

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Escuela Profesional de Metalurgia



**NITROCARBURACION PARA LA DURABILIDAD DE
MATRICES EN EL PROCESO DE EXTRUSION**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

JOHN FREDDY GARCÍA MENDOCILLA

LIMA - PERÚ

2010

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por haberme ayudado en todo momento de mi vida

El presente informe está dedicado a mis padres, quienes con su apoyo incondicional y sus valores que ahora aplico en mi vida profesional en esta sociedad.

A mi abuela, quien con apoyo y comprensión me ayudo a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Este Informe nunca hubiera podido realizarse sin haber podido contar con la gran cantidad de recursos técnicos y humanos, de los que he podido disfrutar durante estos años.

Mis profundos agradecimientos a la Universidad Nacional de Ingeniería, que a través de su escuela de Ingeniería Metalúrgica de la facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica, me ha dado una formación académica y profesional.

Mis sinceros agradecimiento y reconocimiento al Ingeniero Manuel Cruz, por todo el apoyo en la elaboración y culminación de este trabajo de investigación.

Gracias a la empresa donde actualmente estoy laborando, en especial a los ingenieros Oswaldo Hirakata, Renan Erazo, Julio Gibu y a todo el personal de la empresa por toda la consulta y ayuda brindada en cada momento.

Un agradecimiento especial a la Dra. Gladys Ocharan de la empresa de Microscopia Electrónica y Aplicaciones en el Perú S.A.C. (MyAP), por la gran colaboración para incrementar información para el presente informe.

Si algo he aprendido es que, pase lo que pase, nunca hay que perder la sonrisa y la calma porque tras este camino, no solo se enriquece el conocimiento, se te llena la vida de amigos, amigos incondicionales que te apoyarán en todo momento. El camino ha sido largo, a veces fatigoso, a veces muy divertido y estimulante, pero sin duda no lo hubiese podido recorrer nunca sin la ayuda de mis padres, mi principal motor durante todos estos años. Gracias a ellos porque siempre he tenido su apoyo, y todo se lo debo a ellos.

RESUMEN

En el presente informe, se exponen las observaciones obtenidas en el estudio experimental de la Nitrocarburation para el tratamiento térmico del acero en caliente conocido como AISI H13, siendo como principal objetivo la durabilidad de las matrices en el proceso de extrusión, se utilizó un horno de nitrocarburation de la empresa española TECALEX, donde se suministraron los siguientes gases: nitrógeno, amoníaco y CO₂.

Una vez preparada las matrices se ingresan al horno a las condiciones descritas en el presente informe, lográndose obtener durezas que están dentro del rango permitido, cabe resaltar también que este tipo de tratamiento térmico es un método de endurecimiento superficial mediante la modificación parcial de la composición química cuyo objetivo es aumentar la dureza y la resistencia al desgaste superficial.

Se evaluó el costo de realizar el proceso y si cumple con prolongar la vida útil de la matriz, logrando tener resultados favorables a dicho proceso y la formación de la capa blanca y una zona nitrocarburada muy buena, pero este tratamiento puede optimizarse aun más si se contara con flujómetros.

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	4
1.1.- Reseña histórica de la nitruración.....	4
1.2.- Nitruración.....	7
1.3.- Nitrocarburation.....	15
1.4.- Diagrama de fases de Fe-N.....	16
1.4.1.- Fases presentes en la nitruración	20
1.5.- Influencia de los elementos aleantes.....	23
1.6.- Propiedad de los aceros en caliente.....	28
1.7.- Propiedad en los aceros nitrurados.....	31
1.8.- Formación de la capa nitrocarburation.....	33
1.9.- Obtención del grado de disociación del amoníaco.....	41
1.10.- Temperatura de la nitruración.....	45
1.11.- Mecanismos de la nitruración.....	47
1.12.- Mecanismos de la nitrocarburation.....	48
1.13.- Determinación de la profundidad de nitrocarburation.....	50
1.14.- Diagrama de flujo del proceso de nitrocarburation.....	52
1.15.- Descripción del proceso de nitrocarburation.....	53
1.16.- Flow sheet de la planta de extrusión.....	54
1.17.- Descripción del proceso de extrusión.....	55
CAPITULO II: PRUEBAS EXPERIMENTALES	61
2.1.- Materiales.....	61
2.2.- Equipos para la nitrocarburation.....	61
2.3.- Horno de nitrocarburation.....	61
2.3.1.- Especificaciones técnicas.....	63
2.3.2.- Estructura principal.....	64
2.3.3.- Batería de resistencias.....	65

2.3.4.- Sondas.....	65
2.3.5.- Cámara de nitrocarburation.....	65
2.3.6.- Cuerpo de refrigeración.....	67
2.4.- Funcionamiento del horno de nitrocarburation.....	67
2.4.1.- Preparación del material a tratar: limpieza de las piezas.....	67
2.4.2.- Nivel de carga.....	68
2.4.3.- Carga del material al horno.....	68
2.5.- Preparación de probetas.....	69
2.6.- Análisis metalografico.....	71
2.7.- Análisis de la capa blanca por microscopia electrónica de barrido (SEM).....	72
2.8.- Perfiles de microdureza para la determinación de la profundidad de nitrocarburation.....	81
2.9.- Evaluación de las matrices en operación que certifique que el proceso de nitrocarburation funciona ó cumple con prolongar su vida útil.....	94
CAPITULO III: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	98
3.1- Descripción.....	98
3.2- Resultados.....	99
3.3.- Estudio de costos que justifique realizar dicho proyecto de nitrocarburation.....	101
3.3.1- Calculo de costos del proceso.....	101
3.3.2- Resultado obtenido de la Nitrocarburation.....	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS	
1. Planos de algunas matrices	
2. Información fotografica	
3. Informe de resultados obtenidos en un microanálisis realizado en la Universidad Católica del Perú.	

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias que realizan el proceso de extrusión, servicio de Metalmecánica, fabricación de matrices y otros, requieren durabilidad en sus herramientas para ello se requiere la aplicación del tratamiento térmico buscando obtener cada vez mejores resultados en el desempeño de la misma, por lo tanto esto conlleva a reducir costos, logrando un incremento y eficiencia en la producción.

El presente trabajo de investigación fue hecho para dar a conocer la aplicación del proceso de nitrocarburation a un acero que se desempeñara en un trabajo que implica el desgaste por fricción del aluminio.

El objetivo general es la aplicación de la Nitrocarburation para incrementar la durabilidad de las matrices en el proceso de extrusión, para ello se debe determinar las variables que controlan el proceso de las matrices empleadas en la fabricación de los perfiles de aluminio que permitan obtener resultados satisfactorios en estructura metalografica, dureza y resistencia al desgaste del acero conforme a los estándares aceptados.

El objetivo general, puede desglosarse en otros objetivos parciales, como son:

1. Encontrar los parámetros óptimos para crear un método de trabajo en el proceso de Nitrocarburation, para poder tener lo siguiente:
 - a. Incremento de la resistencia a la abrasión.
 - b. Mejora de la resistencia a la corrosión.
 - c. Incremento de la resistencia a la fatiga.
2. Establecer el método de trabajo en el proceso de Nitrocarburation de acuerdo con las variables que serán fijadas en esta investigación.
3. Estudio y comprensión de las reacciones producidas entre el acero y los gases que se usaran.
4. Análisis químicos que aporten datos sobre la difusión del nitrógeno en el acero con los parámetros del proceso.
5. Un completo análisis y ensayos metalograficos para observar como varían la estructura del acero.
6. Determinar por métodos experimentales la capa de difusión formada en el acero y de acuerdo al espesor se puede contribuir a la mejora de las propiedades mecánicas del acero.

Por otro lado, se ha logrado obtener curvas de durezas en función al tiempo de inmersión en el horno, así como también la concentración de los gases en cada caso las cuales permiten demostrar el incremento de la dureza en la superficie del acero.

No obstante, es necesario mencionar que en este trabajo, se ha hecho el tratamiento térmico a un tipo de acero especial AISI H13 que trabaja en caliente en el proceso de extrusión.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1.- RESEÑA HISTÓRICA DE LA NITRURACIÓN

La acción endurecedora que el nitrógeno ejerce sobre el hierro y los aceros fue descubierta por Fremy hacia el año 1861, cuando experimentaba la acción del amoníaco sobre piezas de acero calentadas a elevadas temperaturas.

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 anuncio 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 ese Eutectoide se le llamo braunita en recuerdo de su descubridor.

Después de terminada la primera guerra europea, en el año 1923, el doctor Fry, de la casa Krupp, descubrió que el problema por fragilidad de la capa exterior de las piezas nitruradas podía ser resuelto con el empleo de una temperatura relativamente baja (unos $500^{\circ}C$ aproximadamente) y con el uso

de los 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 y como normalmente se venía haciendo hasta que Fry realizo sus investigaciones.

Estudiando con ayuda del microscopio la capa periférica de las piezas nitruradas, se ve que, en general, esta formada por dos capas de aspecto diferente: una exterior blanca, muy delgada y muy frágil cuyo espesor suele variar de 0.05 a 0.005mm, y otra interior de mayor espesor, oscura, que es la verdaderamente importante. Se ha comprobado que esta ultima capa esta formada por nitruros de elementos aleados, y en cambio, en la exterior blanca, además de los nitruros aleados, aparece también el nitruro de hierro.

La capa exterior blanca, generalmente de muy poco espesor, es muy perjudicial y su aparición debe evitarse en cuanto sea posible, siendo en cambio la capa interna de mayor espesor formada por los nitruros de aluminio, cromo y molibdeno la de mayor interés en el proceso y la verdaderamente fundamental. Generalmente, la capa exterior blanca queda eliminada cuando a las piezas se les da un ligero rectificado.

En los procesos industriales esas capas periféricas duras se forman cuando a la temperatura de nitruración (que como hemos dicho antes es de unos 500°C aproximadamente), se pone el nitrógeno atómico en contacto con la superficie del acero. Entonces el nitrógeno se difunde desde la superficie hacia el interior de las piezas de acero y se forman nitruros submicroscópicos en su zona periférica que, como veremos mas adelante, son los causantes del aumento de dureza.

El nitrógeno que se emplea en el proceso proviene del amoniaco que, al ponerse a elevada temperatura en contacto con el acero caliente que actúa como un verdadero agente catalizador, se disocia en nitrógeno e hidrogeno atómicos produciéndose las siguientes reacciones:



Siendo el nitrógeno atómico el agente fundamental en la nitruración.

Únicamente una pequeña proporción del nitrógeno reacciona en el acero, transformándose rápidamente el resto en nitrógeno molecular inerte. El hidrogeno también se encuentra en los primeros momentos en estado atómico, pero pasa luego rápidamente al estado molecular.

1.2.- NITRURACIÓN.

La Nitruración es un tratamiento que tiene por objeto aportar nitrógeno a la capa superficial de los aceros, con lo que se consigue endurecerla extraordinariamente.

La operación se realiza calentando las piezas a unos 500 ° en una corriente de Amoniaco durante uno a cuatro días.

El Amoniaco se disocia con el calor, dando:



El nitrógeno activo producido se combina parcialmente con los aleantes del acero formando nitruros complejos de elevada dureza.

La dureza se atribuye a la formación de Nitruros de los elementos de aleación del acero, principalmente Al, Cr, Mo.

Los espesores de la capa nitrurada mas empleados varían entre 0.20 a 0.70 mm, según la duración de la operación, consiguiéndose aproximadamente un espesor de 0.3 mm por día.

La temperatura no suele pasar de 500°C, pues si se pasase de esta temperatura se obtendrían capas nitruradas muy frágiles. Precisamente el operar a bajas temperatura es una ventaja de la Nitruración, pues así no hay aumento del tamaño de grano ni es preciso someter a la pieza a ningún

tratamiento posterior, ni a ninguna operación de acabado, puesto que casi no sufren deformaciones, bastando un ligero rectificado.

Las piezas nitruradas se tiemplan y revienen; pero a diferencia de la cementación, el tratamiento se efectúa antes y no después de la Nitruración.

Y esto es porque el tratamiento térmico perjudicaría la capa nitrurada. En cambio, templados los aceros antes de la Nitruración, resisten mejor las fuertes presiones ejercidas por la capa nitrurada sobre el núcleo. Con la Nitruración se obtienen durezas elevadas, superiores a 78 Rockwell C

Características de la nitruración:

- a.- Temperatura de tratamiento inferior a la crítica, entre 500°C a 540°C
- b.- Las piezas son menos susceptible de distorsionarse por calentamiento.
- c.- No hay necesidad de un tratamiento posterior a la nitruración.

La diferencia con la cementación es que el nitrógeno se adiciona a la fase α lo que puede lograrse con un mínimo de distorsión y excelente control dimensional.

Además de la alta dureza superficial y excelente resistencia al desgaste, los aceros nitrurados que son aceros aleados especiales se caracterizan por retener su dureza a temperaturas elevadas y resistir bien a la acción

corrosiva de ciertos medios como atmósferas alcalinas, petróleo crudo, productos de combustión de gas natural, etc.

Como la difusión del Nitrógeno es muy lenta el proceso tardara veces una operación dura 90 horas. Generalmente el tiempo de tratamiento se encuentra entre 48 a 72 horas. Aun con tiempo mas prolongadas las capas nitruradas son de menor espesor que las capas cementadas, alcanzando difícilmente espesores mas allá de los 0.8mm.

La dureza superficial obtenida es del orden de 1000 a 1100 Vickers muy superior a la obtenida por cementación.

Propiedades de las capa nitruradas

La dureza máxima en las vecindades de la superficie se extiende entre 0.03 a 0.05mm, el espesor nitrurado puede llegar a 1mm.

La dureza, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga debido a la presencia del nitrógeno son superiores a las capas cementadas.

La dureza a temperaturas elevadas es apreciable, manteniéndose hasta temperaturas del orden de 500°C lo que constituye un factor de gran importancia en la aplicación de los aceros nitrurados.

La resistencia a la corrosión es otra característica de los aceros nitrurados; resisten satisfactoriamente al aire húmedo, al agua dulce, al vapor de agua.

Ventajas de la nitruración:

Produce alta dureza superficial

Incrementa la resistencia al desgaste

Prolonga la vida a la fatiga

Con excepción de los aceros inoxidable, mejora la resistencia a la corrosión

Mejora la resistencia en caliente

Desventajas en la nitruración.

Principalmente: Crecimiento del material que depende principalmente del tiempo el cual constituye otro de los inconvenientes y de la temperatura.

Este crecimiento puede ser removido mediante un maquinado conveniente o una rectificación después de la nitruración

Relación y factores que intervienen en la nitruración

La nitruración se realiza normalmente a una temperatura de nitruración de unos 500 a 525°C, siempre inferior a la de formación de la eutectoide braunita, por dar lugar este constituyente a capas frágiles.

Las piezas con su superficie bien limpia, desengrasada y desprovista de oxido, se introducen en el horno; se comienza a pasar la corriente de amoníaco para desalojar el aire antes de alcanzar la temperatura de trabajo,

lo que impide la oxidación de las piezas en el propio horno, y se mantienen a la temperatura fijada el tiempo preciso para alcanzar la profundidad de capa deseada.

El espesor de capa, en cada caso, es función de su composición, tiempo y temperatura de nitruración. Cuando más elevada sea la temperatura o mayor el tiempo, mas profunda es la capa obtenida.

Las capas nitruradas son poco profundas, dada la lentitud de difusión del nitrógeno, pues con tratamientos de 60 a 70 horas de duración solamente se alcanzan profundidades del orden de 0.5 a 0.65mm., dependientes de la composición del acero y de la temperatura de nitruración.

Respecto a la composición, al disminuir el contenido de elementos de aleación, aumenta el espesor de capa obtenida para un tiempo dado.

La estructura del acero asimismo fundamental. Las capas más duras y tenaces se consiguen con estructuras de martensita revenida. De aquí que los aceros se nitruren después de templados y revenidos.

Aceros para Nitrurar

Reciben este nombre un grupo de aceros que tienen la propiedad de quedar con una gran dureza superficial después de permanecer dentro de un horno a temperaturas relativamente elevada (unos 500°C aproximadamente) en

presencia de amoníaco disociado,. Estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas que deben tener gran dureza en la capa periférica, y a la vez buena tenacidad en el núcleo.

Por medio del tratamiento de nitruración se pueden conseguir capas superficiales de dureza excepcionalmente elevada, directamente, sin necesidad de ningún otro tratamiento térmico posterior como exige la cementación. Las piezas nitruradas cuando son sacadas del horno al terminar la nitruración, quedan ya con dureza elevadísima. Se suelen conseguir durezas superficiales variables de 600 a 1100 Vickers, que dependen, principalmente, de la composición del acero que se ha empleado y que, en general, suelen ser más elevadas que las que se obtienen en las piezas cementadas. El espesor de la capa nitrurada y de la capa dura suele ser pequeño, inferior generalmente a 0.50mm.

El contenido de carbono debe estar comprendido entre 0.25-0.50% de carbono, viene fijado por las características mecánicas que se desean conseguir en el núcleo central después del temple y revenido que se dan a las piezas antes de la nitruración.

Contenidos de carbono por debajo de 0.25% no se pueden emplear porque experimentalmente se ha visto que, con bajos contenidos de carbono, la capa exterior nitrurada queda muy frágil. Además, al no poderse obtener con aceros de bajo contenido en carbono gran resistencia en el núcleo central,

en ocasiones este cedería bajo fuerte presión de la capa exterior. Contenidos de carbono más elevados no son recomendables porque la mecanización de las piezas sería difícil, sin que ese elevado contenido en carbono proporcione, por otra parte, ninguna ventaja apreciable.

Para que la nitruración sea eficaz y se alcancen grandes durezas con suficiente tenacidad, deben emplearse aceros con ciertos elementos de aleación. En este sentido, el cromo, molibdeno, aluminio y vanadio son los que ejercen una influencia más notable y beneficiosa.

En la nitruración las mayores durezas se consiguen con aceros que contienen 15% de aluminio aproximadamente, con 35% de cromo, influyendo menos el molibdeno y el vanadio en las máximas durezas que se obtienen en las piezas.

Para realizarse la nitruración a temperaturas próximas a los 500°C y durante un periodo muy largo de tiempo, es necesario vigilar la posible aparición de la "fragilidad Krupp" o fragilidad de revenido en el núcleo central de las piezas, ya que los calentamientos prolongados a esas temperaturas son muy peligrosos, y para contrarrestar ese fenómeno es muy conveniente y necesaria la presencia del molibdeno. Por esta circunstancia, todos los aceros de nitruración contienen porcentajes de molibdeno, variables de 0.20 a 1%.

Aceros de nitruración más empleados

Los grupos de aceros de nitruración más utilizados en la actualidad son:

1. **Aceros cromo-aluminio-molibdeno**, con 0.80 a 1.20% de aluminio, 0.90 a 1.605% de cromo y 0.20% de molibdeno, se emplean en los casos en que interese la máxima dureza superficial, que suele oscilar entre 1000 y 1100 Vickers. Estos aceros fueron los que más se utilizaron en los primeros tiempos cuando interesaba principalmente obtener durezas muy elevadas con gran resistencia al desgaste.
2. **Aceros altos en cromo con molibdeno y vanadio**, aunque con estos aceros solo se consiguen durezas superficiales comprendidas entre 800 y 850 Vickers, esas durezas son todavía extraordinarias y las capas nitruradas son mucho más tenaces que las de aceros con aluminio. El contenido en cromo es de 3%; el molibdeno de 0.40 a 1% y el vanadio de 0 a 0.25%. este elevado porcentaje de cromo aumenta ligeramente la profundidad de la capa nitrurada. Estos aceros se emplean cuando interesan durezas muy elevadas, similares a las de la cementación, pero conviene también que la capa nitrurada sea tenaz y este bien adherida.
3. **Aceros cromo-molibdeno-vanadio**, se obtienen durezas superficiales de 750 Vickers. El contenido en cromo es de 2%; el molibdeno de 0.25% y el vanadio de 0.15%. en estos aceros la dureza

superficial es algo menor que la que corresponde a los anteriores, pero la tenacidad de la capa nitrurada es mayor que en los casos anteriores.

4. **Aceros cromo-molibdeno**, que son de menor dureza superficial (650 Vickers), y tienen la capa nitrurada mas tenaz que los anteriores. Su contenido en cromo es de 1% y en molibdeno de 1.20%.

1.3.- NITROCARBURACIÓN.

La Nitrocarburation es un tratamiento con el que se consigue endurecer una capa superficial de los aceros por la absorción simultánea de carbono y nitrógeno.

Se define como un proceso en el cual una aleación de acero puede endurecerse superficialmente por calentamiento en una atmósfera gaseosa de tal composición que permita incorporar simultáneamente a la aleación carbono y nitrógeno, siendo posteriormente enfriada convenientemente, para obtener las propiedades deseadas.

Una de las características más sobresaliente de la nitrocarburation es la disminución de la velocidad crítica de temple, que produce en los aceros nitrocarburationados la aportación de nitrógeno en la austenita. Con una aportación de 0.56 por ciento de Nitrógeno, baja el punto de austenizacion a 590° con un contenido de carbono de 2.2%. Y al ser las temperaturas de

transformación más bajas, puede realizarse el tratamiento a temperaturas inferiores a la de cementación, con lo que resulta una disminución del crecimiento de grano.

Además las piezas Nitrocarbурadas de aceros al carbono tienen una velocidad de temple suficientemente baja para enfriarlas en aceite, obteniendo por consiguiente, una disminución de deformaciones y grietas.

Esto trae como consecuencia también el menor empleo de aceros aleados para piezas Nitrocarbурadas, puesto que con aceros al carbono se obtienen buenas características.

Las piezas Nitrocarbурadas se suelen templar y revenir obteniéndose durezas hasta de 65 HRC.

1.4.- DIAGRAMA DE FASES DE Fe-N

En el diagrama hierro-nitrógeno se señalan los principales constituyentes que pueden aparecer, determinados en su mayor parte nitrurando los aceros a temperaturas mucho más elevadas que la normal, porque de esa forma se facilita mucho su estudio.

En el diagrama hierro-nitrógeno preparado inicialmente por Fry y corregido luego algunos años mas tarde por Eisenhut, Kaupp y Cohrer (Figura 1.1), se

señalan las zonas de equilibrio de los constituyentes formados por el hierro y el nitrógeno.

Fry observó que nitrurando los aceros al carbono extradulces de 700° a 800° en una atmósfera de amoníaco, se obtenían capas relativamente duras, pero tan frágiles que el proceso no tenía aplicación industrial, y comprobó también que la principal causa de esa gran fragilidad era la aparición del constituyente eutectoide (braunita: N= 2.35%), que se forma cuando la nitruración se realiza a temperatura superior a 590°.

