la formación de nitruros.

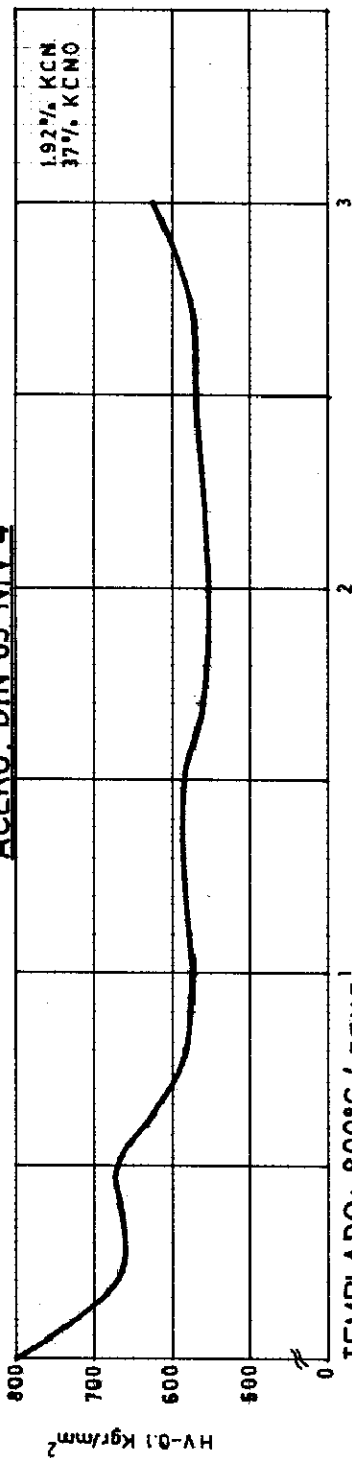
En las Fig 17-18, podemos apreciar la estructura del núcleo, tomada a 400X y 1000 X, que es martensita revenida muy difusa.

Se obtuvieron resultados satisfactorios, como son los espesores de la capa de compuestos a diferentes tiempos de nitruración (Fig.19). La profundidad total (Fig. 20), es decir, la suma de las dos capas: de compuestos y de difusión, se obtuvo mediante cálculos teóricos en base a la composición química del acero y el tiempo de permanencia de la muestra en el horno, las Fig. 21-22, nos muestran la zona de compuestos y la de difusión tomada a 100X y 3000 X.

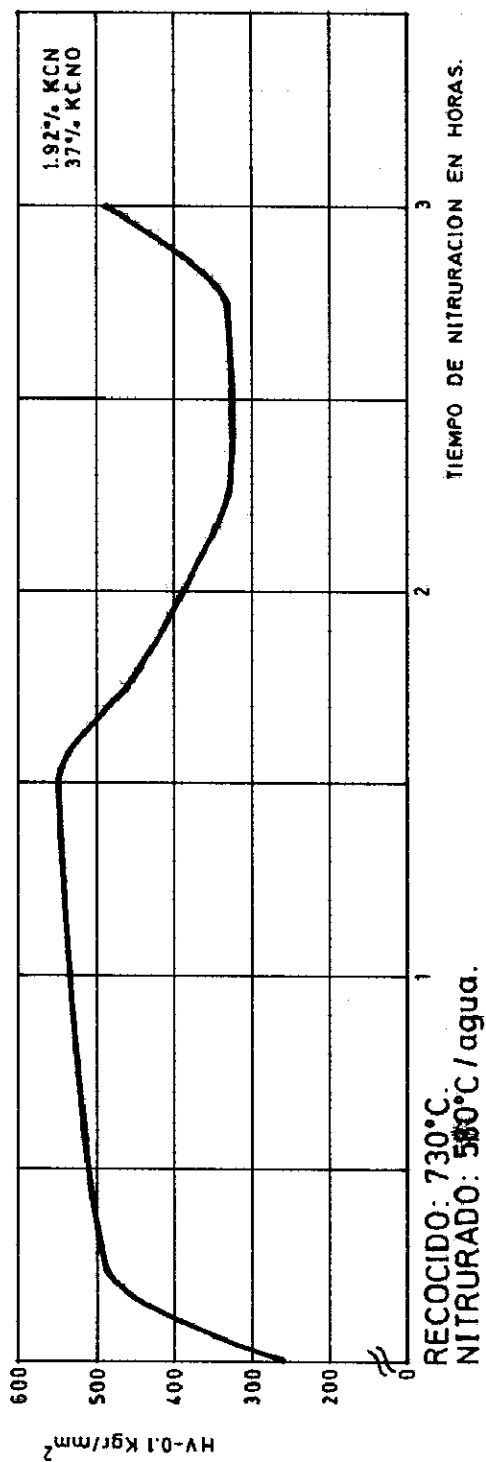
FIGURA 9
INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION SOBRE LA DUREZA
ACERO: DIN 34 CrAlMo 5



INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRACION SOBRE LA DUREZA ACERO: DIN 85 NIV 4



TEMPLADO: 800°C / agua.
REVENIDO: 200°C / 1 hora / aire.
NITRURADO: 500°C / aceite.



RECOCIDO: 730°C.
NITRURADO: 500°C / agua.

FIGURA 11

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRACION SOBRE LA DUREZA
ACERO: DIN C 85 W 2