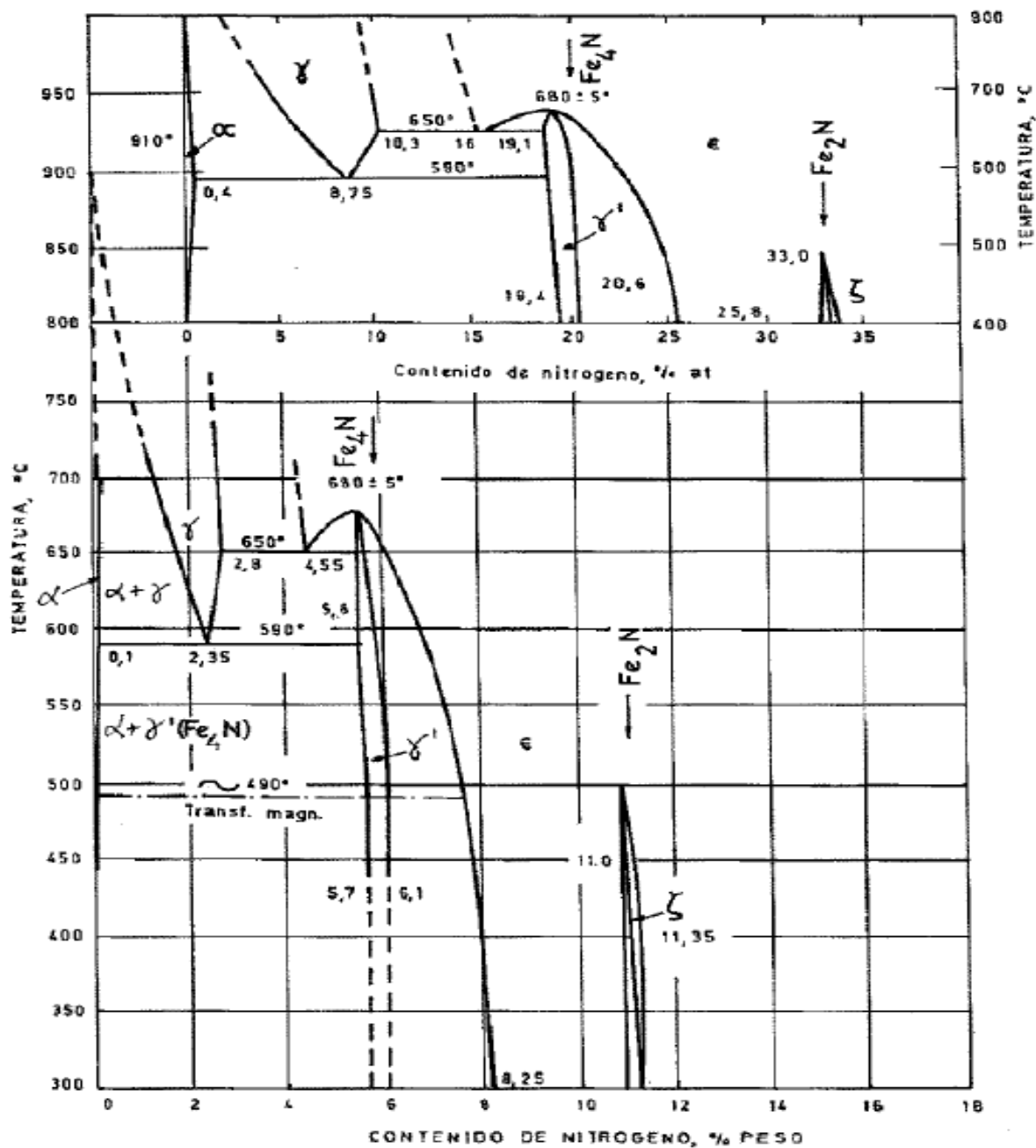


Figura 1.1. Diagrama de fases de Fe-N (Tomado de la tesis "Nitruración gaseosa en los aceros SAE 4340, SAE 4140, SAE 1045" de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

En ese caso se llegan a alcanzar en el interior de las piezas de acero muy elevados porcentajes de nitrógeno, llegándose a veces hasta 6 y 9%. En una sección transversal de un hierro nitrurado a 600° (temperatura demasiado elevada), se observa que la capa periférica esta constituida por los

siguientes constituyentes: una zona exterior clara de nitruros Fe_2N y Fe_4N ; otra oscura de braunita eutectoide; otra de carácter ferrítico o perlítico según sea el contenido en carbono del material que se nitrura, con un pequeño porcentaje de nitruro Fe_4N en los espacios intercristalinos del hierro alfa, y finalmente, la capa interior inalterada.

Además, aparecen más o menos marcadas otras fases de transición que se pueden determinar con ayuda del diagrama hierro-nitrógeno. De la periferia al centro pueden aparecer las siguientes fases: ϵ , $\epsilon + \gamma'$, γ' , $\gamma' + \alpha$ y α .

En sus experiencias Fry no consiguió con los aceros al carbono resultados satisfactorios, pues obtenía durezas relativamente bajas y las capas nitruradas tenían poca tenacidad. Mas tarde, nitrurando aceros aleados, alcanzo un gran éxito, al descubrir la influencia decisiva del aluminio, cromo y molibdeno y al hallar ciertas composiciones con las que se obtienen capas nitruradas de extraordinaria dureza, bastante profundidad y buena tenacidad.

Al estudiar con ayuda del microscopio los aceros al carbono nitrurados a temperatura elevada (muy superior a las corrientes y recomendables), se observa la existencia de dos nitruros: uno Fe_2N (nitruro 1) que contiene 11.3% de nitrógeno, y otro Fe_4N , que contiene 5.8% (nitruro 2). También se observa la presencia de un eutectoide, con 2.35% de nitrógeno, constituido por hierro alfa y nitruro 2 (fase γ'), al que se dio el nombre de braunita.

A temperaturas inferiores a la eutectoide (590°C), el porcentaje de nitrógeno que puede formar solución sólida con el hierro alfa es muy pequeño, variando desde 0.42% a 590°C, hasta 0.001% a la temperatura ambiente. En cambio a temperaturas más elevadas, el hierro disuelve mayores cantidades de nitrógeno y se forman otros constituyentes.

Además de las fases α y γ que se presentan normalmente en todos los aceros ordinarios, aparecen la citada fase γ' que cristaliza en el sistema cúbico y es estable solo en una zona muy estrecha de 5.6 a 5.9% de nitrógeno aproximadamente, y la fase ϵ que cristaliza en el sistema Hexagonal y es estable para porcentajes de nitrógeno variables de 8 a 11.3% aproximadamente.

1.4.1.- FASES PRESENTES EN LA NITRURACION

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

- a. **La fase α** , es la ferrita nitrogenada con una red cúbica centrada en el cuerpo y con periodos, según el contenido de nitrógeno, de 0.28664...0.2877 μm . la solubilidad del Nitrógeno en el hierro α a la

temperatura eutectoide no supera el 0.10%, descendiendo a la temperatura ambiente hasta el 0.004%.

La solubilidad de la fase α en nitrógeno es baja a temperatura de nitruración y prácticamente nula a temperatura ambiente.

- b. **La fase γ** , es la austenita, tiene la red cúbica centrada en las caras ($a = 0.3613$ para 1.45% de N y $a = 0.3648$ para el 2.79% de N), la solubilidad máxima del nitrógeno en la fase γ es de 2.8% a 560°C la fase γ sufre descomposición eutectoide $\gamma = \alpha + \gamma'$. En condiciones de un fuerte subenfriamiento la fase experimenta la transformación martensítica formando la fase α' (martensita nitrogenada) con la red tetragonal centrada en el cuerpo; durante el calentamiento (revenido) la martensita nitrogenada (fase α') se descompone formando primeramente la fase α'' (Fe_6N_2) al aumentar la temperatura de revenido, la fase γ' : $\alpha = \alpha' + \alpha'' = \alpha + \gamma'$.
- c. **La fase γ'** , es la solución sólida a base de nitruro de Fe_4N con la red cúbica centrada en las caras ($a = 0.3791 \dots 0.3801 \text{nm}$) con una zona estrecha de homogeneidad de un 5.3...5.75% de N (según otros datos, un 5.77...5.88% de N); la fase γ' es estable solo hasta 680°C a una temperatura mas alta se forma la fase ϵ . Su dureza es 4 a 5 veces mas alta que la del hierro puro (HV=800).

- d. **La fase ϵ** , es la solución sólida intersticial, la base de nitruro Fe_2N y Fe_3N (4.55...11.0% de N), la red cristalina es hexagonal ($a = 0.2702...0.2764\text{nm}$, $c = 0.433...0.441\text{nm}$, dependiendo del contenido de nitrógeno). a 650°C y con una concentración de nitrógeno de 4.5% la fase ϵ sufre la descomposición eutéctica en las fases γ y γ' .

A la temperatura de nitruración utilizadas corrientemente, el nitrógeno se disuelve en el hierro solo hasta 0.1%, cuando se excede este valor se forma el nitruro γ' (Fe_4N), si la concentración de nitrógeno no excede 6% el nitruro γ' empieza a transformarse en ϵ . Por debajo de 500°C empieza a formarse el nitruro ϵ (Fe_2N).

Cuando se observan al microscopio óptico las fases γ' y ϵ se ven como una capa superficial blanca y cuando aumenta el espesor de esta capa durante la nitruración, el nitrógeno se difunde mas en el acero. Cuando se excede el límite de solubilidad, los nitruros se precipitan en los límites de grano y sobre ciertos planos cristalográficos.

El mayor interés del diagrama Fe-N se centra en la presencia de los nitruros de hierro que se puedan formar y que a continuación se mencionan:

- a. **Nitruro Fe_4N** , que cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas con un contenido de 5.69%N, que es mezcla de hierro alfa mas eutéctica ($N = 0.11 + 5.58$).

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 por las clásicas agujas de nitruros.

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

- b. **Nitruro Fe_2N** , de gran fragilidad y es principal constituyente de la capa blanca que se puede formar por la nitruración. Este nitruro no está presente en la nitruración de sales debido a que el nitrógeno difuso a través de los cianatos no alcanza porcentajes tan elevados para formar dicha fase (N = 11.41%).
- c. **Nitruro FeN** , cristaliza en el sistema hexagonal compacto, manteniéndose homogéneo desde 4.35 a 11%N, aparece en las piezas nitruradas en baños de sales. En la nitruración gaseosa esta fase se presenta como nitruro Fe_3N .

1.5.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES

Es muy interesante la acción que ejercen ciertos elementos como el aluminio, cromo, molibdeno y vanadio, porque mejoran notablemente la resistencia mecánica en caliente y el incremento de la resistencia al desgaste al realizar el tratamiento térmico de la nitruración.

Si bien es cierto que cualquier 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 0.25-0.50%, aleados con aluminio, cromo, molibdeno y vanadio.

- a. **El carbono.-** el contenido de carbono de todos los aceros que serán sometidos a la nitruración 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.

El contenido de carbono debe estar comprendido entre 0.25-0.50% de carbono, si el contenido de carbono por debajo de 0.25% no se pueden emplear porque la capa exterior nitrurada queda muy frágil. Además, al no poderse obtener con aceros de bajo contenido en carbono gran resistencia en el núcleo central, en ocasiones este cedería bajo fuerte presión de la capa exterior. Contenidos de carbono más elevados no son recomendables porque la mecanización de las piezas sería difícil, sin que ese elevado contenido en carbono proporciones, por otra parte, ninguna ventaja apreciable.

b. El molibdeno.- este elemento mejora notablemente la resistencia a la tracción, la templabilidad y la resistencia al “creep” de los aceros. Añadiendo solo pequeñas cantidades de molibdeno a los aceros cromo-níquel, 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 los aceros que hayan sido previamente templados y revenidos.

c. El aluminio.- este elemento se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suelen contener 15 aproximadamente de aluminio. También se usa el aluminio en algunos aceros resistentes al calor. Como elemento desoxidante se suele emplear frecuentemente en la fabricación de muchos aceros. El aluminio es un elemento desoxidante y afinador de grano.

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

d. El cromo.- el cromo es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de aceros aleados, usándose

indistintamente en los aceros de construcción, en los de herramientas, en los inoxidables y en los de resistencia en caliente. Se emplea en cantidades de 0.30 a 30%, según los casos, y sirve para aumentar la dureza y la resistencia a la tracción de los acero, mejora la templabilidad, impide las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste, la inoxidabilidad, etc.

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, a la formación de cascarilla, a la remanencia y a la fuerza coercitiva.

Por las mejoras que produce al acero, se le emplea en los aceros para cementar, templar, revenir y para nitrurar, por ser altamente favorecedor de la formación de nitruros. El cromo ayuda a incrementar la capa dura y la influencia del aluminio y del molibdeno.

- e. **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.

A su vez en la nitruración, el nitrógeno se combina con el hierro y demás elementos de aleación existentes en la aleación, formando nitruros. De estos nitruros, los efectivos para el endurecimiento son los de los elementos especiales, los de hierro no dan gran dureza y son muy poco tenaces, por lo que dan lugar a capas frágiles.

- f. **El vanadio.**- se emplea principalmente para la fabricación de aceros de herramientas, tiende a afinar el grano y a disminuir la templabilidad. Es un elemento desoxidante muy fuerte y tiene una gran tendencia a formar carburos.

Promueve la formación de estructura de grano fino en aceros tratados térmicamente, incrementando la resistencia y tenacidad además de tener un efecto significativo en la templabilidad.

Una pequeña parte del vanadio que se añade al acero, se disuelve en la ferrita a la que endurece sin disminuir su tenacidad.

Una característica de los aceros con vanadio, es su gran resistencia al ablandamiento por revenido.

El vanadio también promueve la formación de estructura de grano fino en aceros tratados térmicamente, incrementando la resistencia y tenacidad además de tener un efecto significativo en la templabilidad,

El vanadio también aumenta la dureza al rojo de un acero, se usa en cantidades entre 0.15 a 1.0% en unión con Cr, etc. También aumenta la resistencia al desgaste, disminuye la tenacidad, incrementa la profundidad de nitruración y el espesor de las capas duras.

1.6.-PROPIEDAD DE LOS ACEROS EN CALIENTE

Para mejorar el rendimiento que se obtenía con las herramientas constituidas con los aceros al carbono, se ensayaron otras composiciones, y se vio que para trabajos relativamente grandes se mejoraban usando ciertos aceros aleados del grupo de aceros de gran resistencia (con 0.35 a 0.60 % de carbono), que después de templados y revenidos quedaban con durezas variables de 300 a 500 Brinell, que eran durezas muy elevadas a las alcanzadas cuando se usaban solo aceros al carbono.

Para la fabricación de herramientas se han usado aceros especiales aleados con cromo, wolframio y molibdeno, que son elementos que tienden a afinar el grano y como consecuencia sirven también para mejorar la tenacidad de los aceros y aumentar también su resistencia en caliente, etc.

También hay un grupo de aceros con 5 % de cromo que se han comenzado a utilizar muy recientemente y que se caracterizan por tener gran resistencia mecánica a temperaturas de 400° o 500°C, tienen muy buena templabilidad y gran resistencia al desgaste. Además, las herramientas fabricadas con

estos aceros tienen gran resistencia a los choques y admiten bien la refrigeración sin peligro de agrietamiento.

Finalmente existe un último grupo de aceros con 9 a 15 % de wolframio que son los que conservan mayores durezas y resistencias a temperaturas elevadas (500° a 600° aproximadamente). Además tienen también a esas temperaturas una excepcional resistencia al desgaste.

ACEROS PARA TRABAJO EN CALIENTE AISI: H-13

DENOMINACIÓN SEGÚN:

DIN: X40CrMoV51

BOEHLER: W – 302 / US – ULTRA 2 / US - ULTRA

ALEACIÓN: C% 0.40 - Si% 1.00 - Mn% 0.40 - Cr.% 5.25 - V% 1.00 – Mo% 1.40

DUREZA: 229 Brinell máx.

DUREZA OBTENIBLE: 52 – 56 Rockwell C. Aceite/sal

50 – 54 Rockwell C. Aire

PROPIEDADES:

Acero para trabajar en caliente, fabricado por el proceso especial ISODISC que le confiere gran homogeneidad, sin orientación de fibra y es prácticamente isótropo.

Este acero es de una aplicación universal para trabajar en caliente. De gran resistencia a la temperatura y al desgaste en caliente, de buena tenacidad y

resistencia a las fisuras por recalentamiento. Refrigeración por agua. Es preferido en partes de herramientas para inyección y fundición a presión con alta velocidad y temperatura.

APLICACIONES:

Herramientas para trabajar en caliente, sometidas a grandes exigencias, especialmente para la transformación de metales ligeros, como contenedores, liners, punzones y matrices para la extrusión de barras, tubos y perfiles. Matrices para la extrusión de perfiles de aluminio, herramientas de extrusión por impacto en caliente.

Herramientas de extrusión por impacto en caliente. Herramientas para fundición a presión, matrices para la fabricación de tuercas, tornillos, remaches, etc. Cuchillas para corte en caliente, moldes para plásticos y elementos para matrices. Por su estructura ISODISC, este acero es especial para herramientas y piezas de formas complicadas.

ACERO PARA TRABAJO EN CALIENTE AISI: H-10

DENOMINACIÓN SEGÚN:

DIN: X32CrMoV33

BOEHLER: W – 320 / WMD

ALEACIÓN: C% 0.32 - Si% 1.00 - Mn% 0.40 - Cr.% 3.00 - V% 0.50 – Mo%

2.80

PROPIEDADES:

Acero con buena conductividad térmica, resistencia en caliente, apto para la nitruración y enfriamiento al agua. Producido como EFS Supra.

1.7.- PROPIEDAD EN LOS ACEROS NITRURADOS

Alta dureza.- En el proceso de nitruración 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 se precipitan en la ferrita originando un bloqueo en casi todos los planos de deslizamiento, lo que da origen a un aumento de la dureza.

Resistencia al desgaste y deslizamiento.- los elementos nitrurados tienen la mejor resistencia al desgaste debido a que cuentan con una zona desarrollada de nitruros Fe_3N , Fe_4N y sobretodo $Fe_3(N,C)$ con contenido reducido de nitrógeno. La fórmula de nitruro frágil Fe_2N provoca su desmenuzamiento lo que empeora la resistencia al desgaste. La resistencia al desgaste de la zona de nitruración interna en los aceros aleados es superior a la del nitruro Fe_3N , pero inferior a la del carbonitruro $Fe_3(N,C)$, el aumento de dureza no siempre conduce al incremento de la resistencia al desgaste.

Resistencia al templado y alta dureza a elevadas temperaturas.- el acero después de la nitruración el acero puede ser calentado hasta la misma temperatura con la cual fue nitrurada, para su excelente resistencia al desgaste y dureza a elevada temperatura, por esta combinación, puede ser usado con buenos resultados para trabajo en caliente, sin embargo la opción del acero y tiempo de nitruración debe ser adaptado para condiciones de trabajo convenientes.

Alto grado de Fatiga y baja sensibilidad a la indentacion.- en general el grado de fatiga aumenta con la profundidad de la capa nitrurada. El efecto de indentacion sobre el grado de fatiga es extremadamente marcado. El efecto de este desfavorable factor es disminuido por las cargas comprensivas que son introducidas dentro del acero durante la nitruración. Por lo tanto la nitruración es un proceso muy usado si el propósito es incrementar el grado de fatiga de componentes de las maquinas. La profundidad de nitruración entrega el máximo grado de fatiga, esta sin embargo depende del alma y espesor del material.

Resistencia a la corrosión.- mediante este proceso se incrementa la resistencia a la corrosión. En aceros inoxidable la resistencia a la corrosión es reducida porque el cromo esta enlazado con los nitruros. Se incrementa la resistencia a la corrosión atmosférica, así como la producida por ambientes marinos, esto es cierto solo si se elimina la capa blanca. La resistencia es elevada para superficies nitruradas y pulidas.

1.8.-FORMACIÓN DE LA CAPA NITROCARBURACIÓN

TEORÍA DE DIFUSIÓN

Se puede definir la difusión como el mecanismo por el que la materia se transporta a través de la materia. Los átomos en gases, líquidos y sólidos están en constante movimiento y emigran después de un período de tiempo. En gases el movimiento y emigran después de un periodo de tiempo. En gases el movimiento es relativamente rápido como se pone de manifiesto por los olores al cocinar o las partículas de humo. El movimiento atómico en líquidos en general es más lento que en los gases. El movimiento atómico en sólidos está limitado debido a su enlace en posiciones de equilibrio. Sin embargo, las vibraciones térmicas que tienen lugar en los sólidos permiten que algunos átomos se muevan. La difusión de átomos en metales y aleaciones es particularmente importante, ya que la mayor parte de reacciones en estado sólido involucran movimientos atómicos. Ejemplos de reacciones en estado sólido son la precipitación de una segunda fase a partir de disoluciones sólidas y la nucleación crecimiento de nuevos granos en la recristalización de un metal trabajado en caliente.

La difusión atómica tiene lugar en sólidos metálicos principalmente por 1) una vacante o mecanismo de sustitución, y 2) un mecanismo intersticial. En el mecanismo por vacantes, átomos de aproximadamente el mismo tamaño saltan de una posición a otra, utilizando las posiciones atómicas vacantes. En el mecanismo intersticial, átomos muy pequeños se mueven a través de

los espacios intersticiales entre los grandes átomos que forman la matriz que forman la matriz.

SEGUNDA LEY DE FICK

En materiales de ingeniería, generalmente no se presenta el estado estacionario en el que las condiciones no cambian con el tiempo. En la mayoría de los casos tiene lugar la difusión en estado no estacionario, en que la concentración del soluto varía de un punto a otro del material con el tiempo. Por ejemplo si se difunde carbono en la superficie de un árbol de levas de acero para endurecerla, la concentración de carbono bajo la superficie cambiará de un punto a otro con el tiempo a medida que el proceso de difusión avance. Para los casos de difusión en estado no estacionario, en que el coeficiente de difusión es independiente del tiempo, la segunda ley de Fick aplicada a la difusión, es:

$$\frac{dC_x}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC_x}{dx} \right) \quad (1-1)$$

Esta ley establece que la velocidad del cambio de composición es igual al coeficiente de difusión por la velocidad de cambio del gradiente de concentración. La resolución de esta ecuación diferencial está fuera del alcance de este informe. Sin embargo, una solución particular de esta ecuación para un gas que difunde en un sólido es de gran importancia en

algunos procesos de difusión en ingeniería y se utilizará para resolver algunos problemas prácticos de difusión industrial.

Consideremos el caso de un gas A difundiendo en un sólido B, como se presenta en la Figura 1.1a. A medida que aumenta el tiempo de difusión la concentración de átomos del soluto en cualquier punto del sólido en la dirección x también aumentará, como se indica en los tiempos t_1 y t_2 en la Figura 2.1b. Si el coeficiente de difusión del gas A en el sólido B es independiente de la posición, entonces la solución a la segunda ley de Fick es:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1-2)$$

Donde:

C_s = Concentración superficial del elemento del gas que difunde en la superficie

C_0 = Concentración inicial uniforme del elemento en el sólido.

C_x = Concentración del elemento a la distancia x a un tiempo t .

x = Distancia desde la superficie

D = Coeficiente de difusión del soluto que difunde

t = Tiempo

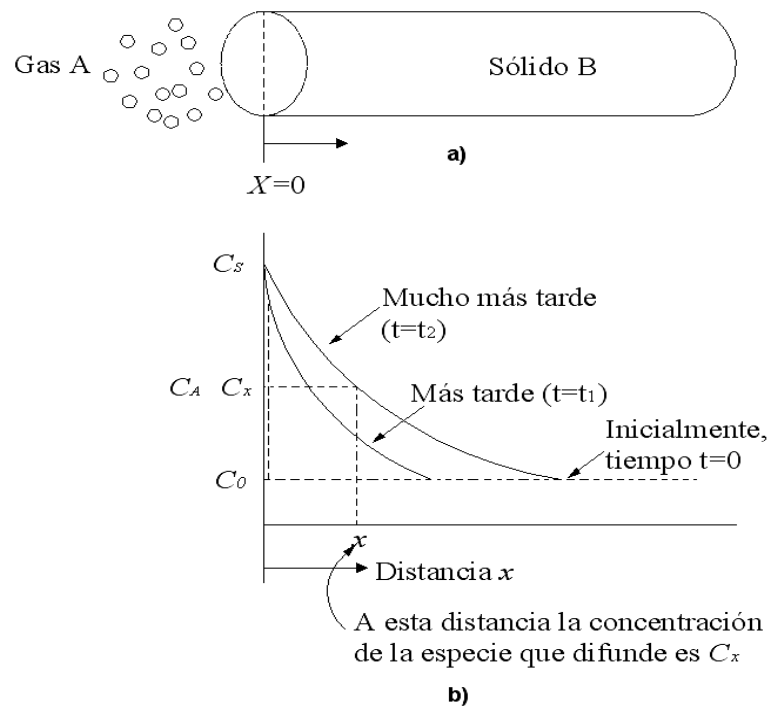


Figura 1.2. Difusión de un gas en un sólido a) Difusión de un gas A en el sólido B. En la superficie, donde $x = 0$, el gas mantiene una concentración de átomos de A, C y b) perfiles de concentración del elemento A, a distintos tiempos a lo largo del sólido en la dirección x . Antes de que se inicie la difusión el sólido ya contiene una concentración uniforme del elemento A, C_0 .

La función error, erf, es una función matemática que existe por definición y se utiliza en algunas soluciones de la segunda ley de Fick. La función error puede encontrarse en tablas estándar de la misma forma que los senos y cosenos.

APLICACIONES DE LA SEGUNDA LEY DE FICK: PROCESOS DE NITRURACIÓN Y NITROCARBURACIÓN.

Son numerosas las aplicaciones de la segunda ley de Fick en el procesamiento térmico de los materiales. Ahora consideremos una de las aplicaciones en el proceso de nitrocarburation.

Éstos son dos procesos muy importantes de tratamiento térmico del acero, los cuales producen una superficie dura sobre un acero de núcleo blando. La superficie dura es el resultado de la formación de una fase dura (martensita), y es deseable para tener resistencia al desgaste, en tanto que el acero conserva un núcleo blando que le confiere tenacidad.

El proceso consiste en colocar un acero de bajo contenido de carbono c_0 , en una atmósfera de alta concentración de carbono o de nitrógeno. Las plantas modernas de tratamiento térmico emplean atmósferas gaseosas de gas natural para el carbono, o de amoníaco para el nitrógeno. Para el proceso de carburación, estas atmósferas tienen lo que se conoce como un potencial de carbono, el cual se expresa en términos del contenido de carbono del hierro, C_a . El flujo específico de carbono hacia la superficie del acero con una concentración superficial C_s está gobernado por una reacción de superficie de primer orden:

$$J = -D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_s = K(C_a - C_s) \quad (1-3)$$

Donde $\left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)_s$ es el gradiente de concentración de carbono en la superficie, k es la constante de velocidad de la reacción de superficie y D es el coeficiente de difusión.

La ecuación 1-3 indica que la rapidez de la incorporación de carbono está limitada por la reacción de superficie para tiempos cortos. Por esta razón, el contenido de carbono de la superficie cambia con el tiempo; aumenta rápidamente al principio, y después con más lentitud en periodos más prolongados.

El objetivo de resolver la ecuación 1-1 para el proceso de nitrocarburo es obtener un perfil de la concentración de carbono desde la superficie hasta el volumen del material después de cierto tiempo. Por lo común se desea un contenido de carbono determinado a cierta profundidad respecto a la superficie para impartir cierta dureza. Esto se conoce como la capa endurecida, y su profundidad de capa. Debido a la variación de concentración superficial con el tiempo, el gradiente de concentración de carbono cambia con el tiempo. Por otra parte estrictamente hablando, D también es función del carbono varía con el tiempo.

Sin embargo, podemos obtener un estimado de la profundidad de la capa suponiendo que la concentración superficial de carbono, C_s , y el coeficiente de difusión son constantes. Con estos supuestos, las condiciones de límite para resolver la ecuación 1-1 son las siguientes:

$$C(0, t) = C_s = \text{constante} \quad (1-4a)$$

$$C(\infty, t) = C_0 = \text{constante} \quad (1-4b)$$

Y la solución para un sistema infinito es:

$$\frac{C(x, t) - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (1-5)$$

Donde C_s es la concentración superficial, C_0 es el contenido original de carbono del acero y $C(x, t)$ es la concentración de carbono a una distancia x de la superficie del acero después de un periodo t . Durante el proceso C_s es la solubilidad máxima de carbono o de nitrógeno en hierro a la temperatura de nitruración.

Conforme el tiempo pasa, el perfil de concentración de carbono o de nitrógeno (Figura. 1-2) cambia de su perfil de etapa inicial en el tiempo $t=0$ a los que muestran las curvas marcadas como t_1 , t_2 , y así sucesivamente, que son los tiempos de nitruración. Cada una de estas curvas es una gráfica de $C(x, t)$, es decir, de la concentración de carbono o nitrógeno en función de la distancia respecto a la superficie al cabo de un tiempo de nitruración. Todos los puntos de esta curva satisfacen la ecuación 1-5.

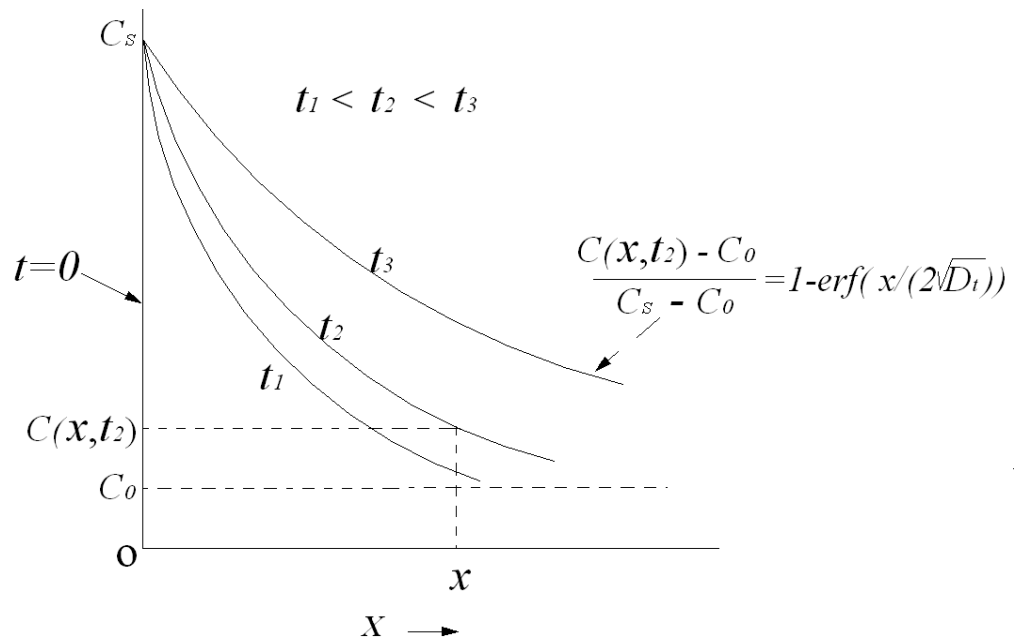


Figura 1.3. Perfiles de concentración de carbono con el tiempo de nitruración creciente.

$\text{Erf}(x/2\sqrt{Dt})$ es la función de error de $(x/2\sqrt{Dt})$, donde $z = (x/2\sqrt{Dt})$ es un parámetro adimensional. El valor de la $\text{erf}(z)$ varía de 0 a 1 conforme z varía de 0 a ∞ .

Adviértase que la ecuación 1-4b indica que $x=\infty$, y esta es la razón por la que se afirma que la solución (Ec. N° 1-5) es para sistemas infinitos. Sin embargo, no es el valor de x , sino el valor de z , lo que determina si $C(x,t)$ es cercana a C_0 o no. Por tanto, x puede ser sólo 1mm, pero si el valor de $2\sqrt{Dt}$ es considerablemente más pequeño, entonces z es muy grande, el sistema es infinito, y la ecuación 1-5 es aplicable. Puesto que z es un parámetro adimensional, \sqrt{Dt} también debe tener una dimensión de longitud.

1.9.-OBTENCION DEL GRADO DE DISOCIACION DEL AMONIACO

La reacción química del hidrogeno (H₂) y del Nitrógeno (N₂) para formar el Amoniac (NH₃) en fase gaseosa:



Es una reacción endotérmica reversible, lo que significa que para realizarse necesita calor 22.08Kcal por cada moles de amoniaco que se forman y a la vez, a ciertas condiciones de temperatura y de presión, el amoniaco formado puede disociarse en sus componentes N₂ e H₂ (es reversible) hasta alcanzar un equilibrio químico, el cual es un estado dinámico donde la velocidad de formación del amoniaco es igual a la velocidad de disociación de éste. Este estado de equilibrio obedece a las leyes Físico-Químicas que se resumen en la ecuación de la Constante de Equilibrio que, para nuestro caso la consideramos constante (K_p):

$$K_p = \frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^{1/2} \cdot P_{H_2}^{3/2}} \quad (1-6)$$

Donde P, es la presión parcial de cada gas que se encuentra dentro del horno.

El horno que tenemos para el proceso de nitrocarburation, no cuenta con equipo para medir las presiones parciales de los gases, por lo que será

necesario expresar la constante de equilibrio K_p en función de las fracciones molares de los gases que se encuentran en la retorta, que pueden deducirse a partir del Grado de Disociación del amoníaco, obtenido en la bureta Bunte.

Supongamos que tenemos 01 volumen total de gases formado por: $\text{NH}_3 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ en equilibrio a cierta temperatura y a presión total P .

Sean x , y , z las fracciones molares respectivas de dichos gases: $\text{NH}_3 = x$, $\text{N}_2 = y$, $\text{H}_2 = z$, entonces la ecuación (1-6) se puede expresar como:

$$K_p = \frac{x \cdot P}{(y \cdot P)^{1/2} \cdot (z \cdot P)^{3/2}} \quad (1-7)$$

Por ley de aditividad de los volúmenes se cumple que:

$$x + y + z = 1 \quad (1-8)$$

De la ecuación química N° 5, se deduce: $z = 3y$ (1-9)

Por lo tanto: $y = \frac{1-x}{4}$ (1-10)

Reemplazando (Ec. N° 1-10) y (Ec. N° 1-9) en Ec. N° 1-7) podemos expresar la constante de equilibrio K_p en función de la fracción molar x del NH_3 de la

presión total P del sistema. Sin embargo, para los especialistas en nitrocarburation interesa solo la relación siguiente:

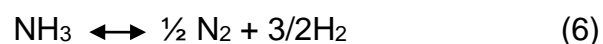
$$R = \frac{x.P}{(y.P)^{3/2}} \quad (1-11)$$

Que expresada en función de x , y sabiendo que para nuestro caso $P=1$, la ecuación (1-11) se transforma en:

$$R = \frac{1.54x}{(1-x)^{3/2}} \quad (1-12)$$

Donde R , es conocido como el potencial o capacidad de nitruración de la atmosfera en la retorta, y que describe las condiciones que gobiernan el proceso de nitrocarburation o de nitruración, y se emplea para estimar el efecto de la disociación del NH_3 en la dureza, penetración y estructura de la capa nitrocarburada.

Para entender en términos más sencillos, en qué consiste el grado de disociación del NH_3 expresamos la ecuación química N° 5 en sentido inverso:



El amoníaco al ser introducido dentro del horno a 540°C se descompone parcialmente en N_2 e H_2 , como se observa en la ecuación química N° 6, y la

parte no disociada quedara como Amoniac molecular, formando parte de la atmosfera para el proceso de Nitrocarburacion.

Esto significa que la atmosfera que hay en la retorta del horno de nitrocarburacion en donde se encuentran las matrices que están siendo sometidas a dicho proceso, está formada por los siguientes gases: nitrógeno (N_2), hidrogeno (H_2) y amoniac (NH_3) antes de introducir el CO_2 .

Si suponemos que en equilibrio, ecuación química N° 6, de 100 moles totales de gases: $NH_3 + N_2 + H_2$, hay 70 moles de amoniac molecular o no disociado, entonces:

Moles de amoniac molecular no disociado= 70 moles (permanece como NH_3)

Moles de amoniac disociado: = 30 moles (moles de $N_2 + H_2$)

Cuando hacemos la prueba para determinar el Grado de Disociación del NH_3 , llenamos con gases del horno, la bureta Bunte, y le agregamos agua hasta que ya no ingrese más. En este momento hacemos la lectura del nivel de agua que será 70%(escala izquierda del a bureta), y la zona vacía de la bureta es 30% leída de arriba hacia abajo en la escala derecha de dicha bureta o por diferencia en la escala izquierda. Esta lectura de la zona vacía es el grado de disociación del NH_3 .

Esto se explica por el hecho de que, de los tres gases que hay en la bureta, NH_3 , N_2 y H_2 , sólo el NH_3 es soluble en agua con la que forma una solución alcalina de hidróxido de amoníaco (NH_4OH) de $\text{pH} = 11$ y por lo tanto, en el espacio libre quedan los gases N_2 y H_2 , productos de la disociación del NH_3 , que son insolubles en agua y que en la bureta Bunte (calibrada para este caso), representa el grado de disociación.

Ahora podemos definir al GRADO DE DISOCIACION (en adelante lo designaremos como $G^{\circ}D$) como el porcentaje (%) de NH_3 disociado (descompuesto) en sus componentes N_2 e H_2 o en forma simple, para nuestro equipo, como el porcentaje leído de arriba hacia abajo en la escala derecha de la bureta Bunte en el momento de la prueba de la disociación.

Para expresar la ecuación 1-12 hemos empleado un artificio que permite hallar la fracción molar x , del NH_3 molecular en la mezcla total, y por lo tanto, esta representa el % de amoníaco que se lee de abajo hacia arriba en la escala izquierda de la bureta Bunte y por diferencia se halla el grado de disociación.

1.10.-TEMPERATURA DE LA NITRURACIÓN

La Temperatura de Nitruración generalmente esta entre $530\text{-}580^{\circ}\text{C}$. No sobrepasando ese intervalo de temperaturas, se evita la presencia del eutectico braumita que, como ya comentamos, comunica a la capa nitrurada una gran fragilidad.

La temperatura ideal de nitruración está situada a unos 20°C por debajo del Eutéctico en el diagrama Fe-N, 570°C. Son varios los motivos que inciden en mantener esta temperatura estable durante el tratamiento.

La elevación de la temperatura de nitruración clásica para las piezas de aceros de construcción se determina por los requisitos que se exigen del espesor y dureza de la capa, Cuando la dureza es alta y el espesor de la capa es pequeño, se recomienda aplicar la T° baja; cuando los espesores son grandes y es alta la dureza, la nitruración se realiza en un régimen de dos etapas: primeramente a 500 - 520°C y después a 540 - 600°C, lo que permite reducir bruscamente la duración del proceso. La elevación de la temperatura de la nitruración provoca el aumento de tendencia al alabeo y deformaciones.

1.- A temperaturas superiores a la indicada nos encontramos con una actividad más progresiva del carbono frente al nitrógeno. Por encima de los 600°C llegaríamos a la zona denominada "carbonitruración". Este fenómeno implica la formación del hierro gamma originando una zona de compuestos heterogénea.

2.- A temperaturas más bajas de 570°C, la capa de compuestos disminuye progresivamente de espesor, a 450°C no se aprecia al microscopio.

1.11.- MECANISMOS DE LA NITRURACIÓN

El mecanismo de la nitruración difiere bastante del de la cementación. En este último tratamiento se emplean temperaturas elevadas para facilitar la solubilidad del carbono en la austenita y, en cambio, la nitruración se efectúa a temperaturas de unos 500°C aproximadamente, inferiores a la eutectoide (590°C) en las que el porcentaje de nitrógeno que se puede disolver en el acero es muy pequeño. No se emplean temperaturas más elevadas porque, aunque de esa forma la penetración del nitrógeno sería más fácil, se obtendrían capas nitruradas muy frágiles sin utilidad práctica industrial.

En los aceros ordinarios al carbono, la difusión del nitrógeno hacia el interior se efectúa con más facilidad que en los aceros aleados. A pesar de ello, solo en estos últimos se producen capas superficiales de gran dureza y bien adheridas, debido a que los elementos aleados favorecen la formación de nitruros de aluminio, cromo, molibdeno, etc., en las capas periféricas.

El mecanismo de la nitruración puede explicarse sabiendo que el nitrógeno se disuelve en el hierro hasta una cierta proporción, dependiente de la temperatura.

En la superficie, el nitrógeno comienza a disolverse hasta el grado de saturación de la solución sólida; entonces esta, reaccionando con nuevas cantidades de N_2 , formara sucesivamente nitruro Fe_4N y la fase ϵ .

Pero como estos nitruros permiten la difusión del nitrógeno, se mantiene una velocidad de penetración, incluso donde aparece la fase ϵ , pues no hay distorsión apreciable de la red cristalina.

De aquí las grandes profundidades que pueden obtenerse en la nitruración del hierro y de los aceros al carbono. Si el acero es aleado, el proceso varía.

1.12.- MECANISMOS DE LA NITROCARBURACIÓN

El proceso de Nitrocarburation se realiza en atmósfera gaseosa a 540°C a esta temperatura nos permite incorporar el nitrógeno y carbono al acero, donde el carbono es proporcionado por el Anhídrido carbónico y el nitrógeno por el Amoniaco.

La composición y profundidad de la capa nitrocarburada depende de:

1. Temperatura de operación.
2. Tiempo del proceso.
3. Flujo de amoniaco.
4. Composición de la atmósfera nitrocarburente.
5. Tipo de acero a nitrocarburar.

El nitrógeno naciente se incorpora por difusión en cantidades suficientes en el interior del acero y una parte restante reacciona con el hidrógeno pasando a su estado molecular para iniciar un nuevo ciclo.

El proceso se realiza en tres etapas:

- a.- Disociación térmica del amoníaco.
- b.- Absorción del nitrógeno por el acero.
- c.- Difusión, finalmente, del nitrógeno hacia el interior del núcleo de la pieza.

El nitrógeno que no es absorbido, de inmediato, se transforma en nitrógeno molecular inactivo (N_2).

La nitruración gaseosa permite el endurecimiento parcial de piezas de casi cualquier forma, mediante el temple de capas protectoras. Las durezas alcanzadas dependen de los formadores de nitruros existentes en el acero y pueden obtenerse dureza vickers a 800 a 1200 equivalentes a 68-72 HRC.

Una de las ventajas más interesantes de la Nitrocarburation consiste en que el hidrógeno absorbido durante el proceso, disminuye la velocidad crítica de enfriamiento del acero nitrocarburationado.

Es decir la templabilidad de la capa afectada es mucho mayor que la correspondiente al mismo acero cementado, lo cual permite la sustitución de aceros de alta aleación, por otros de menor aleación, incluso aceros al carbono en los casos que las propiedades del núcleo lo permitan.

Por otro lado la presencia de nitrógeno en la capa nitrocarburationada, incrementa la resistencia al revenido comparado con los aceros cementados.

Por último apuntar que el nitrógeno es un elemento estabilizador de la austenita, por lo que las piezas nitrocarbурadas acostumbran a presentar después del temple porcentajes de austenita retenida, superiores a los obtenidos en cementación.

1.13.- DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE NITROCARBURACION.

En los procesos de nitruración y nitrocarbурación, se forma generalmente una capa nitrurada, compuesta por una capa de unión (capa de nitruros) y otra capa de difusión, junto a la primera.

La capa de nitruros está compuesta por uno o más de los elementos químicos que van hacer difundidos hacia el interior de la pieza.

La profundidad de nitrocarbурación está determinada de acuerdo con la toma de medidas de dureza sobre una sección cruzada a través de una superficie nitrurada.

La selección del método y su exactitud depende de la naturaleza de la capa delgada y de su espesor, puesto que el método usado también afectará el resultado obtenido.

El espesor total de la superficie de la capa delgada está definida por la distancia desde la superficie al límite después del cual la dureza del metal natural es obtenida.

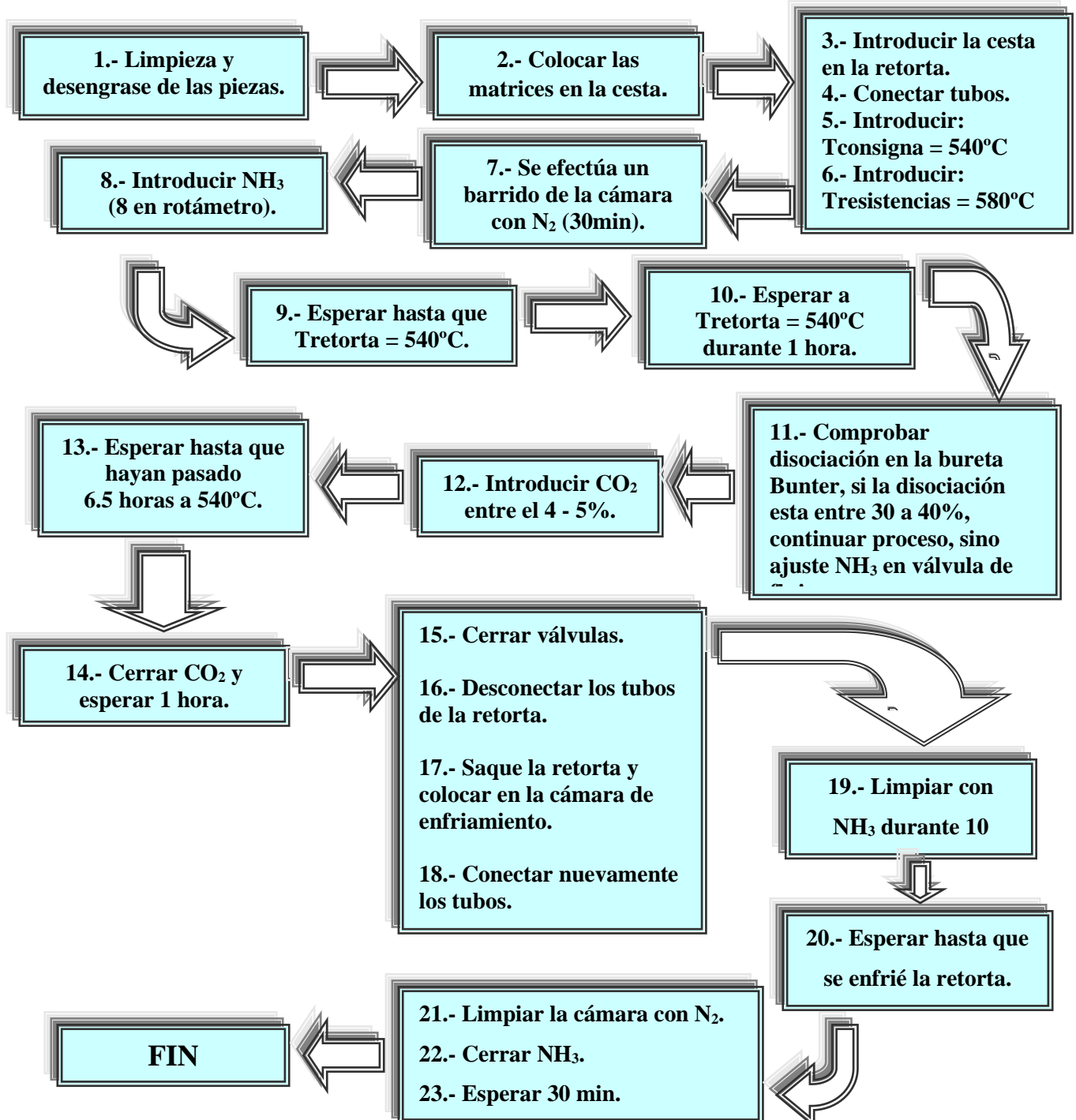
La profundidad de nitruración tiene una importancia relativa. Disponemos de una constante que es la temperatura, la penetración del nitrógeno dependerá del tiempo y la clase del material. Para los aceros aleados la profundidad de capa es siempre inferior que en los aceros al carbono. Varios ensayos realizados en el laboratorio y a escala industrial han demostrado que con penetraciones de nitrógeno en tiempos superiores a las tres y media horas no se consigue mejorar la resistencia mecánica de las piezas tratadas.

En realidad en una nitruración, se requiere de tiempos muy largos de tratamiento, del orden de 40 á 80 horas para los espesores normalmente utilizados de 0,25 a 0,40 mm.

Pero en el proceso de nitrocarburation el tiempo se reduce y se obtienen espesores hasta 0.20mm.

Para conseguir propiedades óptimas no se debe tratar de obtener un espesor grande de la capa. Cuando el espesor de la capa es grande, no sólo se reduce el límite de fatiga, sino que, además, aumentan las deformaciones de la pieza en el horno, con una temperatura y espesor de la capa mínimos, las magnitudes de alabeo y deformación son pequeñas.