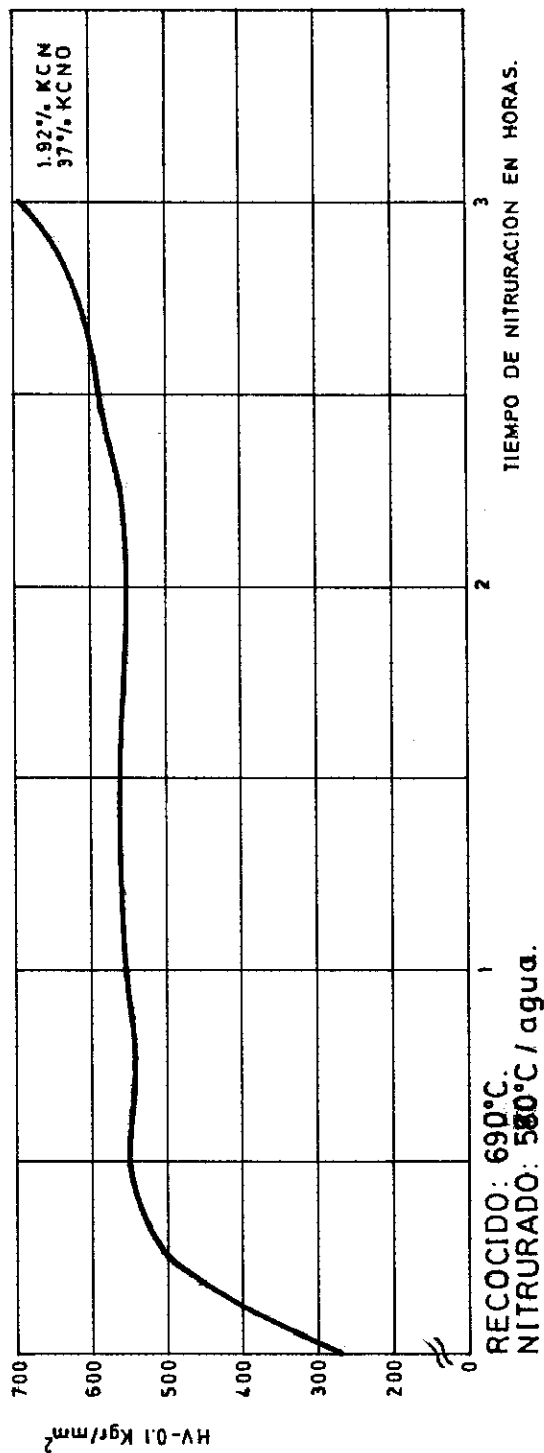
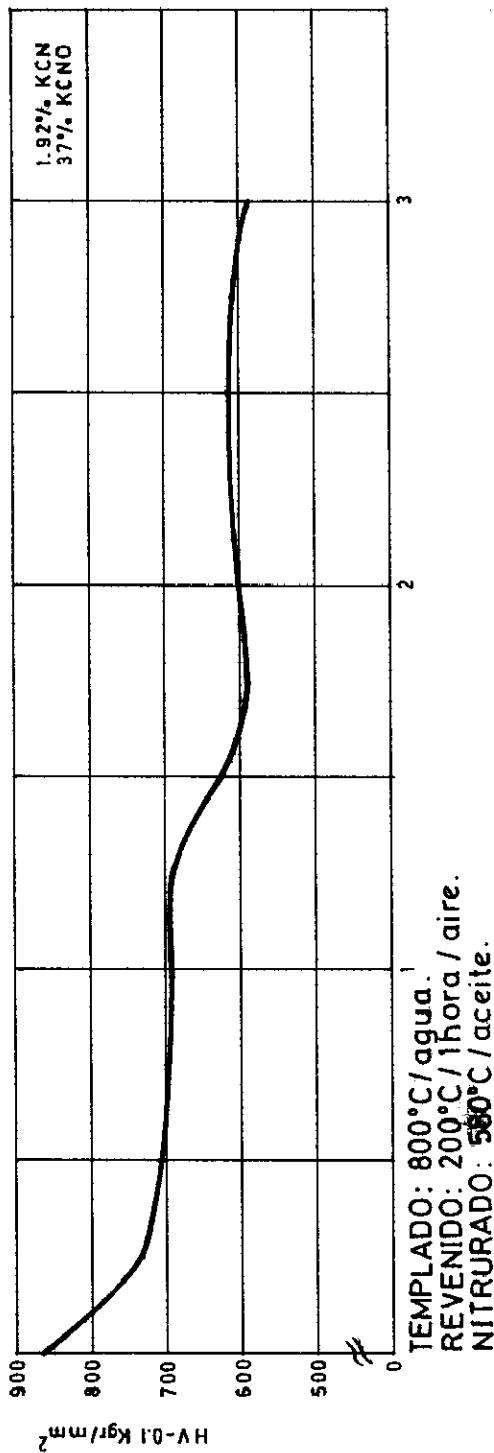
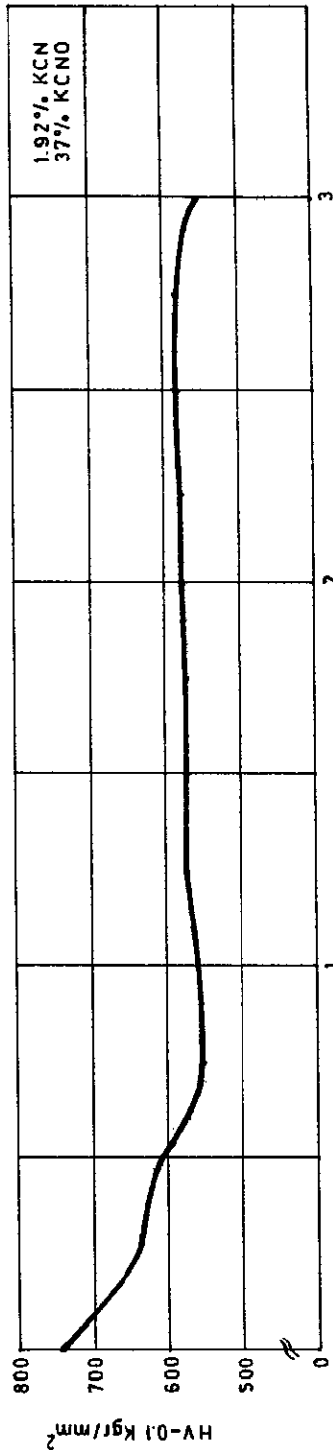


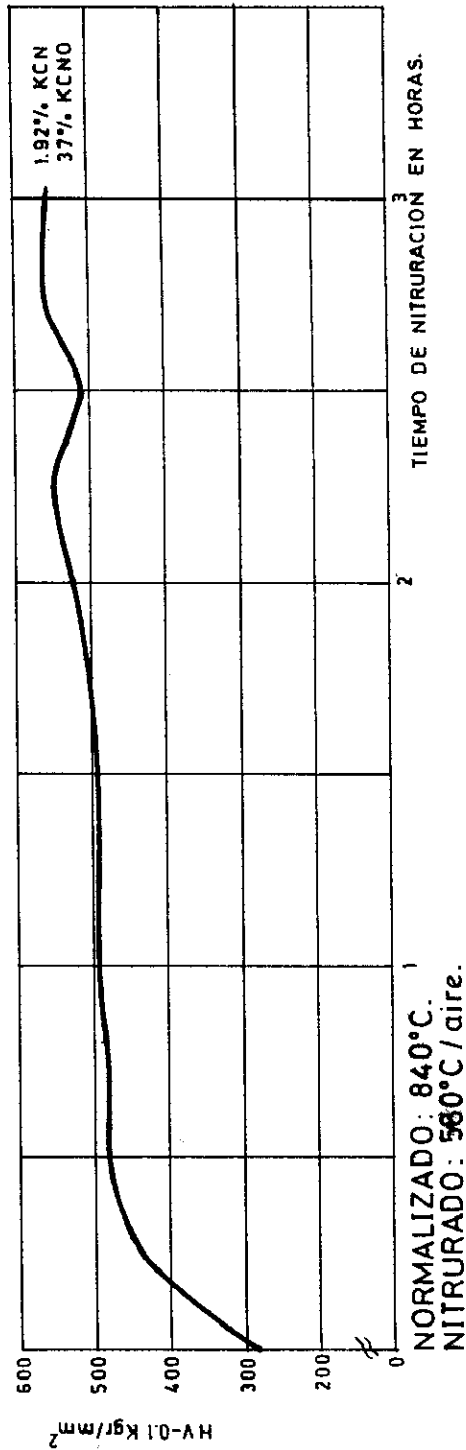
FIGURA 12

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION SOBRE LA DUREZA

ACERO: DIN Ck 60



TEMPLADO: 840°C/aceite.
REVENIDO: 160°C/1hora / aire.
NITRURADO: 580°C/aceite.



NORMALIZADO: 840°C.
NITRURADO: 580°C/aire.

FIGURA 13

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRACION SOBRE LA DUREZA

ACERO: DIN Ck 45

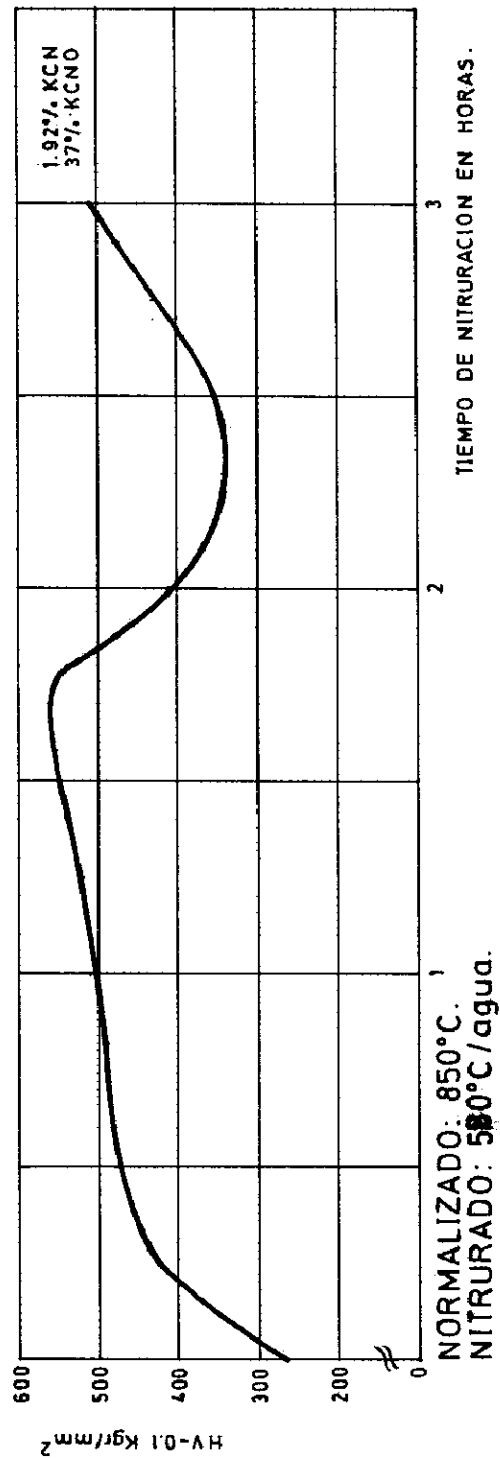
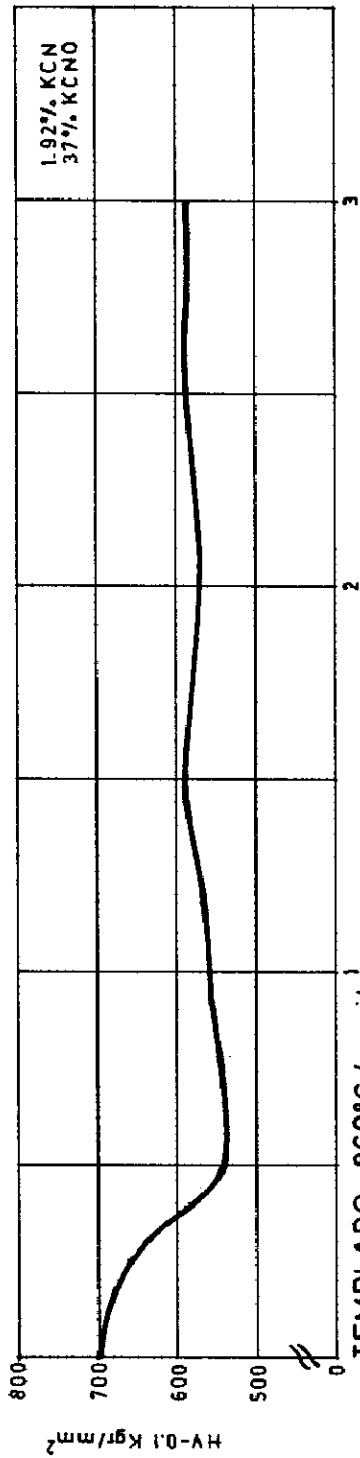


FIGURA 14

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION SOBRE LA DUREZA
ACERO: AISI 1118