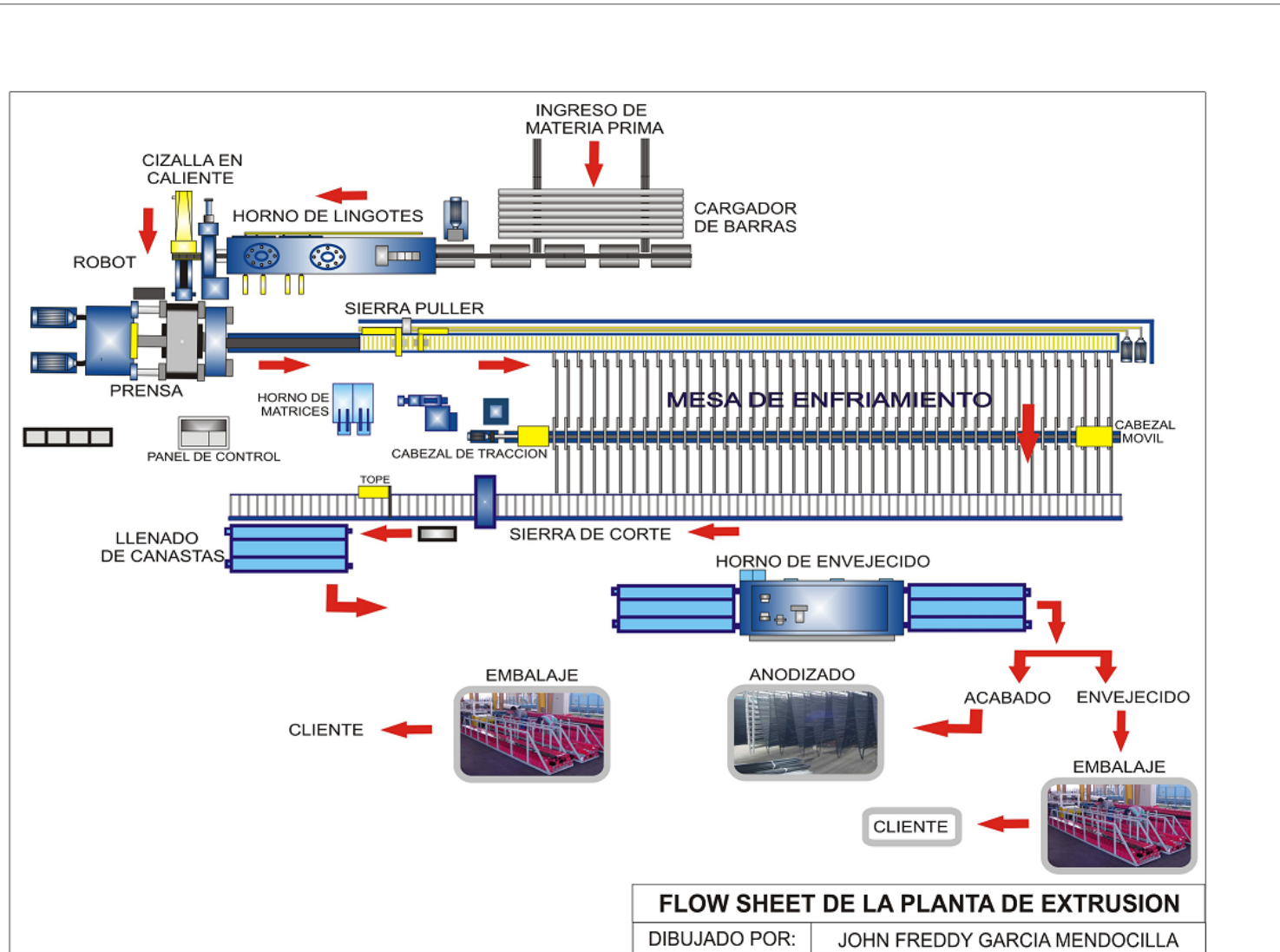
1.14.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE NITROCARBURACIÓN



1.15.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE NITROCARBURACIÓN

1. Una vez que se ha asegurado la estanqueidad, se procede a purgar durante 30 minutos con N_2 , mientras la temperatura del horno se coloca a $540^{\circ}C$, luego se introduce NH_3 con 8 en la escala del rotámetro.
2. Una hora después de haber conseguido la temperatura de $540^{\circ}C$, se mide el grado de disociación (normalmente, este valor debe estar entre 30- 40%, indicado por la bureta BUNTE).
3. Después, introducir el gas CO_2 a un caudal de 5 a 6 en el rotámetro durante 6.5 horas, evacuándolo 20 minutos antes de desconectar las resistencias calefactoras del horno, desconectar todos los grifos y todos los conectores eléctricos antes de sacar la retorta del horno.
4. Una vez montada la retorta en la cámara de enfriamiento, conectar la turbina y purgar usando NH_3 hasta que la temperatura de la retorta llegue a los $150^{\circ}C$.
5. Cierre el paso de NH_3 e introducir N_2 durante 30 minutos a un caudal de 400 l/h.
6. Después se procede a abrir la retorta y se sacan las matrices.

1.16.- FLOW SHEET DE LA PLANTA DE EXTRUSION



1.17.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE EXTRUSION

CALENTAMIENTO DE LOS BILLET

Este es un proceso por el cual se utiliza un horno de calentamiento (Figura 1.4) que prepara el tocho o billet de aluminio a una temperatura de 450°C hasta 530°C para el proceso de extrusión.

El horno dispone de un sistema de recirculación de gases de combustión desde la zona de quemadores hacia la entrada del horno, que mediante un sistema de distribución los vuelve a inyectar directamente sobre el lingote de aluminio frío, aumentando así el rendimiento del sistema a valores máximos.



Figura 1.4. Horno de calentamiento de billet

CIZALLA EN CALIENTE

Se utiliza para hacer el corte del billet a la longitud programada para la extrusión, esta longitud varía de acuerdo a los tipos de matriz. Luego de ser cortado el billet es transportado por un robot automático hacia el acetileno para luego ser transportado a la prensa para luego ser extruido.



Figura 1.5. Cizalla en caliente y robot.

EXTRUSION DEL ALUMINIO

El término “extrusión” se suele aplicar tanto al proceso como al producto obtenido cuando un lingote cilíndrico caliente de aluminio (llamado tocho) pasa a través de una matriz con la forma adecuada. El perfil resultante puede usarse en tramos largos, o se puede cortar para usarlo en estructuras, vehículos o componentes.

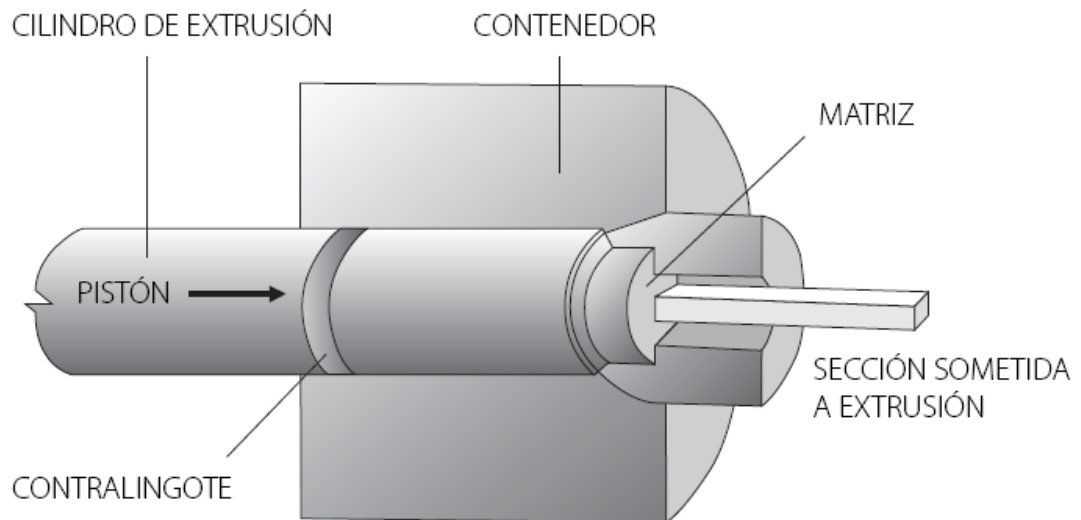


Figura 1.6. Extrusión del aluminio.

PRENSA DE EXTRUSION

Es utilizada para hacer pasar el lingote cilíndrico caliente a través de una matriz, mediante una fuerza hidráulica obteniendo la forma deseada, actualmente la prensa trabaja a una temperatura entre 480 a 550°C, una presión de 130 / 165TM y una fuerza de extrusión de 1650TM.

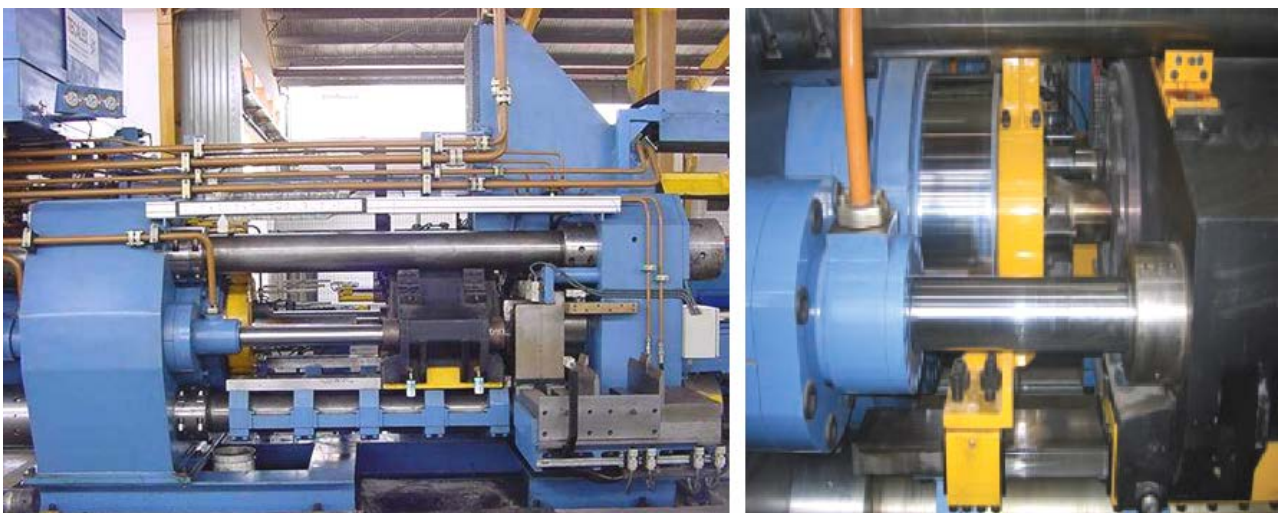


Figura 1.7. Prensa de extrusión.

JALADOR AUTOMATICO: PULLER

El puller es uno de los elementos más importantes dentro de una planta de extrusión. Durante el ciclo completo de tiempo muerto de la prensa, el puller deja con exactitud el perfil en el camino del puller y regresar a la boca de la prensa, antes de que el tiempo muerto de la prensa haya concluido.



Figura 1.8. Puller sierra y puller

MESA DE ENFRIAMIENTO PARA EL ESTIRAMIENTO DE PERFILES

El enfriamiento del perfil de aluminio caliente después de la extrusión tiene dos funciones principales:

1. El perfil debe enfriarse, hasta llegar casi a la temperatura ambiente, para poder realizar las operaciones de estirado y manipulación manual.
2. Conseguir la velocidad de enfriamiento adecuada para el aluminio, proporcionando una buena dureza y en general, unas buenas propiedades mecánicas.

Cuando los perfiles están fríos son enderezados mediante dos cabezales hidráulicos (uno fijo y otro móvil), con una fuerza de tracción de 30/40 TM.



Figura 1.9. Mesa de enfriamiento (izquierda) y estirador fijo (derecha).

CORTE DE PERFILES

El perfil, proveniente de las mesas de estirado, es cortado mediante la sierra.

Desde el tope, los perfiles se colocan en cestas vacías.



Figura 1.10. Maquina de corte (derecha) y tope (izquierdo).

HORNO DE MADURACION

Las cestas llenas se apilan mediante un puente grúa en la plataforma del horno de maduración. Cuando esta plataforma está completamente llena, se produce la maduración a una temperatura de trabajo de 180 °C, posteriormente, las cestas maduras se evacuan del horno a la plataforma de salida.

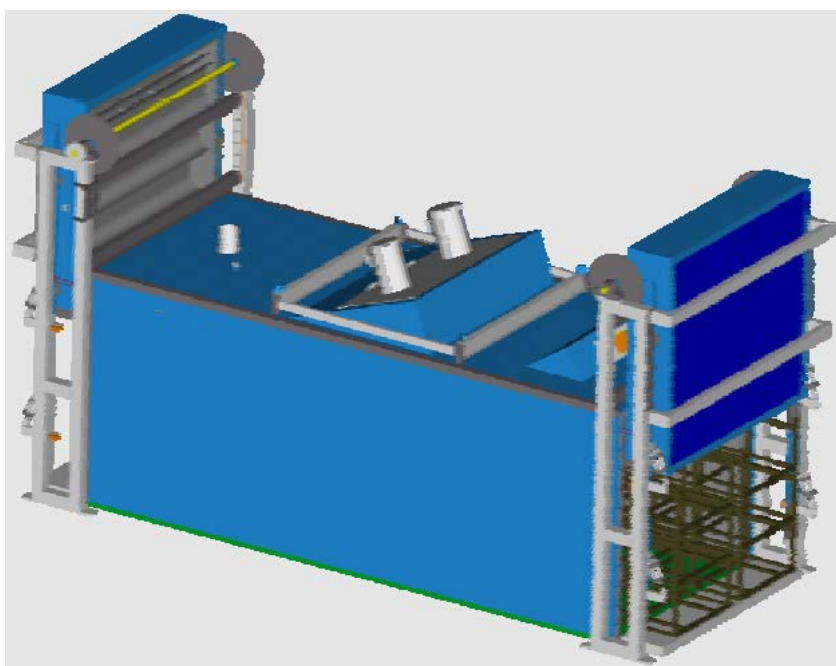


Figura 1.11. Horno de maduración TECALEX.

ACABADOS

Natural: Cuando el perfil no recibe ningún tratamiento. Sólo tiene la delgada capa de óxido natural.

Anodizado: Proceso electrolítico de oxidación adicional a la capa de óxido natural. Mejora su resistencia.

CAPITULO II

PRUEBAS EXPERIMENTALES

2.1.- MATERIALES

Acero SAE H13.

Bureta Bunter.

Tablero con flujometros para controlar el ingreso de N₂, NH₃ y CO₂.

Canastilla de acero.

2.2.- EQUIPOS PARA LA NITROCARBURACION

Horno de Nitrocarburation TECALEX, S.L.

Equipo de Nitrógeno: Tanques y válvulas

Equipo de Amoniac: Tanques y válvulas

Equipo de CO₂: Tanques y válvulas

Tecla eléctrico manual de 5 Toneladas.

2.3.- HORNO DE NITROCARBURACIÓN

El horno de Nitrocarburation es vital para el proceso de mantenimiento de las matrices, su misión consiste en efectuar un tratamiento térmico superficial para asegurar la longevidad de la matriz, este horno fue construido por la empresa española TECALEX y es muy robusto, aunque monta algunas piezas frágiles.

El horno de nitrocarburation necesita 60kw de suministro eléctrico a 380V trifásico para las resistencias de calentamiento.

Los gases que se deben suministrar al horno para realizar el proceso de nitrocarburation son: nitrógeno, amoníaco, CO_2 y agua.



Figura 2.1. Horno de nitrocarburation.

2.3.1.- ESPECIFICACIONES TECNICAS

Tabla 2.1.- Especificaciones técnicas del horno de Nitrocarburation Tecalex,
modelo **FN MA - 80**

Dimensiones útiles (mm).	500 x 800		
Carga de trabajo (Prevista)	500 Kg.		
Carga prevista	400 Kg.		
Tara ⁽¹⁾ (Kg.).	2600 Kg.		
Potencia eléctrica instalada (Kw.)	60 Kw		
Presión gas (mbar) entrada de la maquina	1.5 bar		
Presión gas (mbar) trabajo	30 / 60		
Potencia eléctrica	60Kw		
Gas utilizado	Propano		
Aislamiento	Fibra Cerámica + Ladrillo Refractario		
Necesidades de Fluidos:	<u>Caudal</u>	<u>Presión</u>	<u>Pureza</u>
Agua (H ₂ O)	1.0 /min.	Red	Evitar la cal
Propano (C ₃ H ₈)	100 l/h	500 mbar	99.50%
Amoniaco (NH ₃)	150 l/h	1.0 bar	99.50%
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	150 l/h	1.0 bar	99.00%
Nitrógeno (N ₂)	5.0 m ³ /h	1.5 bar	99.99%

¹ Cuerpo del horno incluyendo retorta, cesta y tapa.

2.3.2.- ESTRUCTURA PRINCIPAL

Recubierta en su parte interior por paneles de fibra cerámica, dispone de un diseño especial para mantener y aislar el interior del horno del exterior.

La cámara en la que se introducen las matrices, se halla aislada del exterior, de manera que en su interior se disponga de una atmósfera controlada que produzca una buena nitruración.

Existe una segunda estructura, dotada de un ventilador, para realizar el enfriamiento de las matrices, una vez finalizado el proceso de nitrocarburo.



Figura 2.2. Estructura principal del horno de nitrocarburo.

2.3.3.- BATERIA DE RESISTENCIAS

El calentamiento de las matrices se realiza mediante tres baterías de resistencias, controladas mediante una sonda de temperatura, y gobernadas por tiristores que reducen la potencia térmica en función de la temperatura alcanzada.

Las matrices entran en el horno a temperatura ambiente y adquieren una temperatura aproximada de 540°C, que se mantiene durante el tiempo necesario, mientras se dota a la cámara de las matrices de una atmósfera en la que se produce la nitrocarburation.

2.3.4.- SONDAS

Se dispone de dos sondas de control de temperatura del proceso, una para evitar el sobrecalentamiento de las resistencias y otra para determinar la temperatura media de la cámara de nitrocarburation.

Mediante un sistema electrónico de control, se asigna una temperatura de consigna del proceso, y se regula la batería de resistencias, mediante tiristores, de manera que no se sobrepase la temperatura de seguridad de las resistencias, al tiempo que se consigue la temperatura de consigna.

2.3.5.- CAMARA DE NITROCARBURACIÓN

El horno dispone una única cámara de nitrocarburation, en la que se deposita la cesta con las matrices, que se mantiene aislada del ambiente.



Figura 2.3. Cámara donde se introducen la cesta con las matrices.

En ella se introducen los gases requeridos para la nitrocarburación (CO_2 , NH_3 y N_2).

Dispone de camisa para adición de agua de refrigeración de los elementos mecánicos, moto-ventilador para homogenización de la atmósfera, entradas de gases, entradas de agua, sonda de temperatura interior de la cámara, quemador de amoníaco y arco de suspensión para elevación mediante grúa.

2.3.6.- CUERPO DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración se realiza por medio de turbinas de aire, esto es una vez finalizado el proceso para enfriar a las matrices. Para ello se deposita la cámara de Nitrocarburation sobre el cuerpo de refrigeración, se conecta el ventilador y se deja enfriar.



Figura 2.4. Cámara de enfriamiento para las matrices.

2.4.- FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE NITROCARBURACIÓN

2.4.1.- PREPARACIÓN DEL MATERIAL A TRATAR: LIMPIEZA DE LAS PIEZAS.

El proceso de Nitrocarburation es un proceso de tratamiento superficial de los metales, y no un tratamiento masivo. Esta razón hace que la limpieza de las piezas a tratar es importante para obtener unos buenos resultados.

Las piezas a nitrocarburar deben limpiarse de forma y manera que se elimine de ellas cualquier tipo de óxido, grasas, pinturas y/o impurezas. También se podría hacer un arenado.

Son especialmente perjudiciales para el proceso y la instalación los restos de soda cáustica (NaOH) que se pueden encontrar en las piezas; estos restos inhiben el tratamiento.

Una recomendación es que las piezas sean secadas e introducidas en la cesta para su procesamiento, así como también la protección de los puntos no sujetos a la nitruración, Se puede proteger sumergiendo las zonas a proteger en un baño fundido del 60 % de plomo y 40 % de estaño.

2.4.2.- NIVEL DE CARGA.

El nivel de carga del horno es importante por ser una variable que influye en el grado de disociación de la molécula de amoníaco (NH_3).

Recomendamos realizar cargas con un mínimo de las $\frac{3}{4}$ partes de la cesta llena o valores superiores. Valores inferiores requerían una revisión de los parámetros del proceso.

2.4.3.- CARGA DEL MATERIAL AL HORNO.

Las piezas limpias y secas se introducen en la cesta procurando no tocar las partes de la pieza que se interesa nitrurar. A continuación se introduce la cesta (con la ayuda del puente grúa) dentro de la retorta, entrándola verticalmente, evitando dar golpes y/o dañar la junta de la tapa de retorta.



Figura 2.5: Cesta donde se colocan las matrices para nitrocarburation y en el lado derecho la retorta.

Antes de cerrar la tapa del horno, comprobar el estado de la junta de la tapa de retorta. Esta junta debe estar en buen estado y exenta de golpes, cortes o deformaciones.

La tapa de retorta se coloca en un lugar y en la posición determinada por los posicionadores; los cierres de la retorta se cierran para fijar la tapa durante el proceso de nitrocarburation.

2.5.- PREPARACIÓN DE PROBETAS

PROBETAS:

La preparación de probetas de acero nitrurado, para revelar el verdadero micro estructura, requiere de técnicas más precisas que las normales empleadas. En primer lugar la extrema diferencia de dureza entre la superficie y el núcleo.

También la concentración de nitruros en la superficie (capa blanca) la primera en ser examinada metalográficamente.

El diseño de la probeta se observa en la Figura 2.1 las probetas son del mismo material y recibirán el mismo tratamiento térmico que las matrices.

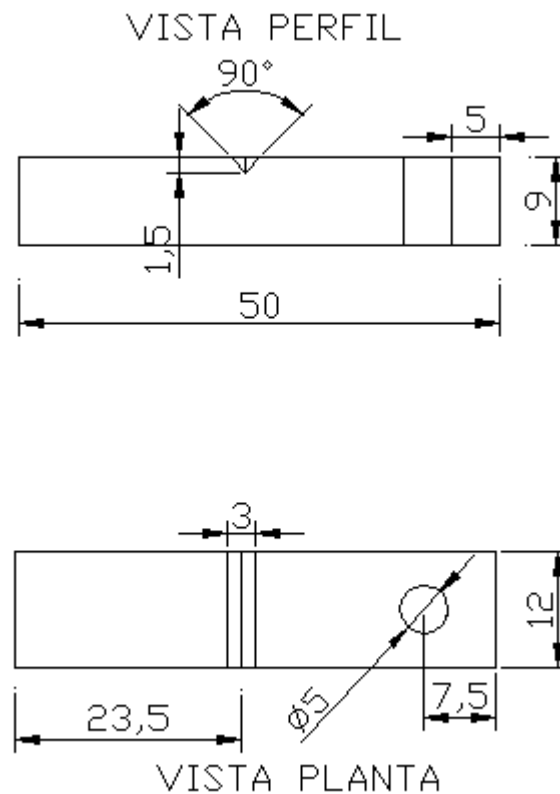


Figura 2.6. Dimensiones de la probeta.

Después del tratamiento de nitruración las probetas fueron cortadas con discos abrasivos de alta velocidad para no dañarla capa. Luego se procedió hacer probetas con resina en caliente.

DESBASTE:

Durante el desbaste se remueve la superficie dañada deformada que se genera en el corte.

Primero fue un desbaste grueso, para que la superficie este completamente plana sin irregularidad (algunos casos se paso por esmeril suave). Después se pasa desbaste fino para esto se usó una selección apropiada de papeles abrasivos (100, 150, 180, 200, 220, 240, 280, 320, 360, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500 y 2000).

Según las técnicas convencionales entre cada etapa de desbaste al pasar de un papel a otro la probeta debe ser girada 90°.

Finalmente se realiza el pulido fino sobre un paño con un abrasivo de oxido de aluminio o alúmina (0,5 um.). Tenemos con esto la probeta lista para el ataque metalografico.

2.6.- ANÁLISIS METALOGRAFICO

Luego del pulido las muestras se atacaron con el reactivo de ataque correspondiente para observar la estructura de los aceros seleccionados para el estudio.

Los reactivos usados son:

1. Nital
2. Alcohol
3. Algodón
4. Papel secante

Luego del tiempo de ataque se han observado las estructuras en un microscopio BUEHLER empleando oculares a 200x y 500x.

La mejor práctica es atacar la probeta bien pulida, pero si no se observa bien los granos se debe volver a pulir muy ligeramente (lo suficiente para remover evidencias de ataque) y luego atacar otra vez.

2.7.- ANÁLISIS DE LA CAPA BLANCA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Una probeta nitrocarburada según los parámetros encontrados se realizó un microanálisis en la empresa de Microscopia Electrónica y Aplicaciones en el Perú S.A.C. (MyAP).

Las probetas que se analizarán más adelante fueron colocadas en la parte de arriba y debajo de la cesta (**ver Figura 2.5**), pero solo se hará el análisis de la probeta N^o 3 parte de abajo (P32) y probeta N^o 4 parte de abajo (P42).

Las probetas fueron atacadas con nital al 5% (ASTM E407 – 70), se analizará tres partes fundamentales: Capa blanca, Zona nitrocarburada y el Núcleo.

PROBETA P32:



Figura 2.7. Fotomicrografías por SEM donde se observa la morfología y análisis químico de la probeta. Se observa una capa blanca no homogénea de 4 y 5µm, martensita revenida y carburo globular fino.