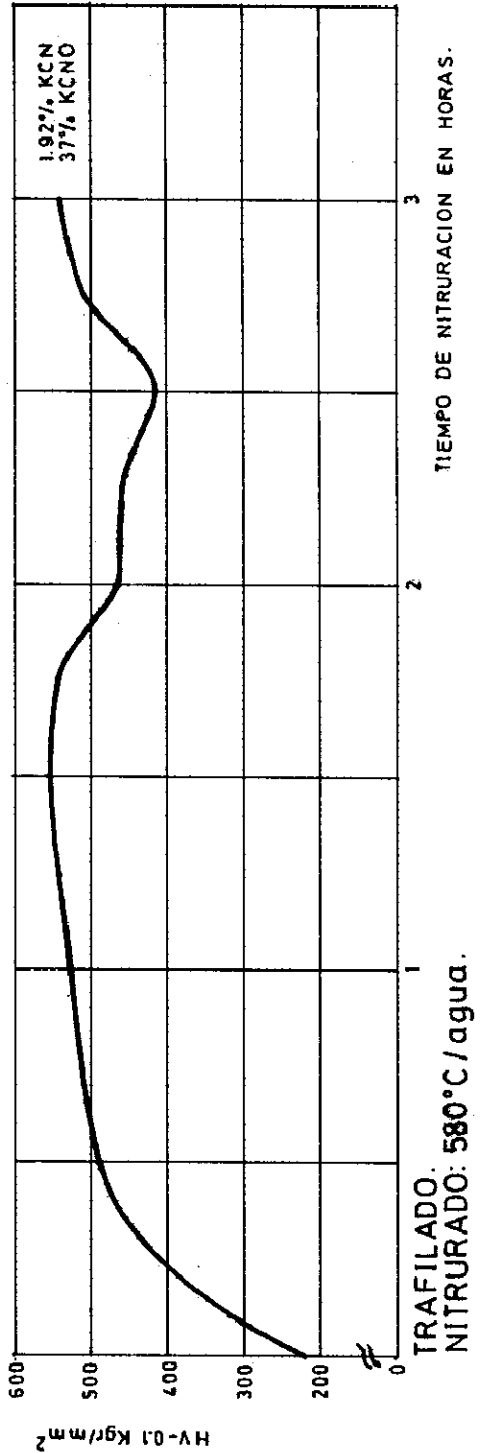
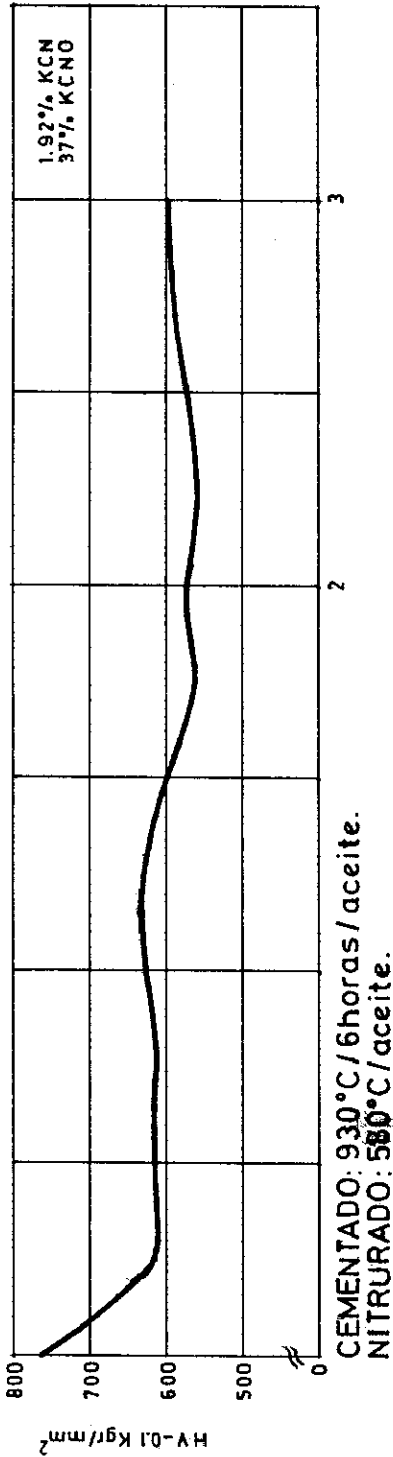


FIGURA 15
INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION SOBRE LA DUREZA
ACERO: AISI 1113