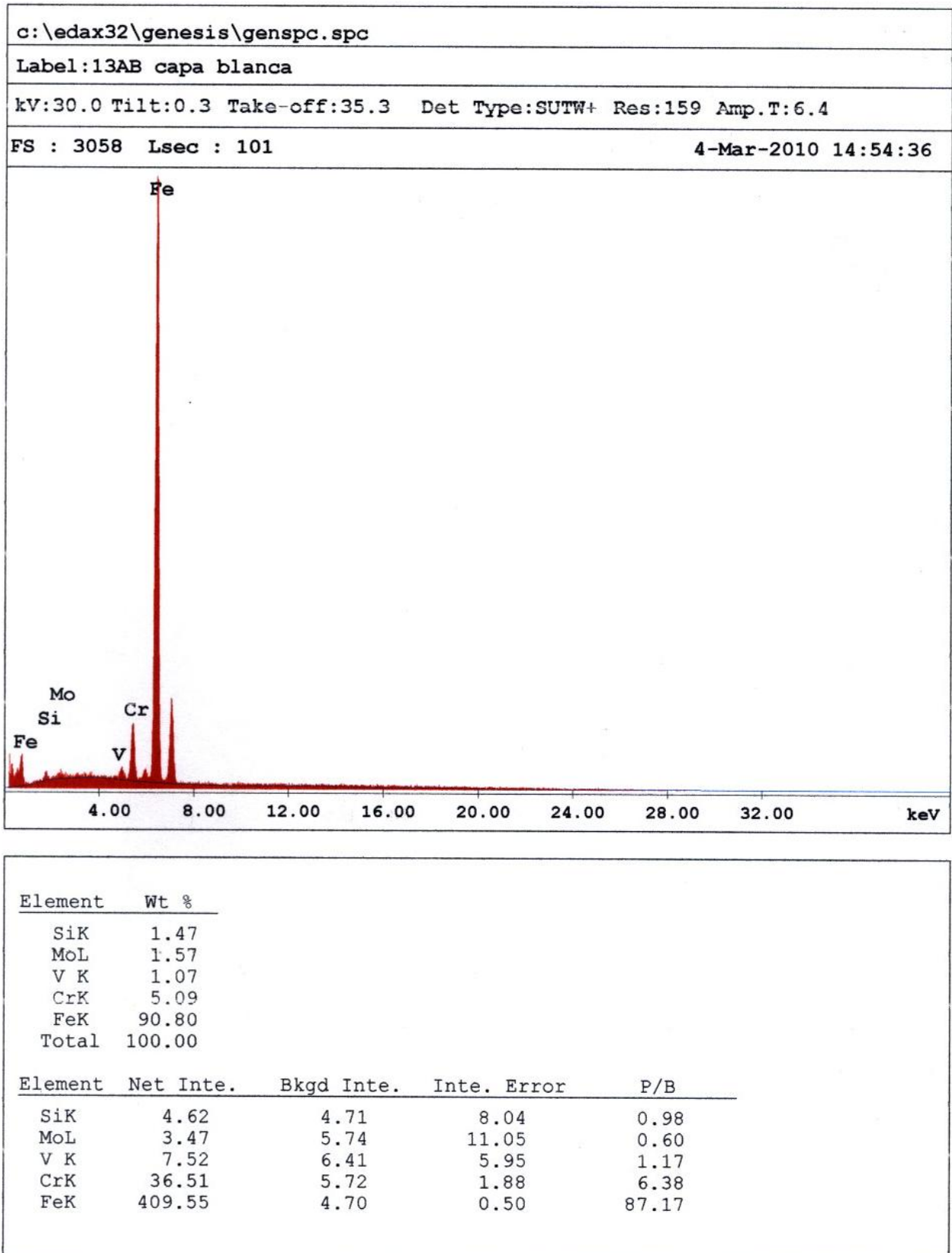
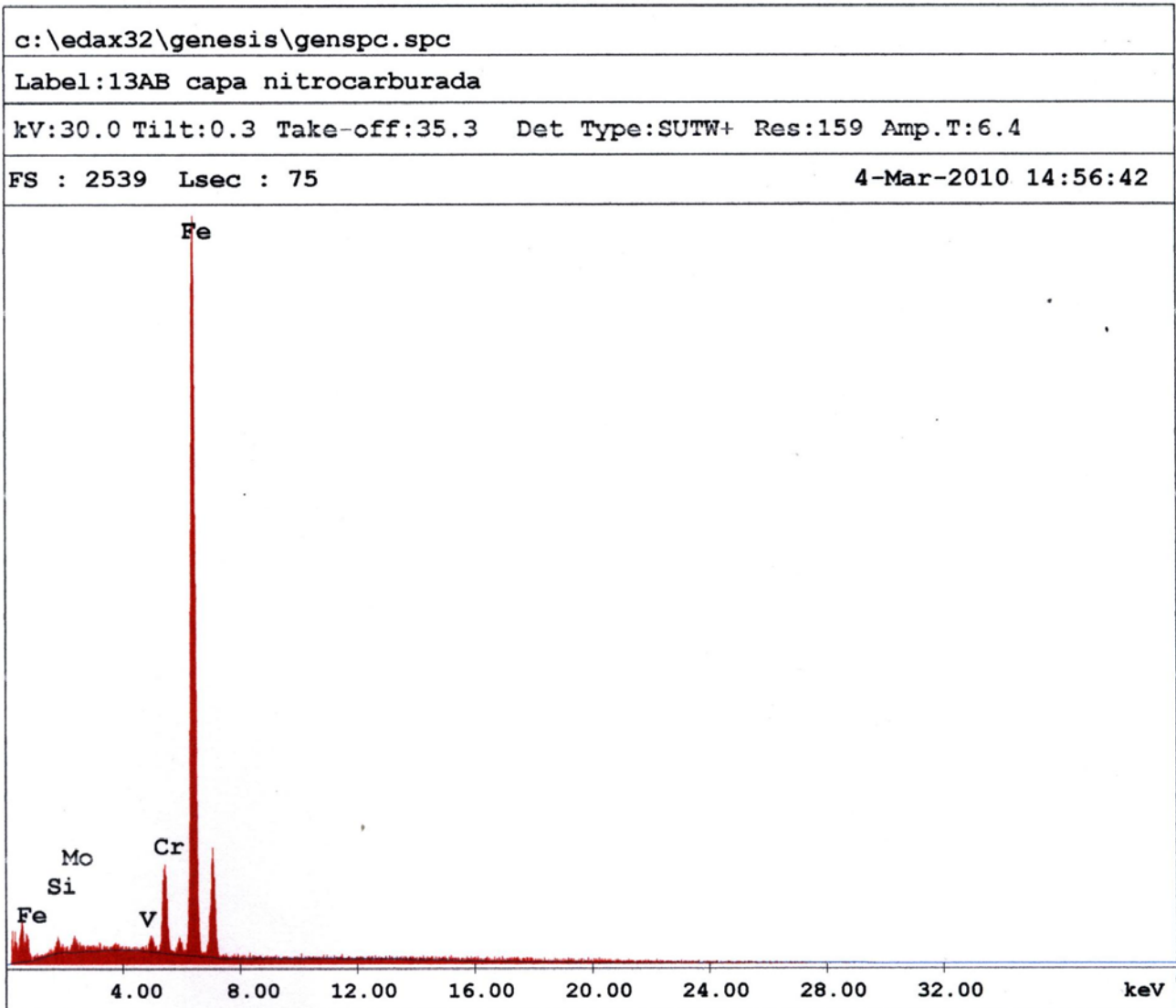


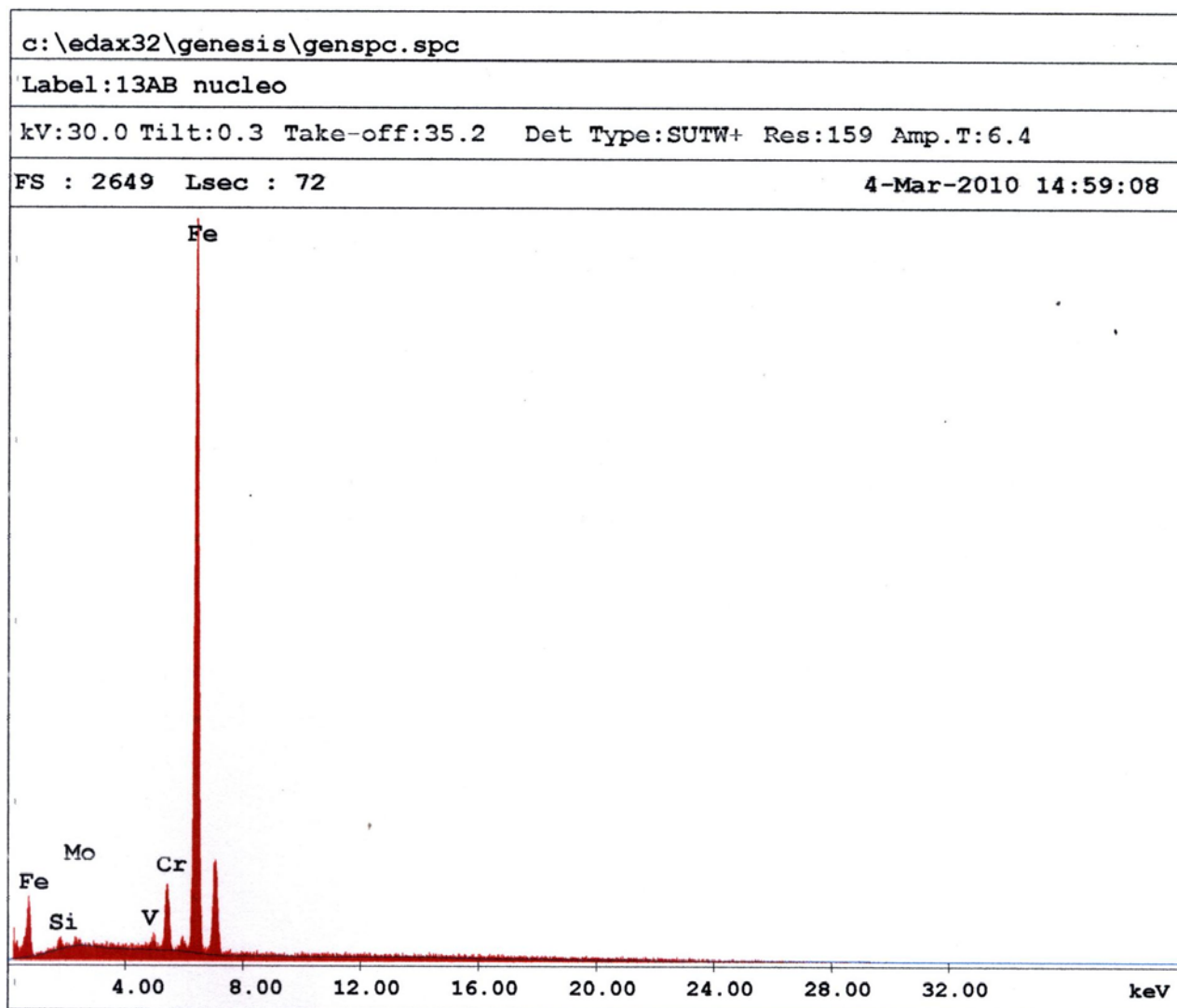
Figura 2.8. Análisis químico de la capa blanca de la probeta.



Element	Wt %
SiK	1.92
MoL	2.33
V K	1.09
CrK	6.37
FeK	88.28
Total	100.00

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
SiK	7.10	6.17	7.15	1.15
MoL	5.99	6.57	8.41	0.91
V K	8.76	8.52	6.68	1.03
CrK	52.02	7.41	1.81	7.02
FeK	458.67	5.71	0.54	80.32

Figura 2.9. Análisis químico de la zona nitrocarburada de la probeta.



Element	Wt %
SiK	1.36
MoL	1.14
V K	0.92
CrK	4.96
FeK	91.61
Total	100.00

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
SiK	5.00	6.65	10.01	0.75
MoL	2.96	8.84	17.97	0.33
V K	7.64	7.90	7.42	0.97
CrK	41.95	7.64	2.11	5.49
FeK	484.91	5.76	0.54	84.21

Figura 2.10. Análisis químico del núcleo de la probeta.

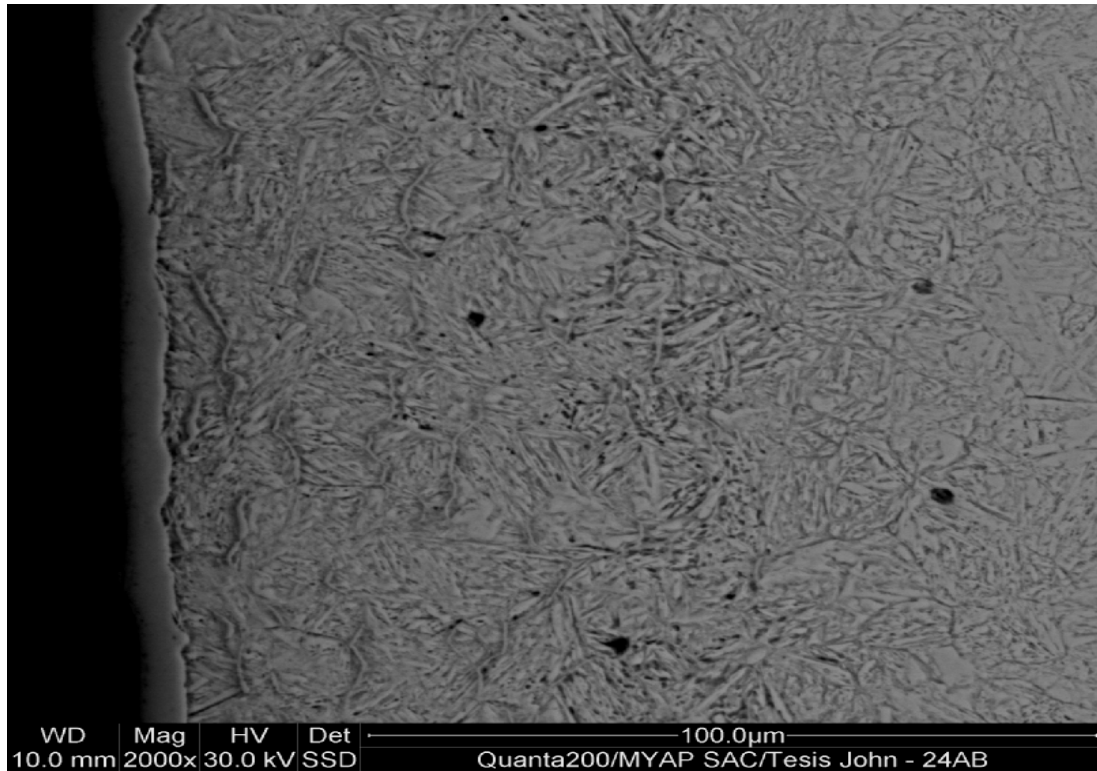
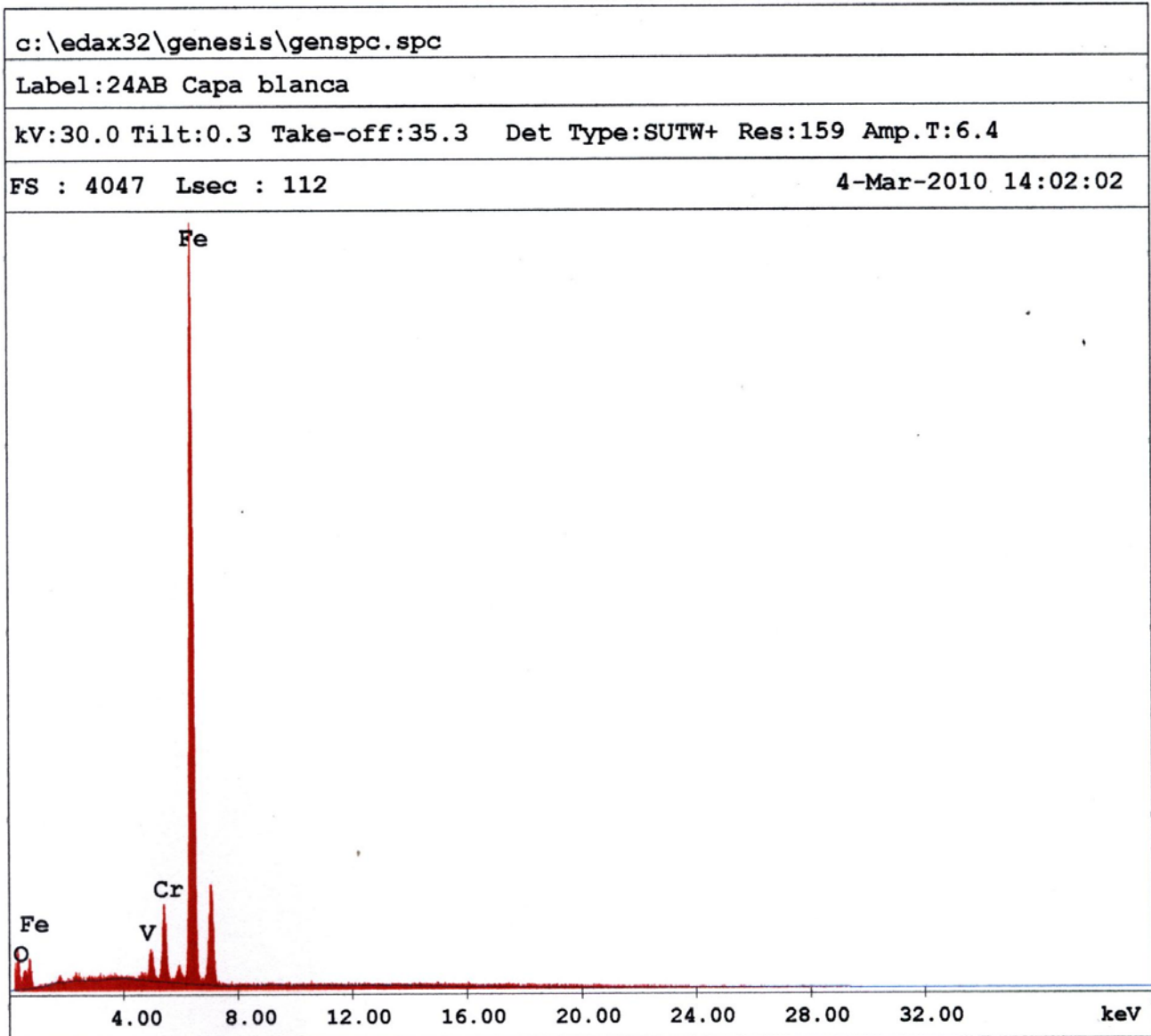
PROBETA P42:

Figura 2.11. Fotomicrografías por SEM donde se observa la morfología y análisis químico de la probeta. Se observa una capa blanca homogénea promedio de 5μm, martensita revenida y carburo globular fino.



Element	Wt %
O K	3.80
V K	2.24
CrK	4.99
FeK	88.96
Total	100.00

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
O K	8.51	0.71	3.50	11.94
V K	19.39	6.71	2.79	2.89
CrK	43.91	5.80	1.60	7.57
FeK	487.04	4.39	0.43	111.07

Figura 2.12. Análisis químico de la capa blanca de la probeta.

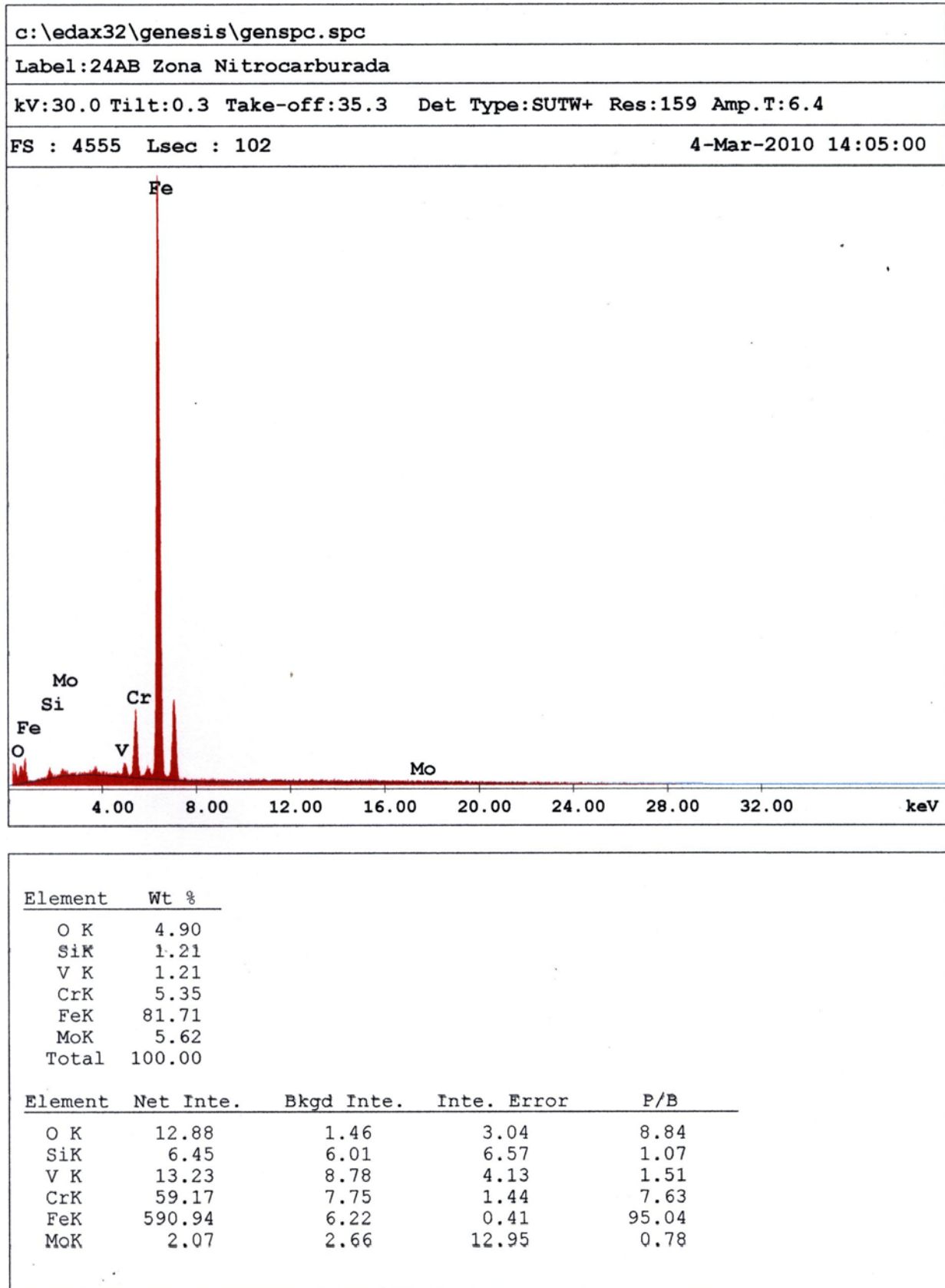
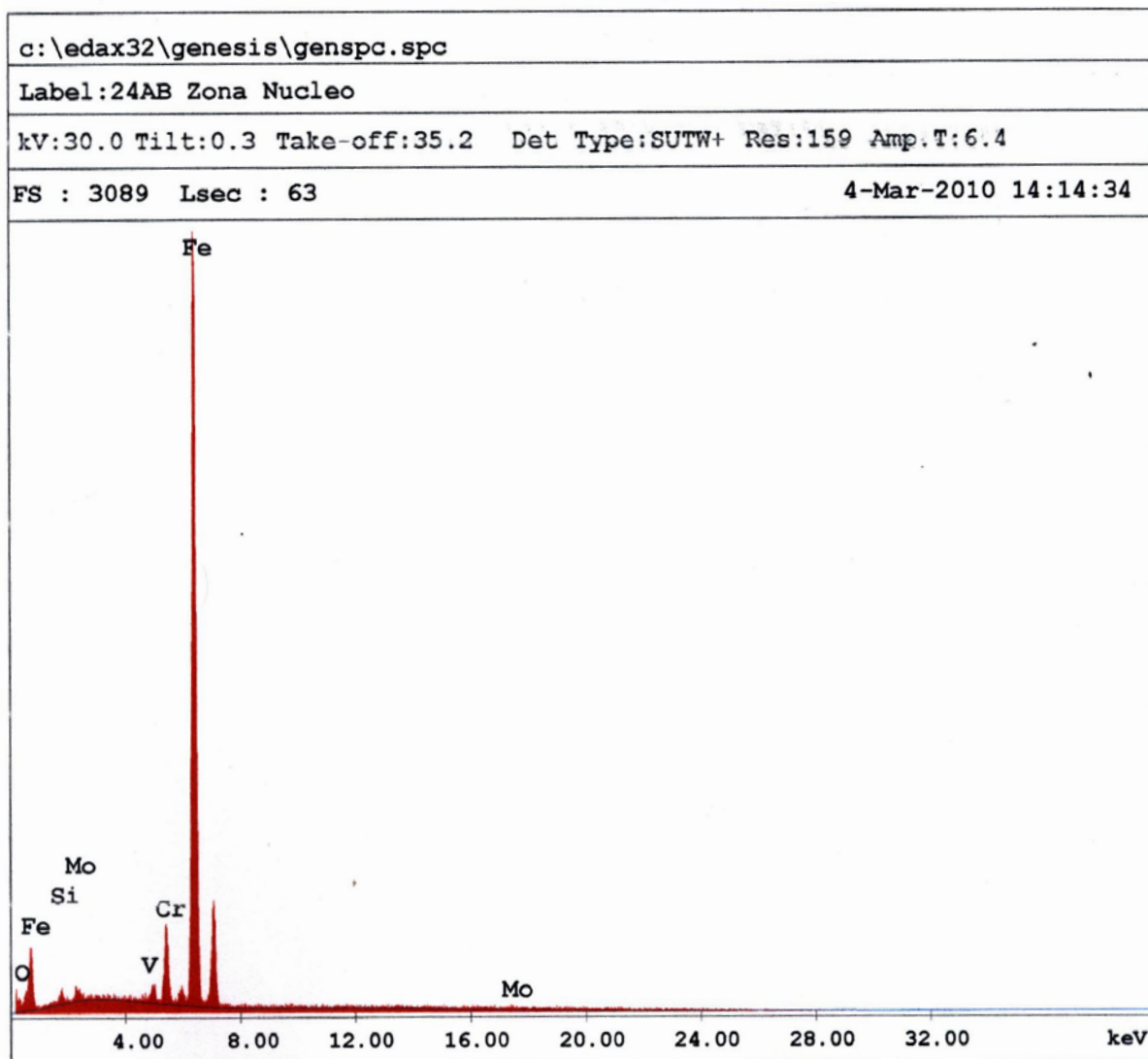


Figura 2.13. Análisis químico de la zona nitrocarburada de la probeta.