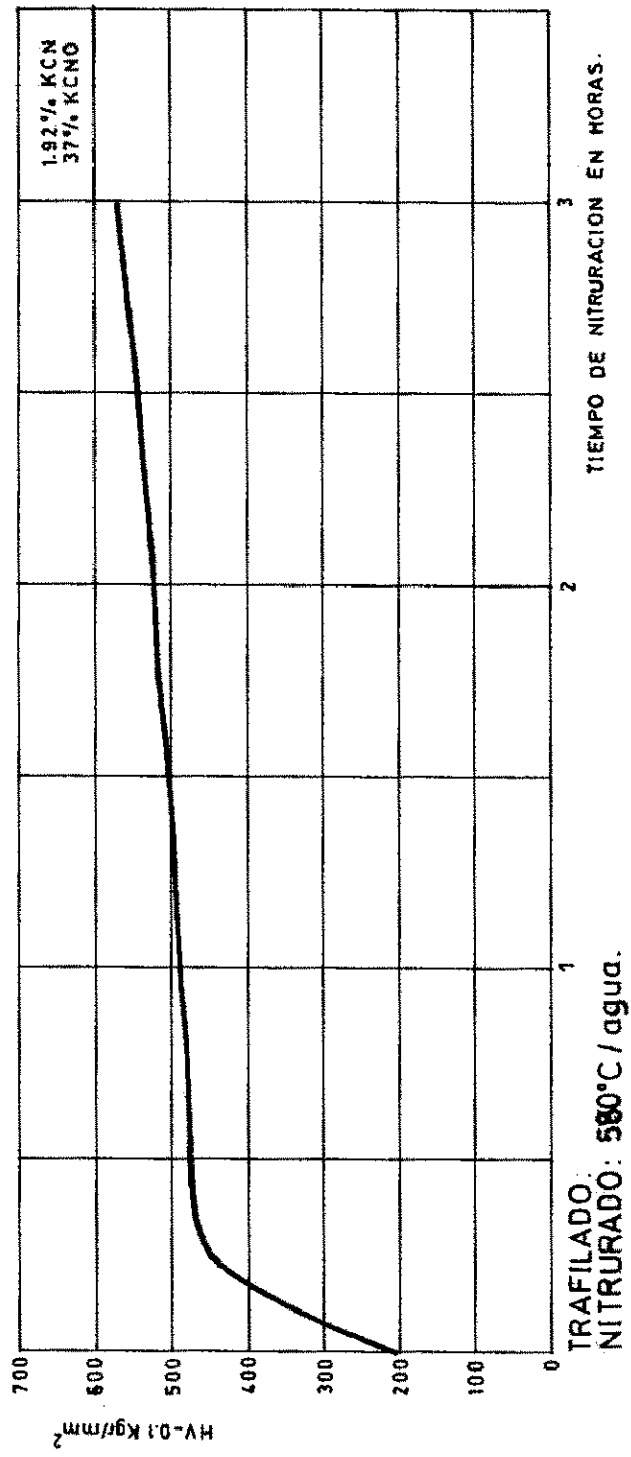
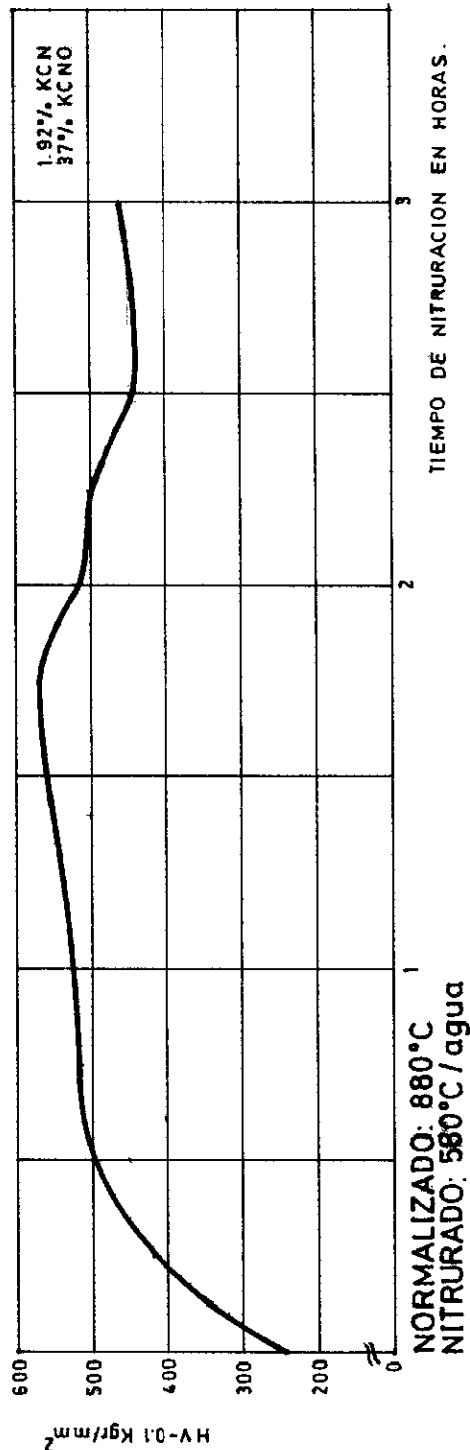
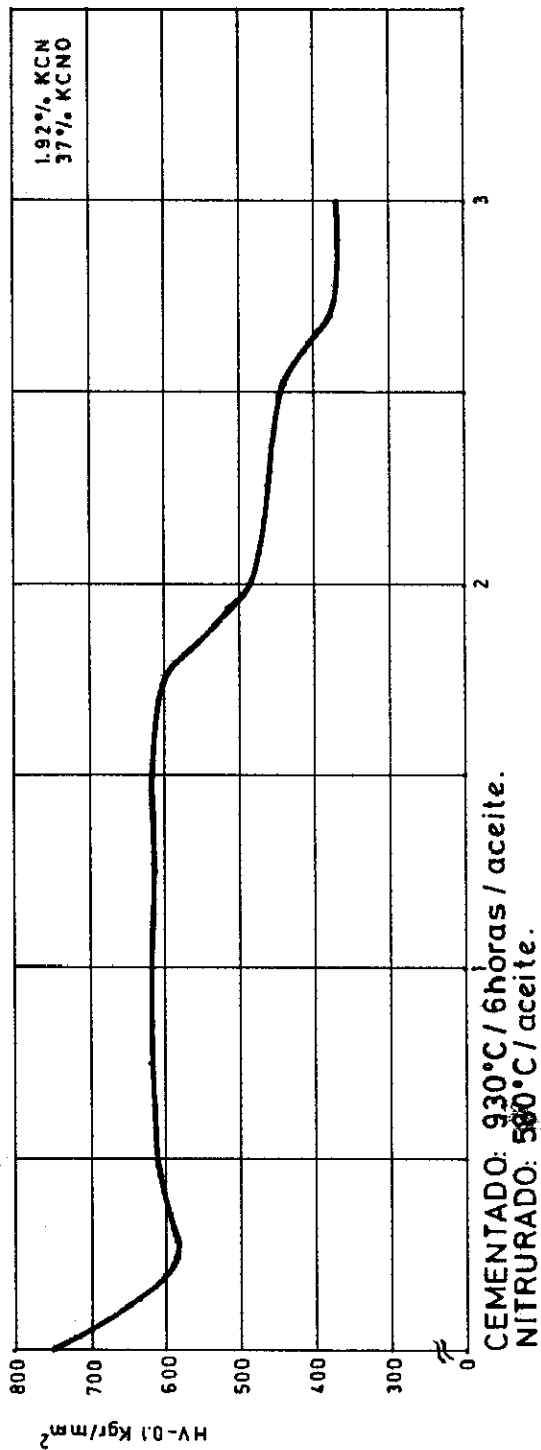


FIGURA 16

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRACION SOBRE LA DUREZA
ACERO: AISI C1020



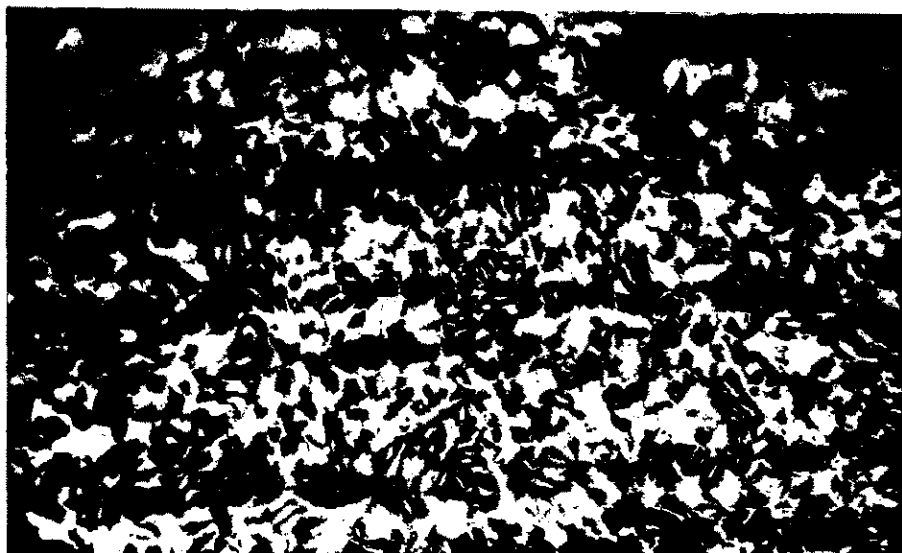


FIG. 17

SECCION LONGITUDINAL DEL NUCLEO EN EL ACERO 34 Cr Al Mo5

A 400. X

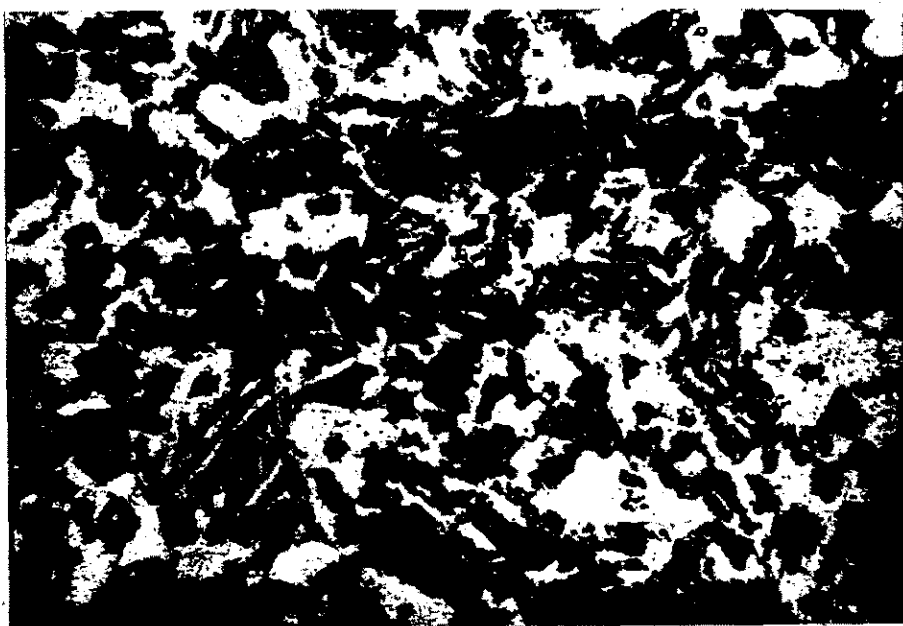


FIG. 18

SECCION LONGITUDINAL DEL NUCLEO EN EL ACERO 34 Cr Al Mo5

A 1000 X

FIGURA 19

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION SOBRE
EL ESPESOR DE LA CAPA DE COMPUESTOS

ACERO: DIN 34-CrAlMo-5

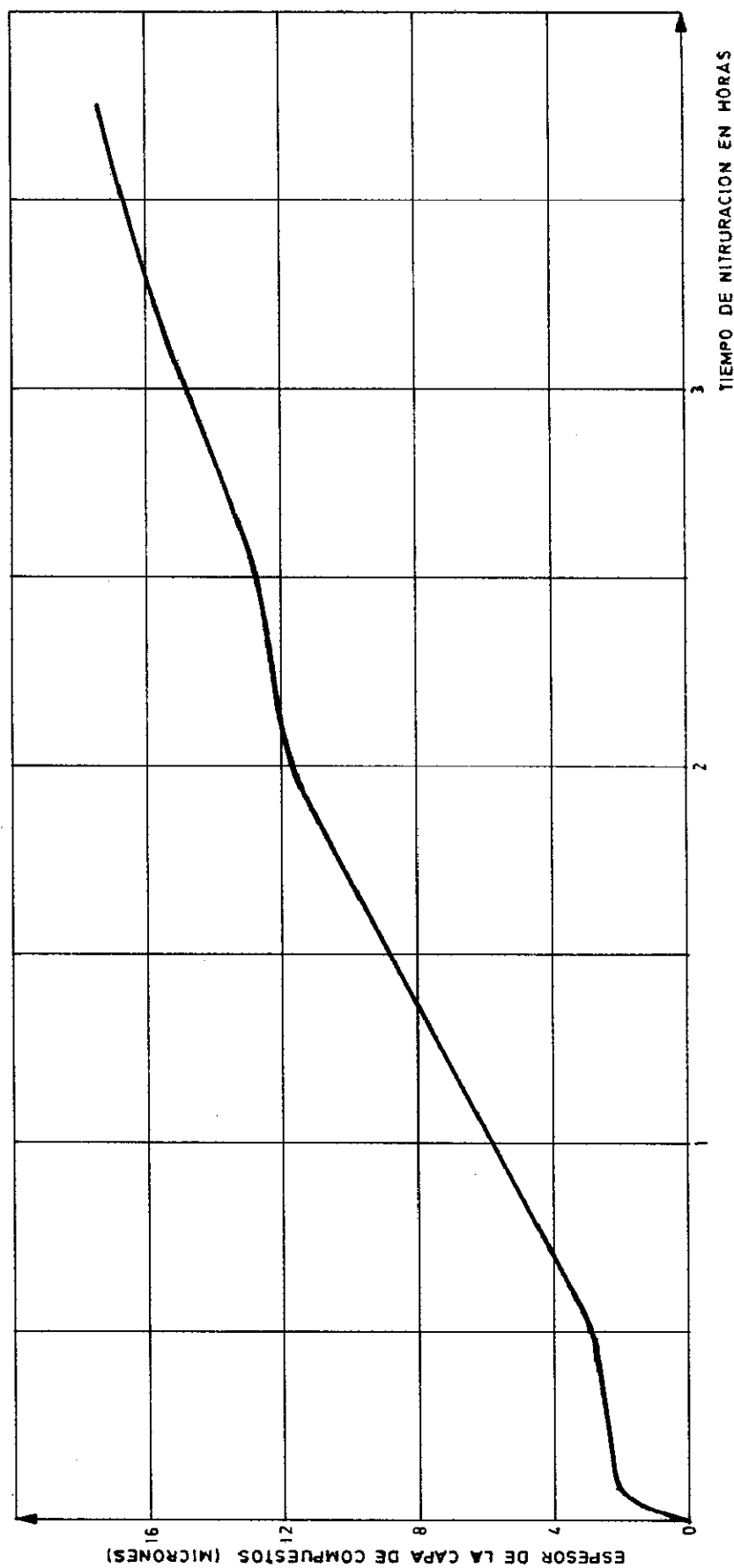
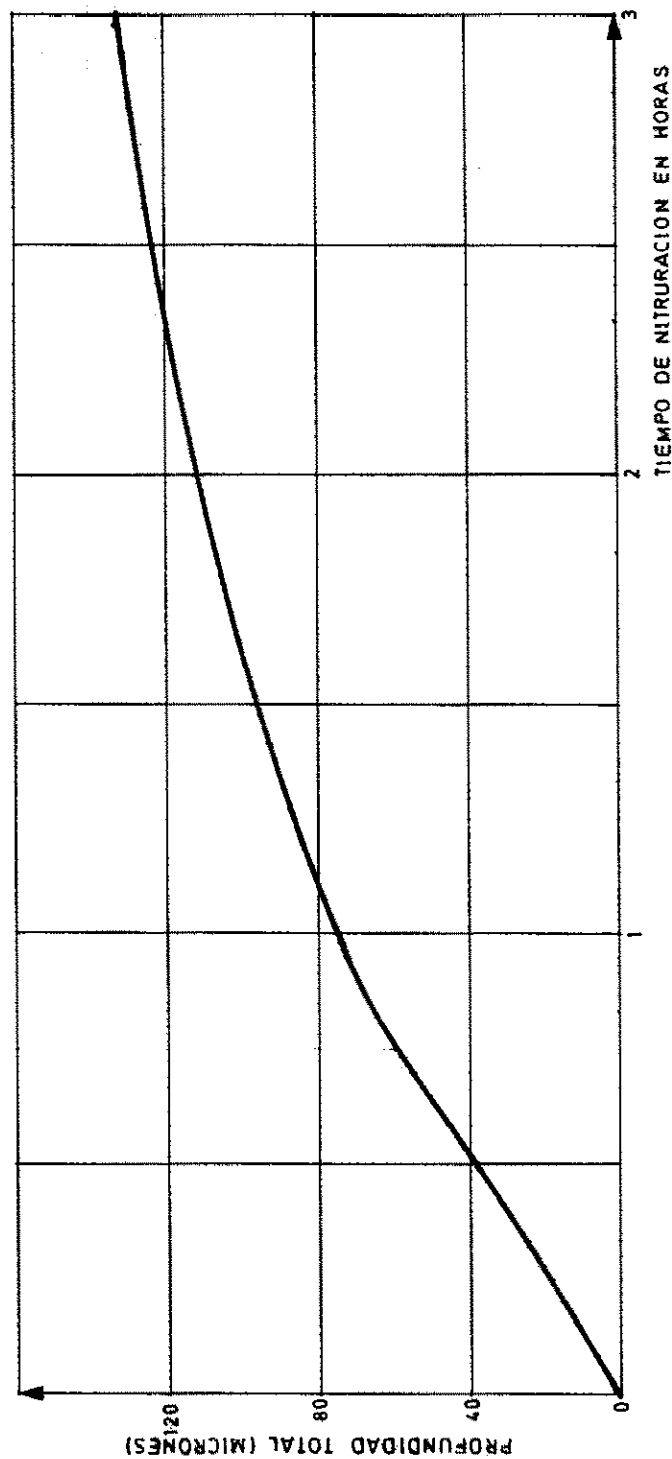