Element	Wt %
O K	3.86
SiK	1.34
V K	1.32
CrK	4.76
FeK	79.26
MoK	9.46
Total	100.00

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
O K	10.63	1.32	4.30	8.03
SiK	8.51	6.98	6.99	1.22
V K	16.37	9.50	4.56	1.72
CrK	59.63	8.29	1.84	7.19
FeK	666.09	6.46	0.49	103.10
MoK	4.08	2.27	9.03	1.80

Figura 2.14. Análisis químico del núcleo de la probeta.

2.8.- PERFILES DE MICRODUREZA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE NITROCARBURACIÓN.

Se hizo la prueba de microdureza con una carga de 100grf de dos probetas por cada prueba las cuales se hicieron con temperatura de retorta de 540°C, Barrido de la retorta con N₂ = 20 en el rotámetro (por 30 min), CO₂ =4.5 en el rotámetro, después de introducir el CO₂ se le dio 6.5 horas y se siguieron la siguiente secuencia:

1. PROBETA N ° 1 PARTE DE ARRIBA (P11) Y ABAJO (P12):

Fecha: 04-06-09

Se introdujo NH₃ =8 en el rotámetro

El porcentaje de disociación fue de: 38%

Tabla 2.2. Durezas obtenidas de la probeta P11

DISTANCIA (mm.)	Dureza
	Vickers
0	1090
0.025	1000
0.05	950
0.075	860
0.1	820
0.125	750
0.15	724
0.175	660

NUCLEO = 583

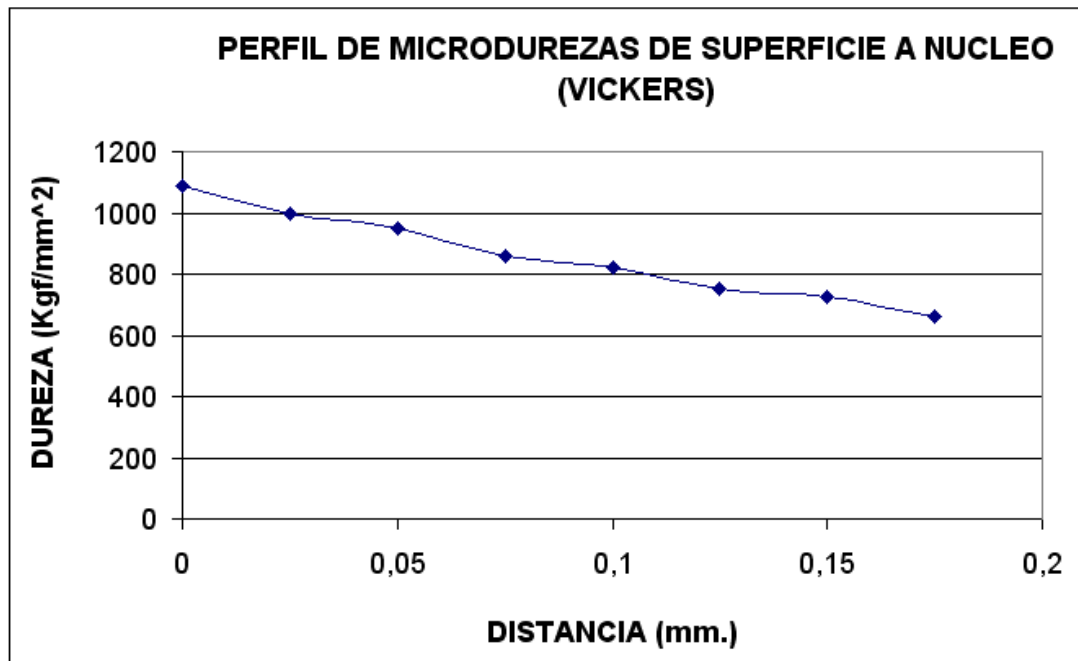


Figura 2.15. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 38%.

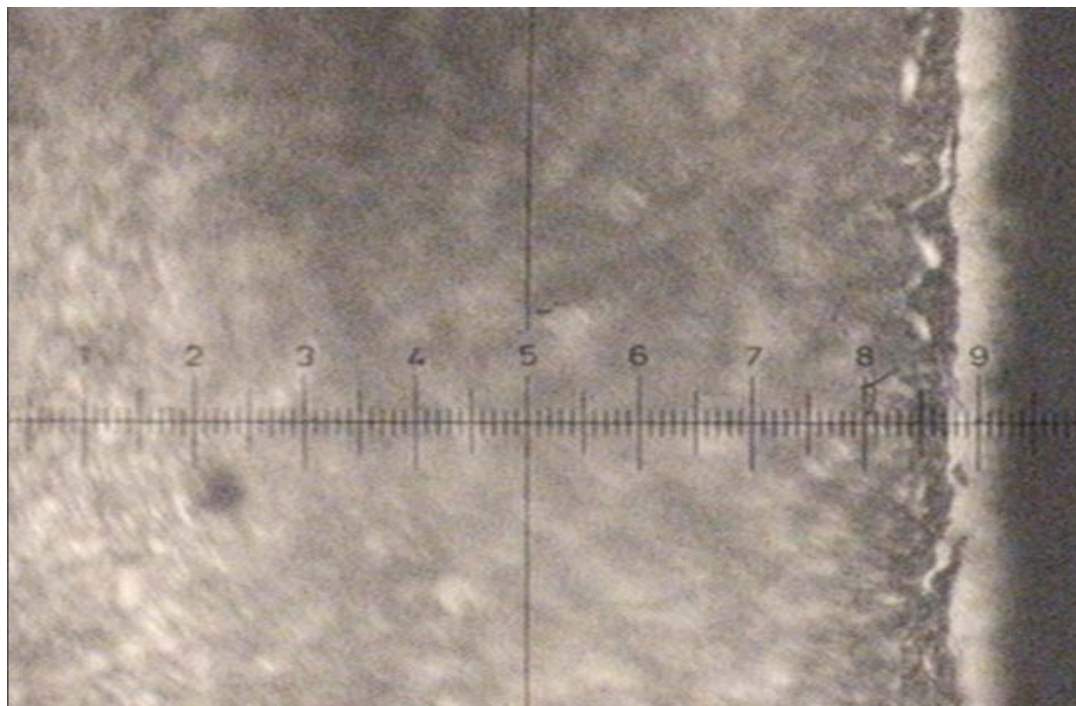


Figura 2.16. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial. Ataque Nital al 5% aumento 500x.

Tabla 2.3. Dureza de la probeta P12

DISTANCIA (mm.)	Dureza Vickers
0	1100
0.025	1010
0.05	975
0.075	900
0.1	894
0.125	789
0.15	689
0.175	666
NUCLEO = 510	

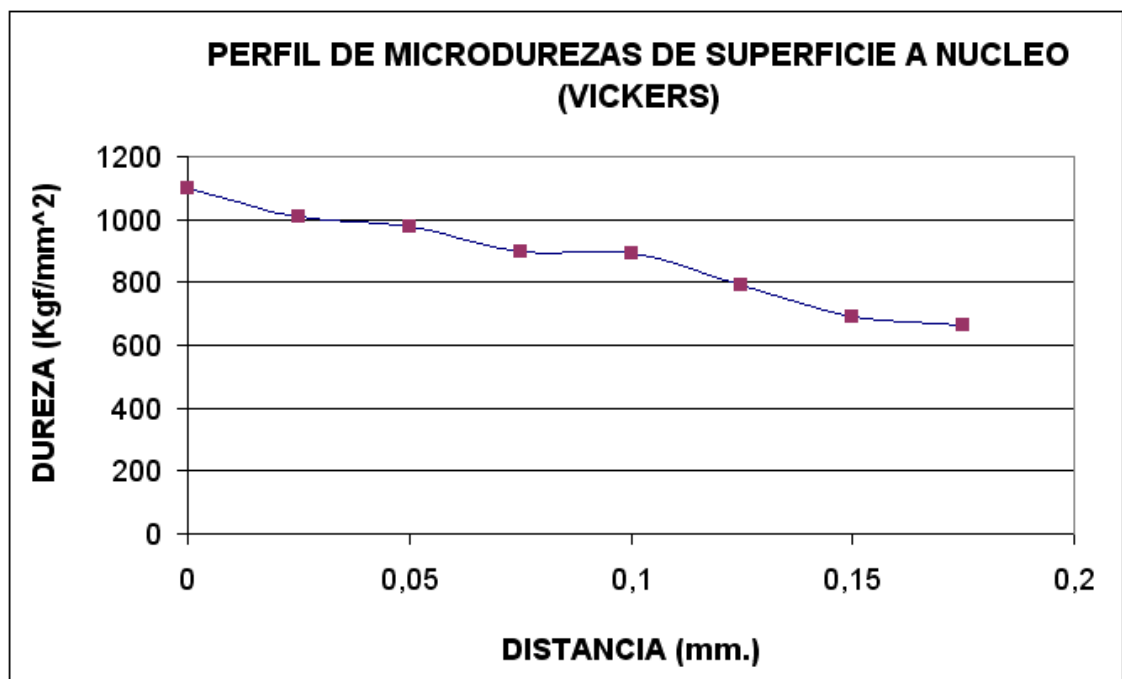


Figura 2.17. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 38%.

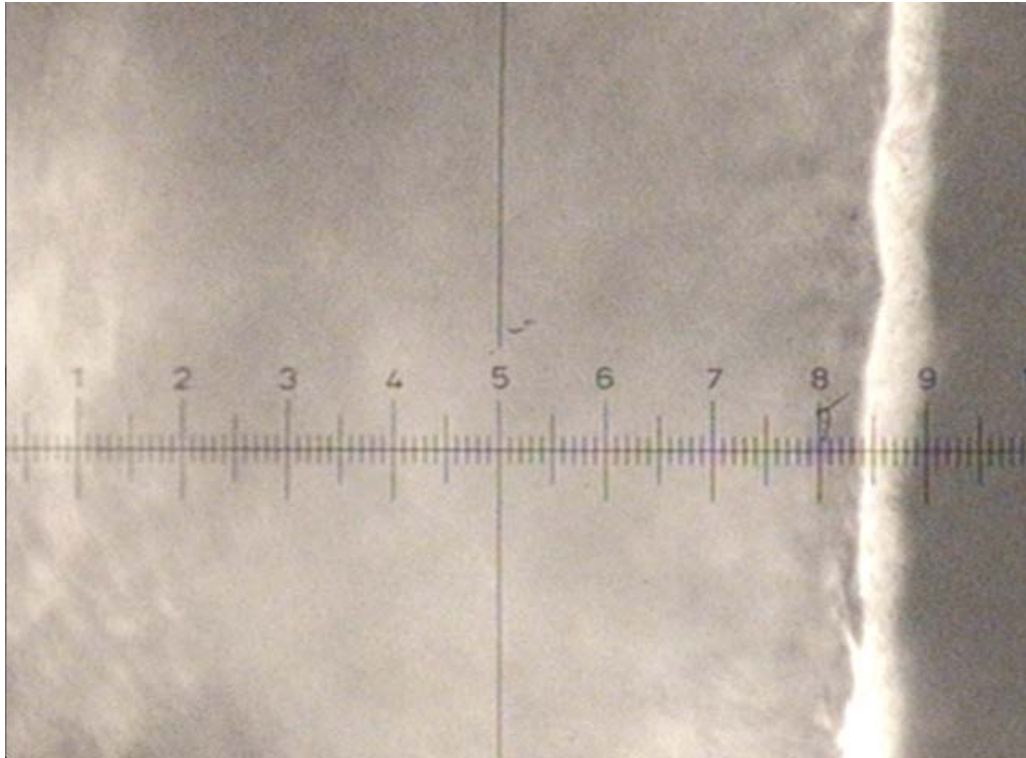


Figura 2.18. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial. Ataque Nital al 5% aumento 500x.

2. PROBETA N ° 2 PARTE DE ARRIBA (P21) Y ABAJO (P22):

Fecha: 08-07-09

Se introdujo $\text{NH}_3 = 8$ en el rotámetro

El porcentaje de disociación fue de: 31%

Tabla 2.4. Dureza de la probeta P21

DISTANCIA	Dureza
(mm.)	Vickers
0	1150
0.025	1045
0.05	1010
0.075	995
0.1	986
0.125	900
0.15	890
0.175	853
NUCLEO = 800	

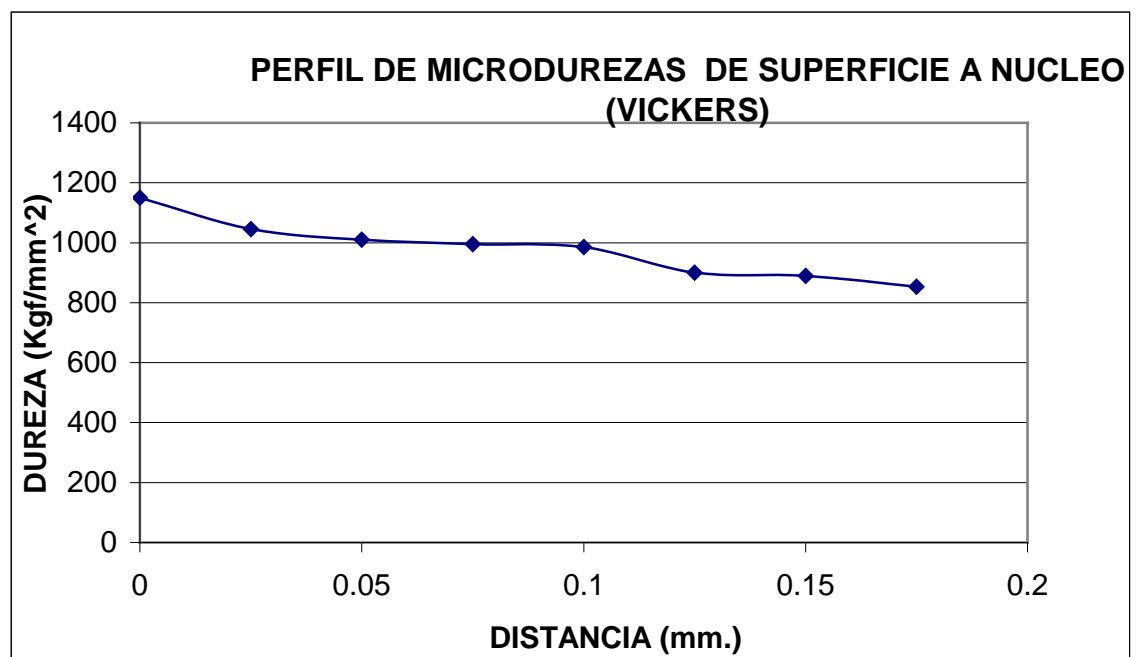


Figura 2.19. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 31%.

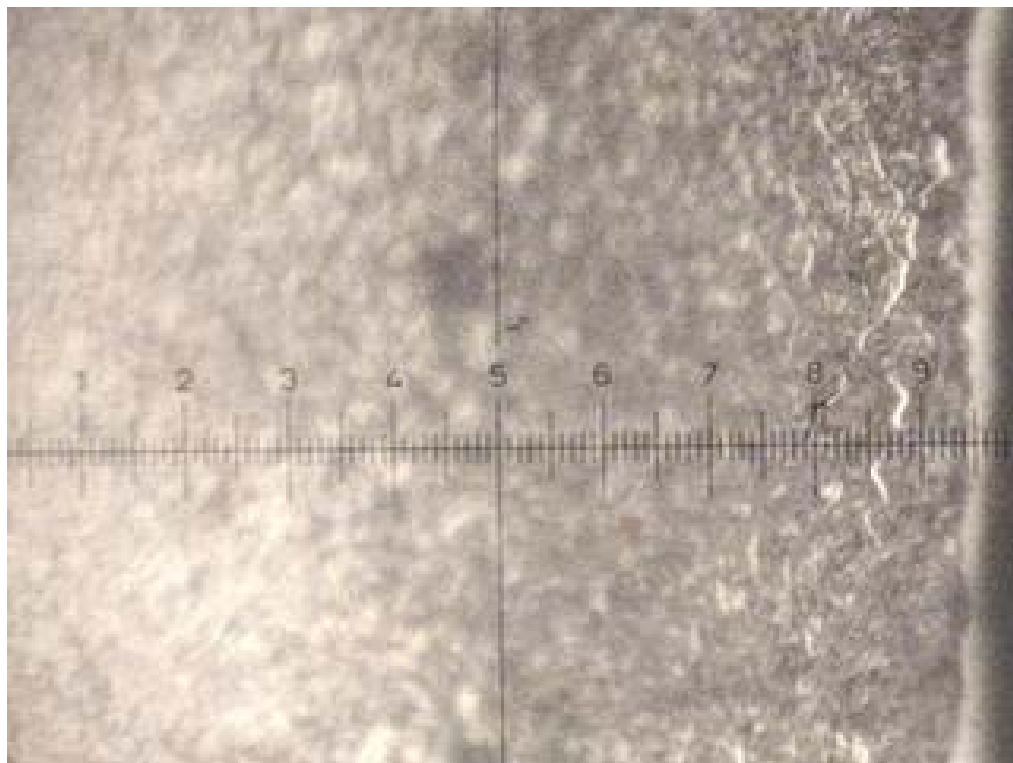


Figura 2.20. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial. Ataque Nital al 5% aumento 500x.

Tabla 2.5. Durezas obtenidas de la probeta P22

DISTANCIA (mm.)	Dureza
	Vickers
0	1180
0.025	1035
0.05	1020
0.075	999
0.1	984
0.125	900
0.15	899
0.175	894

NUCLEO = 780

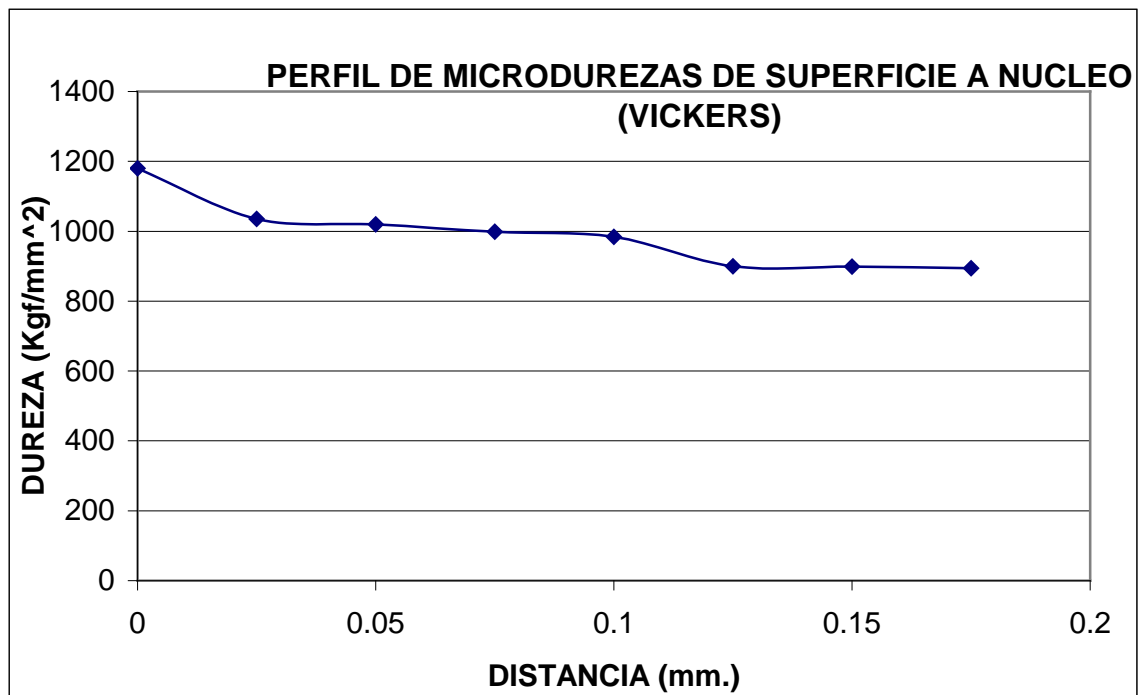


Figura 2.21. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 31%.



Figura 2.22. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico. Ataque Nital al 5% aumento 500x. Se observa capa blanca de $4.5\mu\text{m}$.

3. PROBETA N ° 3 PARTE DE ARRIBA (P31) Y ABAJO (P32):

Fecha: 13-08-09

Se introdujo $\text{NH}_3 = 8$ en el rotámetro.

El porcentaje de disociación fue de: 27%

Tabla 2.6.- Dureza de la probeta P31

DISTANCIA	Dureza
(mm.)	Vickers
0	899
0.025	824
0.05	502.9
0.075	468.17
0.1	482.6
0.125	476
NUCLEO = 463.5	

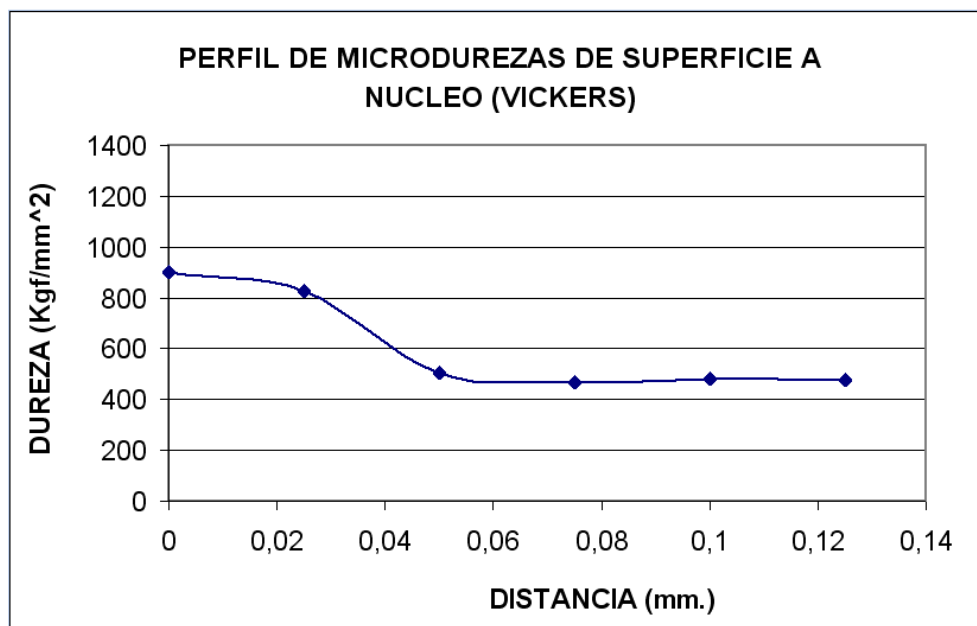


Figura 2.23. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 27%.