FIGURA 20
INFLUENCIA DEL TIEMPO DE NITRURACION
SOBRE LA PROFUNDIDAD TOTAL
ACERO: DIN-34 CrAlMo-5



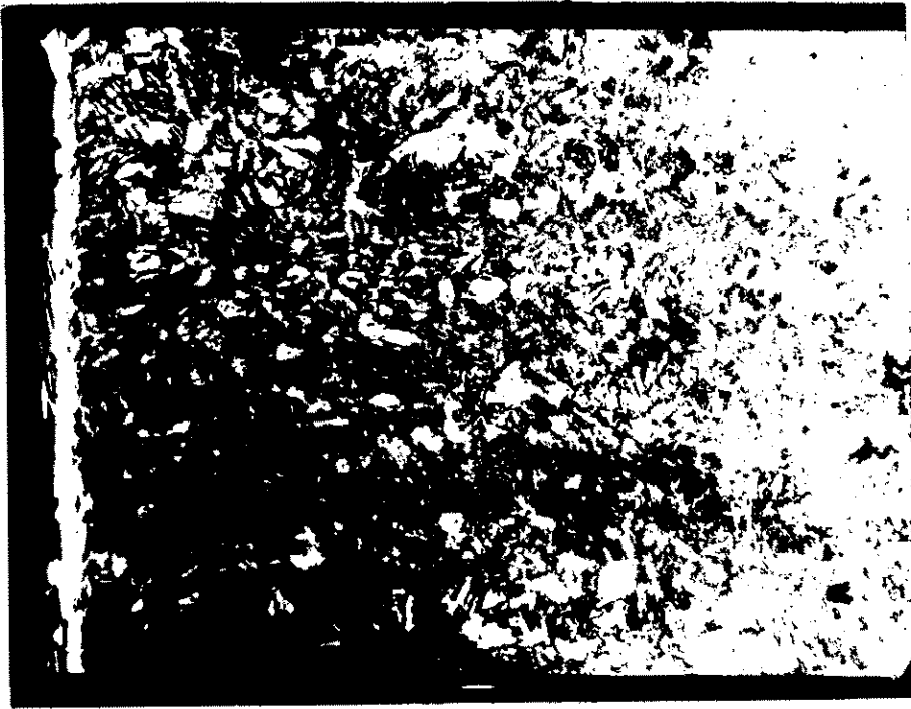


FIG. 21

ZONA DE COMPUESTOS Y DE DIFUSION DEL ACERO 34 Cr Al Mo 5
A 100 X



FIG. 22

ZONA DE COMPUESTOS Y DE DIFUSION DEL ACERO 34 Cr Al Mo 5
A 3000 X

VI CONCLUSIONES:

- 1.- Es necesario mantener la concentración de cianuro y cianato, de esta forma se asegura la buena difusión del nitrógeno.
- 2.- Es importante mantener el caudal de aire (180 lt/h), así el consumo de sal es estandar para una jornada de trabajo.
- 3.- Es indispensable que las piezas ingresen al horno completamente limpias, así el porcentaje de cianuro no se incrementa y el baño se mantiene benéfico al ambiente y a la pieza.
- 4.- A los ocho tipos de aceros, se les sometió a diferentes tratamientos de acuerdo a su composición química, finalmente se les sometió al tratamiento de nitruración, obteniéndose los mejores resultados en aceros con tratamiento de temple, bonificado, normalizado, recocido y trafilado más no en aceros con tratamiento de cementación.

En los materiales con tratamiento de temple y revenido, vemos que el núcleo es tenáz con una dureza propia de una martensita revenida y una superficie constituida de nitruros aleados, con lo que aseguraríamos el mejor rendimiento de dicho material en cualquier pieza.

En aceros de cementación conseguimos una superficie lo suficientemente dura, pero el núcleo sigue siendo blando, puesto que la cementación es un tratamiento superficial al igual que la nitruración, con la diferencia que el espesor de la capa cementada es de 2 mm., pero que no justifica económicamente, puesto que para cementarlo se ha tenido la muestra por espacio de 6 horas en el horno.

- 5.- Los datos obtenidos son experimentales, por lo tanto deben tomarse rangos de tiempo.

VII RECOMENDACIONES:

- 1.- Es conveniente controlar la composición química en cada jornada de trabajo.
- 2.- Cuando el porcentaje de cianato se altera, debe controlarse la temperatura, el aire y la limpieza del horno.
- 3.- Las piezas deben entrar al horno de nitruración completamente desengrasadas y decapadas, de esta forma se asegura el tratamiento.
- 4.- Antes de introducir las piezas en el horno de nitruración, deben ser precalentadas a 450°C, de esta forma se reduce el decremento de temperatura en el horno y las piezas estarán el tiempo exacto.
- 5.- Si uno quiere darle una apariencia más agradable a las piezas nitruradas, hay que introducirlas en soluciones a base de hidróxidos de álcalis con aditivos oxidantes. El aspecto que se consigue es del negro marrón al negro azulado.
- 6.- Las sales de nitruración deben almacenarse en lugares completamente secos porque tienden a absorber demasiada agua, perdiendo así su efecto.
- 7.- Las pruebas experimentales se han realizado en ocho tipos de aceros, por lo que se recomienda continuar el estudio con el resto de aceros que actualmente están en el Mercado.
- 8.- Sería conveniente que el estudio se amplíe en piezas acabadas, de esta manera, se tendría un panorama real de la influencia de la nitruración.

BIBLIOGRAFIA

Fundamentos Teóricos

- (1) APRAIZ BARREIRO JOSE., Tratamientos Térmicos de los Aceros. Madrid: Ed. Dossat, 1971.
- (2) APRAIZ BARREIRO JOSE., Aceros Especiales y otras Aleaciones. Madrid: Ed. Dossat, 1975.
- (3) LAMBERTO A y RUBIO FELIPE., Estudio de la Nitruración en Aceros. Separata del número 4, Año 5, Octubre-Diciembre 1952. De la Revista del Instituto del Hierro y del Acero.
- (4) SIDAN H. Y JUDENBURG., La Nitruración de Aceros Rápidos. Alemania Occidental: Degussa-Durferrit, 1967.
- (5) FINNERN BRUNO., Mayor Resistencia al Desgaste y a la Fatiga. Se obtienen en Piezas de Acero y de Fundición por el Tratamiento de Nitruración Salina "Tenifer". Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit.
- (6) EYSELL W., Tenifer-Behandlung Nitrierdauer bei Zahnradern. Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1967.
- (7) SCHNECK RICHARD Y HEILBRONN a.H., La Aplicación del Proceso Tenifer, en la construcción de matrices de corte, estampado y embutido. Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1964.
- (8) DEGUSSA-DURFERRIT., Baños de Sales para carburar y templar. Frankfurt/Main : 1967
- (9) WANKE KLAUS Y SCHRAMM KLAUS., Temple del Acero, traducido por: Muñoz del Corral F. Ed. Aguilar, 1972.
- (10) DEGUSSA-DURFERRIT., Sobre un Proceso de Nitruración en Baño de Sales no contaminante. Frankfurt/Main.
- (11) BOKSHTEIN B.S., Difusión en Metales. Moscú : Ed. MIR, 1978.

- (12) SIDAN H. Y JUDENBURG., Nitrier-Versuche mit Hochlegierten Stählen.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1975.
- (13) KUNST HELMUT. Diffusionsverfahren und ihre Anwendung zur Verschleißminderung an Werkzeugen und Maschinenelementen.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1977.
- (14) KRAUTKRAMER., Härteprüfgerät DHV 10 mit Digitalanzeige.
- (15) KINNERN B. y WOLFGANG., El control de las Piezas Nitruadas Alemania Occidental: Degussa - Durferrit 1965.

REFERENCIAS:

- 1.- EYSELL WILHELM FRIDRICH., Konventionelles Gasnitrieren heute übliche Verfahren - Konventionell Nitrierte Stähle Bauteileigenschaften.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1979.
- 2.- FINNER B. y WOLFGANG., Konstitution, Verfahrenstechnik und Anwendung Verschleiß fester Diffusionsschichten.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1973.
- 3.- FINNERN B., Änderungen der Eigenschaften der Bauteiloberfläche durch das Badnitrieren.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit.
- 4.- FINNERN B., Badnitrieren eine verzugsarme Wärmebehandlung.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit 1970.
- 5.- KELLEY K.K., Constitutions to the data on Theoretical Metallurgy. United States - Washington, 1960.
- 6.- KUNST H., Eigenschaften Von Proben und Bauteilen nach Badnitrieren und Abkühlen in einem Salzbad.
- 7.- KUNST H., Aufkohlen und Nitrieren im Salzbad.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit.
- 8.- LLODIO S.A., Tratamientos Térmicos de Herramientas de Acero. Bilbao/España: Ed. Urmo, 1973.

- 9.- MULLER JOHANNES., Heutiger Stand der Salzbadtechnologie unter Besonder Betrachtung des Salzbadnitrierens und Dessen Weltweite Anwendung.
Frankfurt/Main : Degussa - Durferrit.
- 10.- OHSAWA M., Der Heutige Stand des Nitrierens im Fahrzeugbau in Japan. Technische Mitteilung, 1979.
- 11.- PERRY H. JOHN., Chemical Engineers Handbook, Third Edition: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. U.S.A., 1961.
- 12.- ROEMPLER D., Erfahrungen mit dem Kurzzeitgasnitrieren im getriebebau.
Frankfurt/Main: Degussa - Durferrit, 1979.
- 13.- WEST C.W., Stahlschlüssel. Western Germany, 1974.