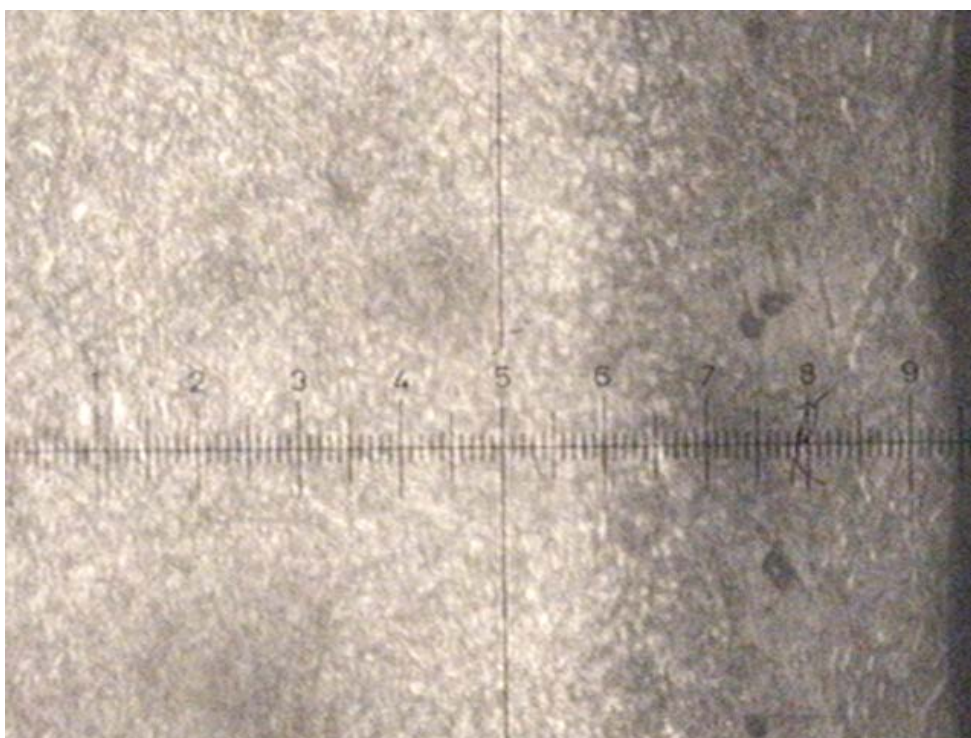


Figura 2.24. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico. Ataque Nital al 5% aumento 200x. Se observa carburo globular fino y Martensita.

Tabla 2.7.- Dureza de la probeta P32

DISTANCIA	Dureza
(mm.)	Vickers
0	745
0.025	715
0.05	492
0.075	458
0.1	463.5
0.125	450
NUCLEO = 449.9	

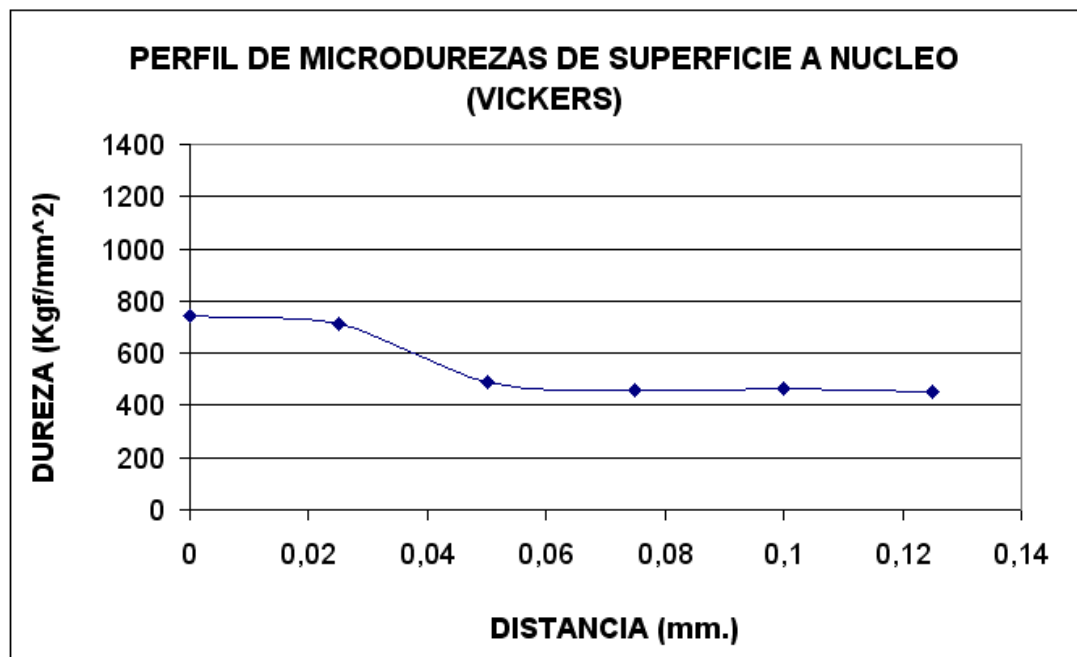


Figura 2.25. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 27%.

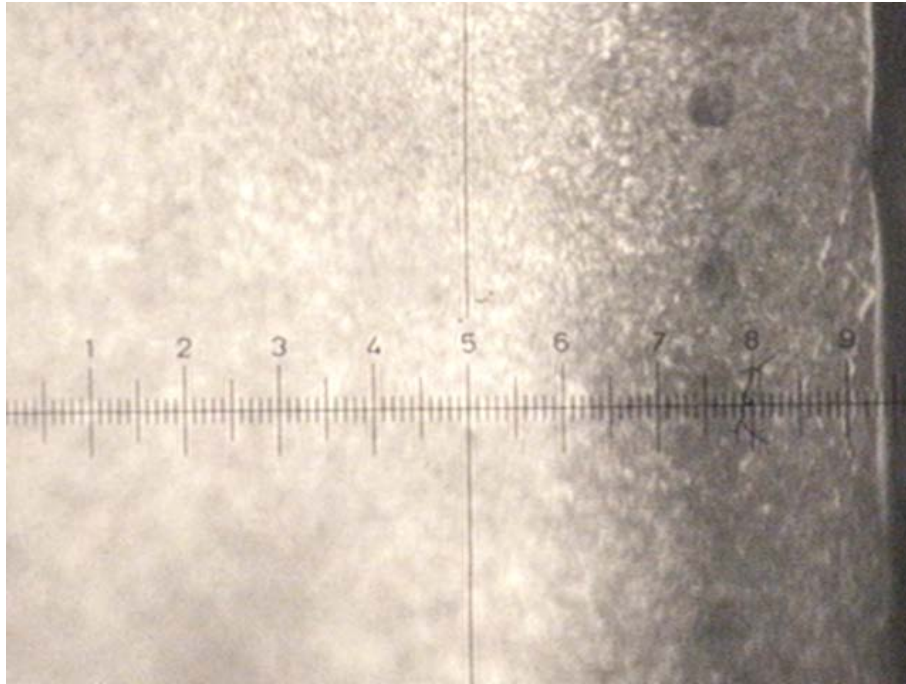


Figura 2.26. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico. Ataque Nital al 5% aumento 200x. Se observa carburo globular fino y Martensita.

4. PROBETA N ° 4 PARTE DE ARRIBA (P41) Y ABAJO (P42):

Fecha: 24-08-09

Se introdujo $\text{NH}_3 = 8$ en el rotámetro

El porcentaje de disociación fue de: 37%

Tabla 2.8.- Dureza de la probeta P41

DISTANCIA	Dureza
(mm.)	Vickers
0	1064
0.025	980
0.05	600
0.075	559.7
0.1	472.9
0.125	463.5
NUCLEO = 344.4	

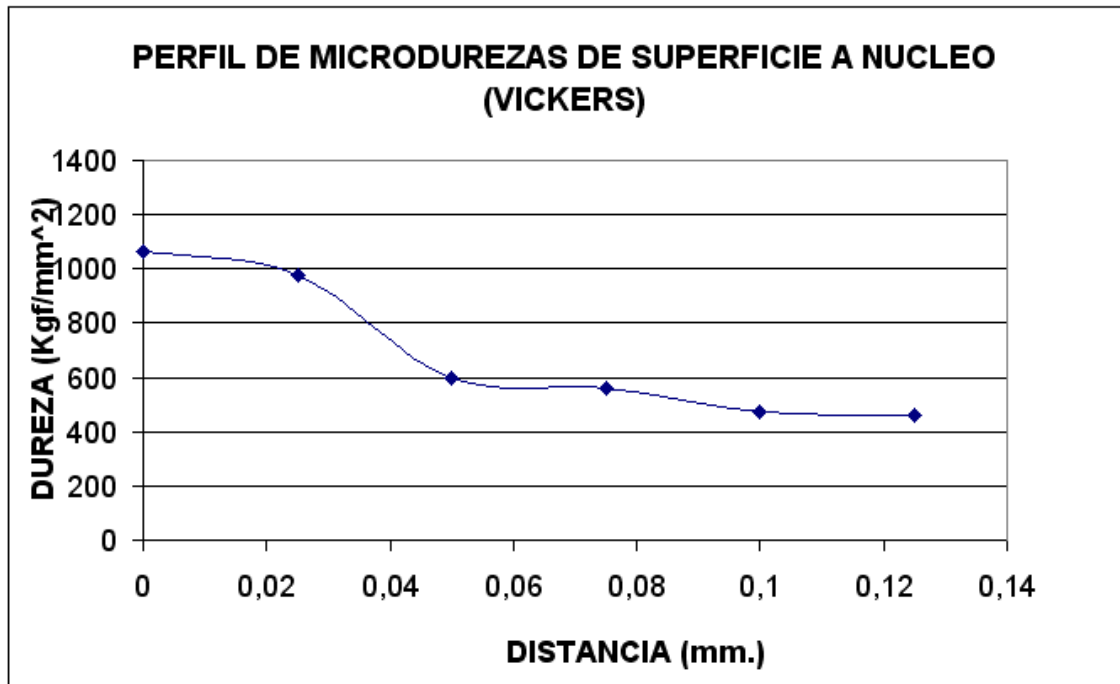


Figura 2.27. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 37%.

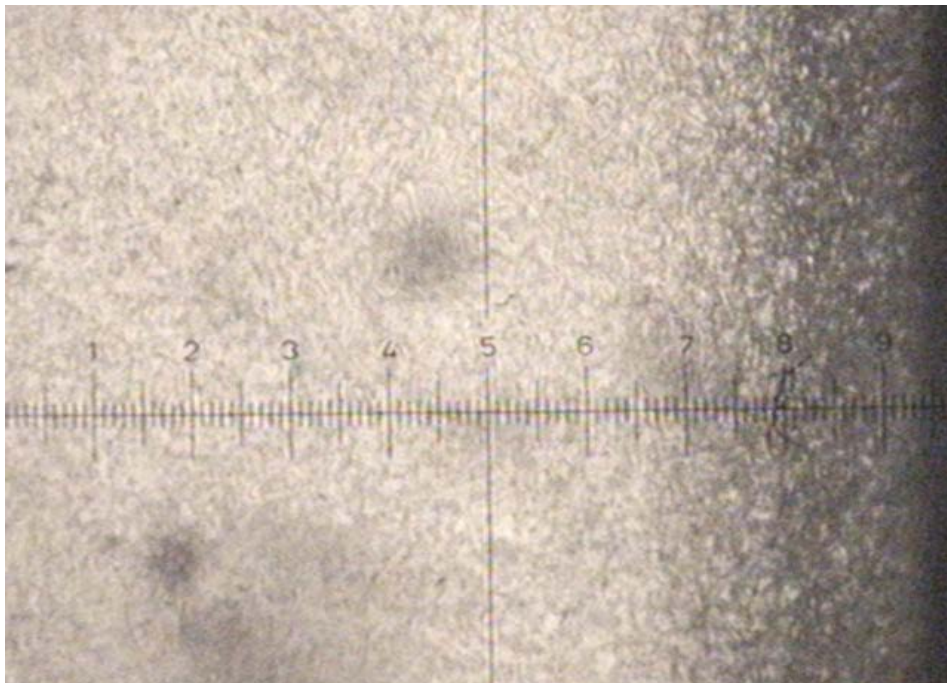


Figura 2.28. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico. Ataque Nital al 5% aumento 200x. Se observa carburo globular fino y Martensita.

Tabla 2.9.- Dureza de la probeta P42

DISTANCIA (mm.)	Dureza Vickers
0	1032.52
0.025	950
0.050	660
0.075	472.9
0.100	436.8
0.125	477.7
NUCLEO = 449.9	

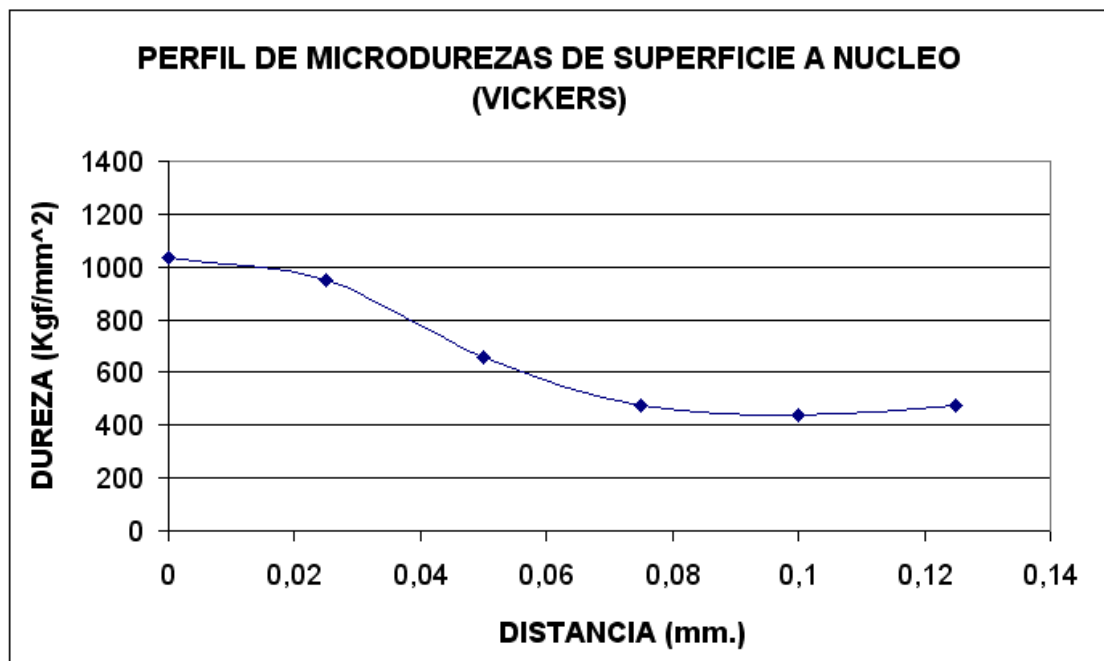


Figura 2.29. Grafico de perfil de microdureza correspondiente a un acero H13 con recubrimiento superficial. Disociación de 27%.

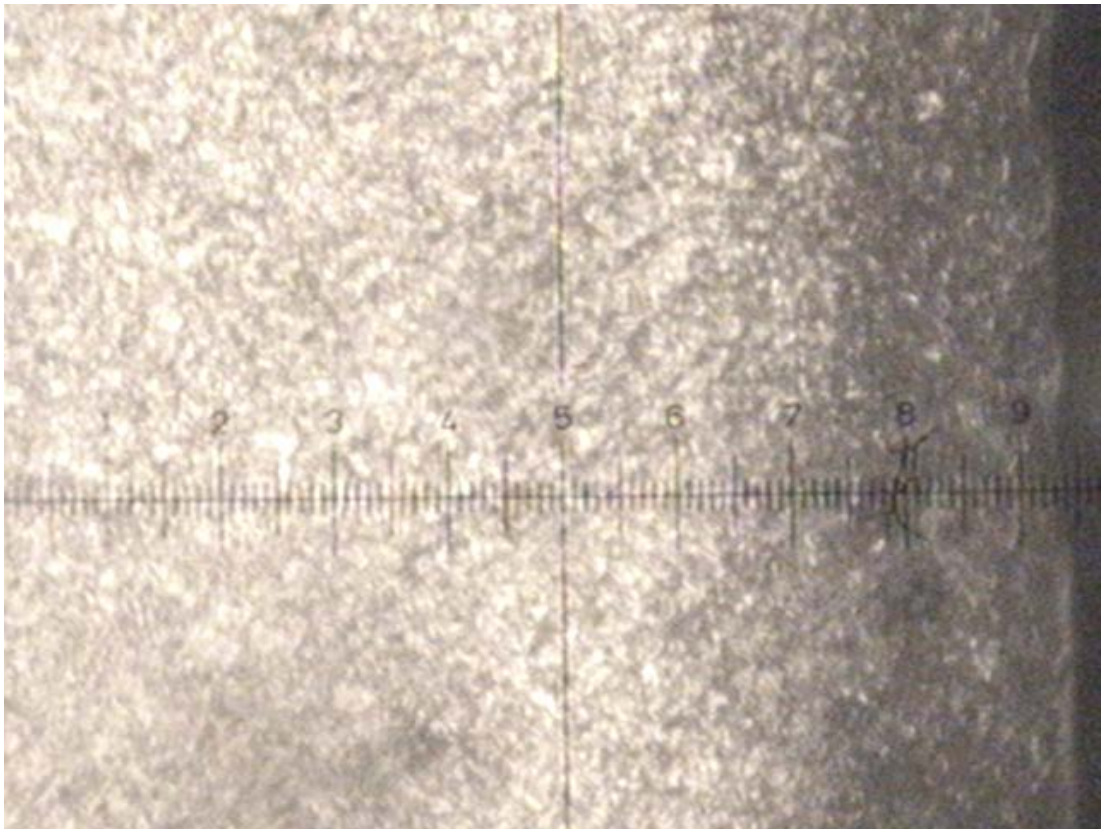


Figura 2.30. Fotomicrografía del borde del acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico. Ataque Nital al 5% aumento 200x. Se observa carburo globular fino y Martensita.

2.9.- EVALUACIÓN DE LAS MATRICES EN OPERACIÓN QUE CERTIFIQUE QUE EL PROCESO DE NITROCARBURACIÓN FUNCIONA Ó CUMPLE CON PROLONGAR SU VIDA ÚTIL.

Para evaluar los resultados de dicho tratamiento se ha realizado el tratamiento a matrices nuevas, a continuación se detalla la cantidad producida antes y después del proceso.

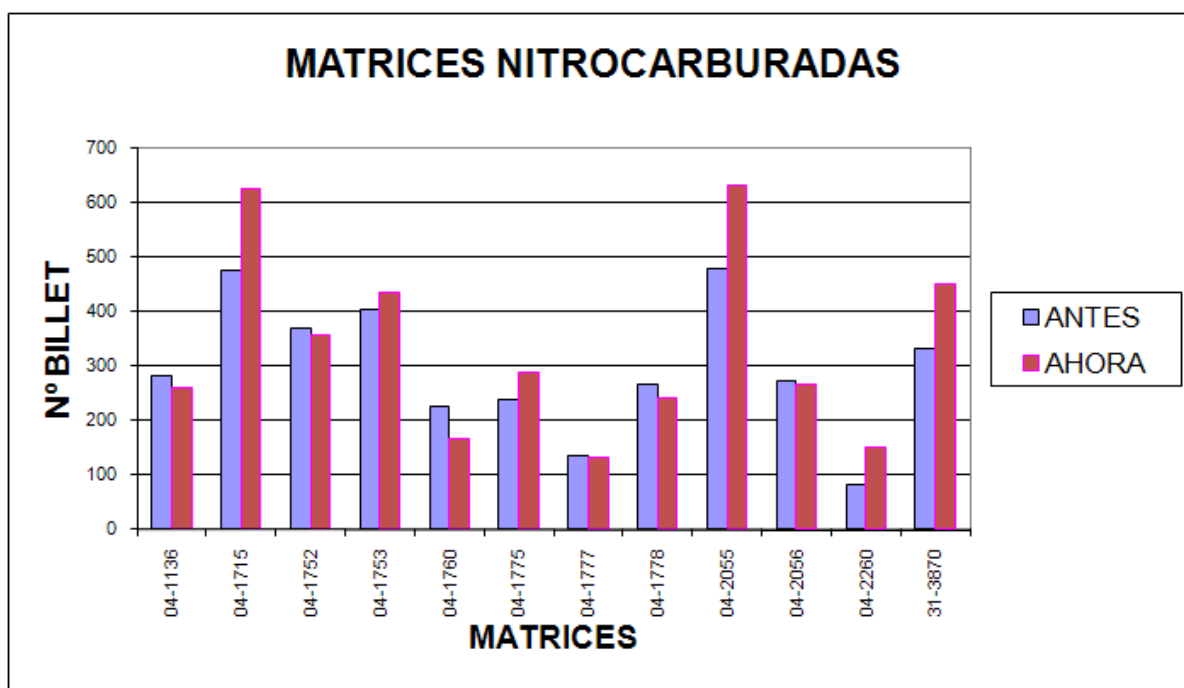
Tabla 2.10. Billet obtenidos en la extrusión de matrices nitrocarbурadas.

MATRIZ			NITROCARBURACION			PRODUCCION		
Código	Nº	S	Fecha	Tiempo en Horas	Grado de Disociación	Cantidad Billet	Aleación	Extrusión (Kg)
04-1136	3	8				275	6063	6844,40
04-1136	4	8				289	6063	6810,48
04-1136	6	8	24/08/09	6.5	33	262	6063	6356,50
04-1715	1	1				258	6063	7919,40
04-1715	2	1				490	6063	14973,30
04-1715	3	1				679	6063	19700,50
04-1715	3	1	18/09/09	6.5	33	628	6063	18427,70
04-1752	16	1				377	6063	12049,70
04-1752	17	1				279	6063	9148,50
04-1752	18	1				362	6063	11251,00
04-1752	20	1				566	6063	18900,00
04-1752	21	1				267	6063	8516,20
04-1752	22	1	05/08/09	6.5	33	449	6063	14199,50
04-1753	1	1				264	6063	8598,10
04-1753	12	1				310	6063	9949,10
04-1753	15	1				473	6063	15639,00
04-1753	16	1				569	6063	18589,30
04-1753	19	1	25/07/09	6.5	33	244	6063	7476,10
04-1753	20	1	30/07/09	6.5	33	518	6063	16021,30
04-1753	21	1	30/07/09	6.5	33	548	6063	16897,00
04-1760	16	1				281	6063	8578,00
04-1760	17	1				296	6063	9237,70
04-1760	20	1				107	6063	3206,17
04-1760	20	1	26/10/09	6.5	31	167	6063	5148,60

MATRIZ			NITROCARBURACION			PRODUCCION		
Código	Nº	S	Fecha	Tiempo en Horas	Grado de Disociación	Cantidad Billet	Aleación	Extrusión (Kg)
04-1775	11	1				112	6063	2878,20
04-1775	38	1				177	6063	4617,70
04-1775	41	1				130	6063	3150,10
04-1775	43	1				351	6063	8709,90
04-1775	44	1				362	6063	9073,80
04-1775	62	1				293	6063	7928,63
04-1775	75	1	24/08/10	6.5	33	288	6063	7111,70
04-1777	15	2				105	6063	3021,60
04-1777	16	2				178	6063	5237,60
04-1777	17	2				123	6063	3776,40
04-1777	22	2	22/09/09	6.5	37	132	6063	3990,90
04-1778	33	2				239	6063	7120,00
04-1778	34	2				298	6063	9116,50
04-1778	56	2	05/08/09	6.5	32	242	6063	7583,20
04-2055	1	4				470	6063	14662,40
04-2055	2	4				664	6063	21253,20
04-2055	3	4				305	6063	9692,31
04-2055	4	4	6/09/09	6.5	32	632	6063	20323,10
04-2056	1	4				255	6063	8641,70
04-2056	2	4				295	6063	9522,30
04-2056	4	4				268	6063	7173,90
04-2056	6	4	18/09/09	6.5	31	268	6063	8929,30
04-2260	21	8				60	6063	1697,60
04-2260	25	8				122	6063	3052,80
04-2260	23	8				68	6063	2145,20
04-2260	27	8	24/08/09	6.5	33	152	6063	2434,60
31-3870	6	2				188	6063	5331,20
31-3870	10	2				315	6063	9373,40
31-3870	11	2				495	6063	11834,12
31-3870	11	2	26/10/09	6.5	31	451	6063	9634,00

Tabla: 2.11. Cuadro comparativo de billet extruidos

CODIGO	ANTES	AHORA
04-1136	282	262
04-1715	476	628
04-1752	370	358
04-1760	228	167
04-1753	372	437
04-1775	193	286
04-1777	133	132
04-1778	199	187
04-2055	480	632
04-2056	290	268
04-2260	83	152
31-3870	333	451

**Figura 2.31.** Comparación de matrices sin tratamiento con matrices con tratamiento.

CAPITULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1.- DESCRIPCIÓN.

Se tomo una carga como unidad de prueba, definida esta carga como el proceso de nitrocarburation de un grupo de matrices (200 Kg aprox.) de acero ASI: H13, realizado en una jornada de trabajo.

Inicialmente se siguió con el proceso de TECALEX con la finalidad de conocer el funcionamiento de todo el equipo para luego poder identificar todas las variables del proceso de nitrocarburation y determinar una secuencia para lograr los parámetros necesarios para un buen proceso.

Se pudo identificar las siguientes variables susceptibles de control:

- a. Temperatura del horno.
- b. Presión total interior del horno durante el proceso.
- c. Presión de ingreso al horno, de los gases: Nitrógeno, Amoniac y Anhídrido carbónico.
- d. Flujo de ingreso al horno, de los gases: N_2 , NH_3 y CO_2 .
- e. Grado de disociación del amoniaco.

Para hallar el valor de estas variables se realizaron 15 pruebas (una prueba por carga y por día). Durante las cuales se hallaron algunos imprevistos como por ejemplo en la 10ma prueba se noto que el ensamble de los flujometros era incorrecto por lo que se procedió a cambiarlos y se modifico nuevamente el proceso.

3.2.- RESULTADOS

El principal problema fue encontrar la relación de los gases para hallar el grado de disociación del amoniaco ($G^{\circ}D$), al inicio se interpreto la lectura del $G^{\circ}D$ en la bureta Bunte en la que se debe hacerse de arriba hacia abajo y no en sentido contrario como se estaba haciendo.

En las pruebas se obtuvo que para un grado de disociación comprendido entre 30 y 40% se obtiene microdurezas aceptables así como también la formación de capa blanca.

Dentro de la retorta, todos los gases nitrocarburentes: NH_3 , N_2 , H_2 y CO_2 son recirculados por medio de un agitador, lo cual hacía pensar que en algunas zonas podría no circular los gases y por lo tanto, en dichas zonas la nitrocarbureción de las matrices seria deficiente. Se verifico dicha hipótesis colocando en cada prueba dos probetas una en la parte superior y otra en la inferior, comprobando que si hay una variación en el perfil de dureza y

microfotografía como pueden verse en las pruebas de microdureza (ver Capítulo 2.8), donde se puede observar que la probeta colocada en la parte baja de la cesta presenta mejores condiciones de dureza y penetración, lo que podría explicarse por el hecho que en esta zona hay mas turbulencia la que favorece la nitrocarburation.

Al finalizar con las pruebas se realizo la carga en el horno de nitrocarburation con matrices nuevas, tanto en la parte superior e inferior, posteriormente se procedió a probar dichas matrices en el proceso de extrusion del aluminio.

Las cargas estuvieron compuestas por matrices tubulares y matrices que comúnmente se las conoce como matrices abiertas.

3.3.- ESTUDIO DE COSTOS QUE JUSTIFIQUE REALIZAR DICHO PROCESO DE NITROCARBURACION

3.3.1.- CÁLCULO DE COSTOS DEL PROCESO

Tabla 3.1. Cálculo del consumo de agua por tratamiento

Insumo	m ³	Costo del Insumo S./m ³	Total S/.
Agua para refrigeración	3.90	1.13	4.39
Total			4.39

Tabla 3.2. Cálculo del consumo energía eléctrica

Equipo	Kw-hr.	Cantidad	Parcial
Potencia eléctrica	60.0	1	60
Puente grúa, movimiento de cargas x 3000Kg	3.7	2	7.4
Iluminación	4.0	1	4
Total Kw-hr			71.4

Tabla 3.3. Cálculo de energía eléctrica anual

Energía	Kw - hr.	hr. /día	S./ Kw-h	S/.
Energía eléctrica	71.40	6.50	0.07	30.96

Tabla 3.4. Cálculo de insumos para el proceso

Insumo	Requerido (Kg.)	S./Kg.	S/.
Amoniaco (NH3)	4	2.059	7.21
Nitrógeno (N2)	7	8.00	53.33
Anhídrido Carbónico (CO2)	12	2.80	33.60
Total			94.14

Tabla 3.5. Mano de obra.

Descripción	Sueldo S/.	Beneficios sociales S/.	Costo mensual S/.	Costo por tratamiento S/.	Cantidad	Total S/.
Operador	750.00	450.00	1,200.00	55.00	1	55.00
Total						55.00

Tabla 3.6. Supervisión de Operaciones.

Descripción	Sueldo S/.	Beneficios sociales S/.	Costo mensual S/.	Costo por tratamiento S/.	Cantidad	Total S/.
Supervisor	2300	1,380.00	3,680.00	168.67	1	168.67
Total						168.67

Tabla 3.7. Costo de los servicios.

Servicios	Total S/.
Agua	4.39
Electricidad	30.96
Total	35.34

Tabla 3.8. Calculo de la ganancia.

CODIGO	ANTES	AHORA	Kg. Antes	Kg. Después	Incremento Kg.	Ahorro S/.	Costo de producción S/.	Ganancia S/.
04-1136	282	262	6827,44	6356,50	0,00	0,00	0,00	0,00
04-1715	476	628	14197,73	18427,70	4229,97	48711,91	44160,89	4551,02
04-1752	370	358	11650,35	11357,85	0,00	0,00	0,00	0,00
04-1753	404	437	13193,88	13464,80	270,92	3119,89	2828,40	291,48
04-1760	228	167	7007,29	5148,60	0,00	0,00	0,00	0,00
04-1775	238	286	6059,72	7111,70	1051,98	12114,50	10982,67	1131,83
04-1777	135,3	132	4011,87	3990,90	0,00	0,00	0,00	0,00
04-1778	268	242	8037,03	7583,20	0,00	0,00	0,00	0,00
04-2055	480	632	15202,64	20323,10	5120,46	58966,71	53457,60	5509,10
04-2056	275	268	9082,00	8929,30	0,00	0,00	0,00	0,00
04-2260	83	152	2298,53	2434,60	136,07	1566,97	1420,57	146,40
31-3870	333	451	8846,24	9634,00	787,76	9071,77	8224,21	847,55
						133551,73	121074,35	12477,38

3.3.2.- RESULTADO OBTENIDO DE LA NITROCARBURACIÓN.

Tabla 3.9. Resumen de costo del proceso de nitrocarburation.

<u>ESTIMACION DE INGRESOS Y RETORNOS</u>			
Producto: Matrices			
Costos directos de la producción por proceso	.....		353,15
Costo por cada matriz	.....		29,43
Costo del tratamiento en el mercado	.....		32,90
Ahorro por matriz	.....		3,47
Costo de matriz	.....	1000	2900
Costo de matriz con tratamiento	.....	1030	2987
Costo del proceso por Kg de aluminio	.....	3,775	10,9475
Costo producto terminado	.....	3,97	11,5159
Total de ahorro	.....		12477,38
Total costo	.....		<u>8828,76</u>
Ganancia	.....		3648,63

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Según los resultados obtenidos se ha alcanzado durezas máximas de 1000 a 1200 en la superficie, 689 a 890 a una profundidad de 0.15mm y 510 a 800 Vicker en el núcleo.
2. En la investigación de este proceso termoquímico hemos encontrado que con 30% a 40% de G^oD se pueden obtener resultados normalmente aceptables con un flujo de NH₃ entre 7 y 8 en el rotámetro tal como se muestra en el Capítulo 2.8 y en el informe hecho por la católica (ver ANEXO).
3. Se ha observado que si el G^oD es alto se debe aumentar el flujo de NH₃ para bajarlo y si el G^oD es bajo se debe disminuir el flujo de NH₃ para aumentarlo. Así como también la lectura de la Bureta Bunte debe se hecha de arriba hacia abajo.
4. La investigación de este proceso ha permitido obtener capas blancas de estructura uniforme con espesores y sus durezas están dentro de los límites alcanzables como se pueden observar en las macrofotografías obtenidas de la UNI y Universidad Católica que se adjuntan.

5. Se utilizaron matrices nuevas para hacer la prueba en el proceso de extrusión dando como resultados que hay mejor duración las matrices y propiedades mecánicas.
6. Con el proceso de nitrocarburation se ha logrado obtener de $4\mu\text{m}$ a $5\mu\text{m}$ de espesor de capa blanca y de $95\mu\text{m}$ de zona nitrocarburada. Así como la formación de martensita de mayor tamaño con respecto al núcleo.
7. Existe mayor dureza en la zona inferior de la cesta donde se colocan las matrices y una dureza menor en la parte superior de la misma, esto se debe a que no hay una buena recirculación de los gases.
8. Actualmente luego del proceso de nitrocarburation se hace un pulido manual para eliminar la capa blanca.
9. Analizando los costos del proceso, es menor respecto a un tratamiento que se realice en la localidad.
10. Las matrices sometidas a doble o triple tratamiento de nitrocarburation, son afectadas en su estructura cristalina con el consiguiente crecimiento de granos que pueden ocasionar roturas, por lo que se recomienda pintar toda la matriz dejando solo la parte que se somete a fricción durante la extrusión del aluminio.

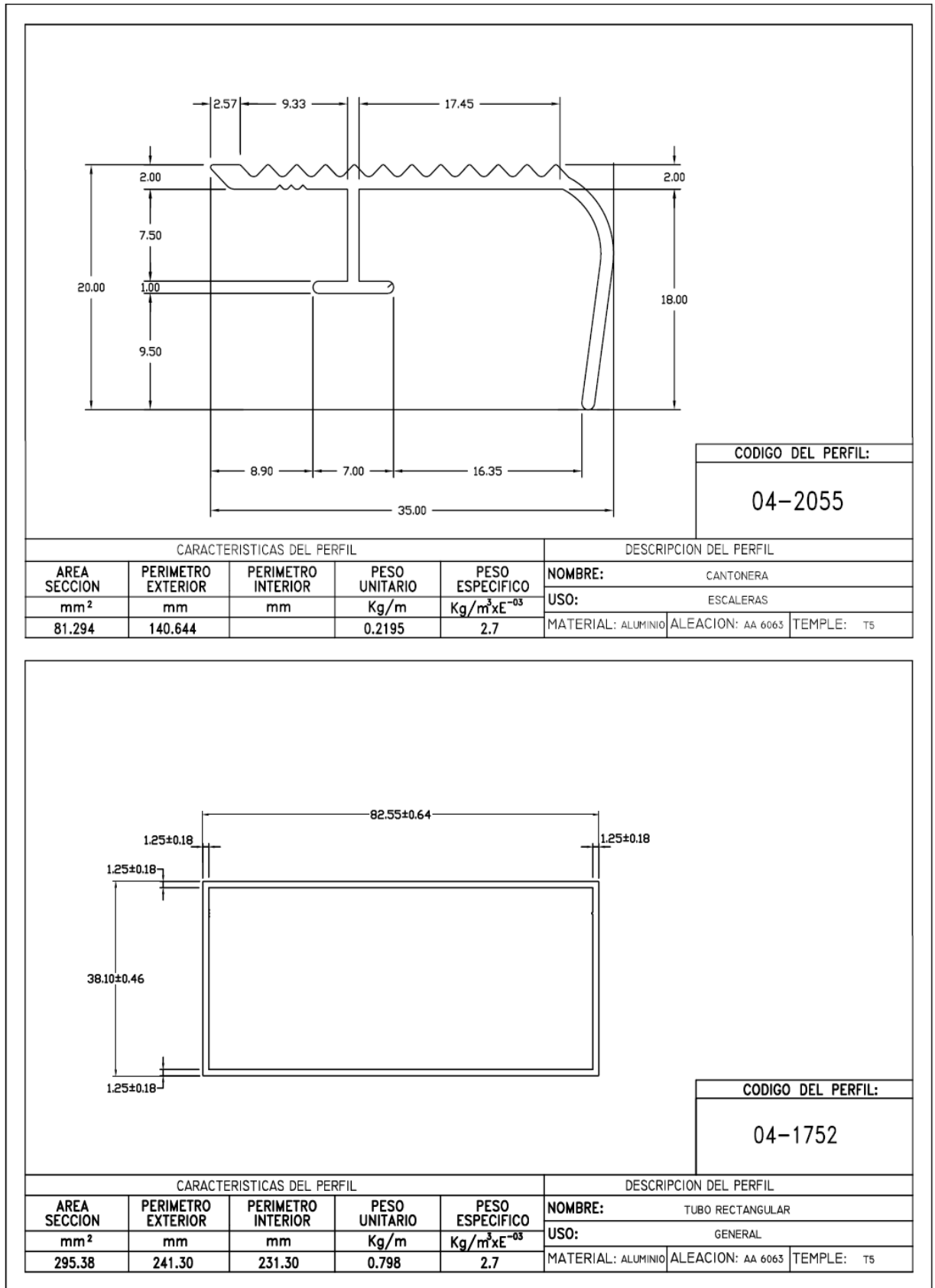
11. No se debe colocar demasiadas matrices en la cesta para dejar más espacio para que recirculen los gases y así obtener mejores resultados, así mismo en cada proceso colocar dos probetas una arriba y otra abajo las cuales servirán como testigo para posteriores análisis.
12. Se debe hacer evaluaciones constantes del proceso para llegar a la optimización en el proceso, teniendo en cuenta que cada proceso es perfectible.
13. Se recomienda hacer siempre la limpieza a las matrices para eliminar restos de óxidos que pueden afectar el proceso de nitrocarburoación.
14. Cuando se manipulen las matrices para el traslado e ingreso al horno no se deben de tocar con las manos las partes donde se hace la extrusión del aluminio, teniendo el mismo cuidado con la probeta, ya que estos son factores negativos en el actual proceso.
15. El ingreso a la retorta debe ser de inmediato, no se debe dejar mucho tiempo a la espera del ingreso porque se pueden formar óxidos debido a la oxidación de las matrices expuestas al intemperie.
16. Actualmente no hay flujómetros instalados, se deberían colocar para tener un mayor control del proceso, así como también las cantidades más exactas de los gases que se usan en el proceso actual.

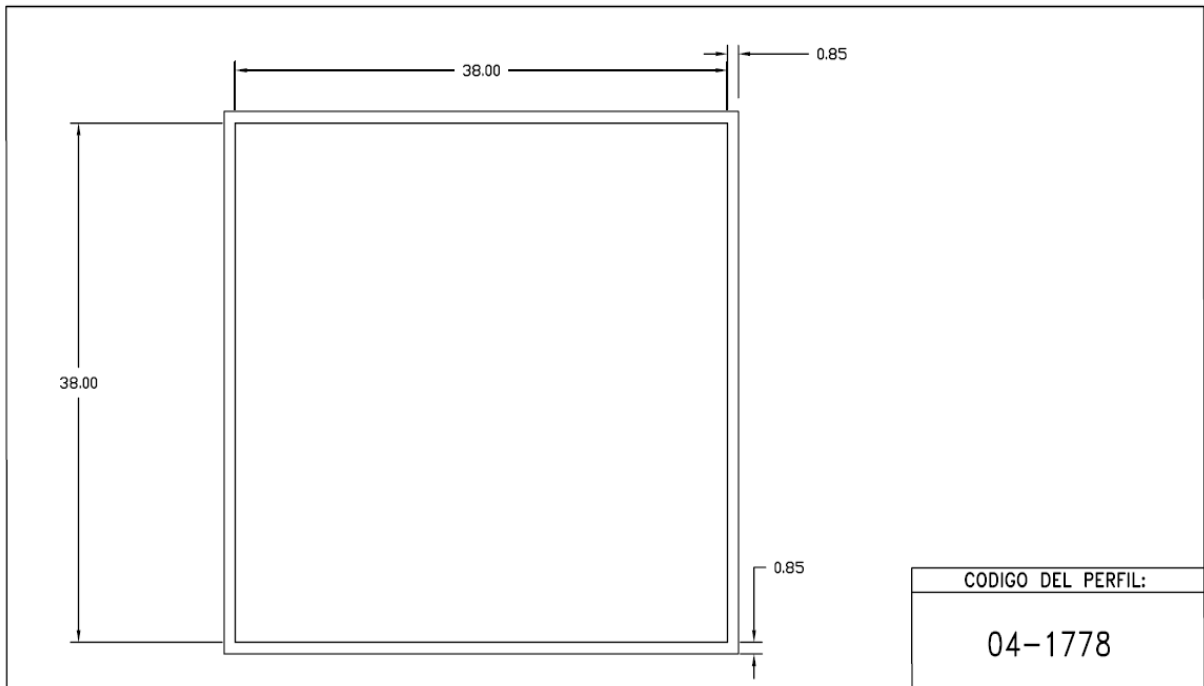
BIBLIOGRAFÍA

- [1] **COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU.**, “Avances en tratamientos térmicos”, Capitulo de Ingeniería Metalúrgica.
- [2] **TECALEX.**, “Manual de instrucciones del horno de Nitrocarburoación”, Tecalex, España (2000).
- [3] **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.**, Córdova Valencia Sheila, “Tesis de nitruración gaseosa en los aceros”, Perú, (2005).
- [4] **PAT. L. MANGONON.**, “Ciencia de materiales, selección y diseño”. Edición primera.
- [5] **WILLIAM F. SMITH.**, “Ciencia e ingeniería de materiales”. Edición tercera.
- [6] **JOSE APRAIZ BARREIRO.**, “Aceros especiales y otras aleaciones”. Edición cuarta.
- [7] **DONALD R. ASKELAND.**, “Ciencia e ingeniería de materiales”. Edición tercera.
- [8] **HANS STUDEMAN.**, “Tratamientos térmicos de los aceros”. Edición primera.

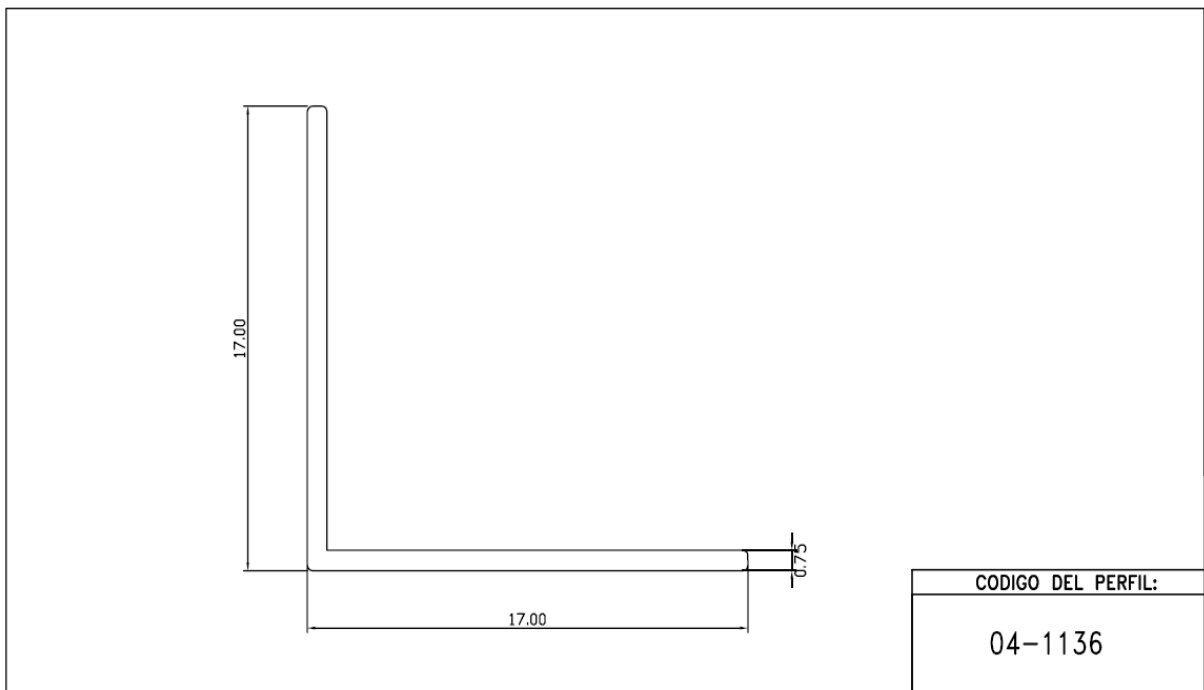
ANEXOS

ANEXO Nº 1.- PLANOS DE ALGUNAS MATRICES





CARACTERISTICAS DEL PERFIL					DESCRIPCION DEL PERFIL		
AREA SECCION	PERIMETRO EXTERIOR	PERIMETRO INTERIOR	PESO UNITARIO	PESO ESPECIFICO	NOMBRE:	TUBO	
mm ²	mm	mm	Kg/m	Kg/m ³ × E ⁻⁰³	USO:	GENERAL	
175.74	74.14	73.98	0.475	2.7	MATERIAL:	ALEACION: AA 6063	TEMPLE: T5



CARACTERISTICAS DEL PERFIL					DESCRIPCION DEL PERFIL		
AREA SECCION	PERIMETRO EXTERIOR	PERIMETRO INTERIOR	PESO UNITARIO	PESO ESPECIFICO	NOMBRE:	ANGULO	
mm ²	mm	mm	Kg/m	Kg/m ³ × E ⁻⁰³	USO:	GENERAL	
24.90	67.57	231.30	0.0672	2.7	MATERIAL:	ALEACION: AA 6063	TEMPLE: T5

ANEXO Nº 2.- INFORMACIÓN FOTOGRÁFICA



Microscopio CARL ZEISS utilizado para la metalografía de las probetas, realizado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Ingeniería.



Equipo de Espectro y Cuantificación EDAX se usa para determinar óxidos y elementos. Este análisis se realizó en la empresa de Microscopia Electrónica y Aplicaciones en el Perú S. A. C. (MyAP).

ANEXO Nº 3.- INFORME DE RESULTADOS OBTENIDOS EN UN MICROANÁLISIS REALIZADO EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.



MAT-JUN-0494-1/2009

ENSAYO DE DUREZA

INFORME DE LABORATORIO

MAT-Lab-4.04

Número Total de Páginas: 2

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 03.

MUESTRA : MUESTRA DE ACERO H13.

RESULTADOS:

MUESTRA mm	DIMENSIONES DE LA HUUELLA (µm)			DUREZA HV10	EQUIVALENCIA ROCKWELL HRC SEGÚN ASTM E140
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
Superficie	132	132	132	1085	---
0.2	187	187	187	530	51
0.7	198	198	198	473	47
1.5	201	201	201	464	46

Fecha de Ejecución: 2009.06.12.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra ensayada fue proporcionada por el solicitante.
- Carga: 10 kilos.
- Objetivo: 2/3".
- La incertidumbre de medición en la determinación de estos valores es: $\pm 1,20$ HV.
- La incertidumbre de medición ha sido determinada con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza de 95%.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GABERO CIP 33855
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

2 de 2

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales – PUCP.

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-JUN-0494-2/2009

ANÁLISIS METALOGRÁFICO

INFORME DE LABORATORIO

REALIZADO POR : Laboratorio de Materiales – Analista 03.

MUESTRA : ACERO H13.

FECHA : 2009.06.15.

ZONA ANALIZADA:

- a. Sección : Longitudinal.
- b. Preparación : Desbaste y pulido mecánico.
- c. Ataque Químico : Nital 5%, ASTM E407 – 70.

OBSERVACIÓN METALOGRÁFICA:

- a. Aumentos : 100X, 200X, 500X y 1000X
- b. Microestructura :
 - Matriz : Martensita revenida.
 - Otros : Carburo globular fino.
- c. Tamaño de grano : -----
- d. Inclusiones : Del tipo sulfuro, serie fina N° 1, ASTM E45 - 96.

OBSERVACIONES:

- Condición de la muestra: Visualmente en buen estado.
- La muestra analizada fue proporcionada por el solicitante.
- Fotos N° 1, 2, 3 y 4: Corresponde al acero H13 en la superficie y en el núcleo.
- Material: Acero al carbono con recubrimiento superficial y tratamiento térmico.
- Norma de Ensayo: ASTM E3 – 95.
- Temperatura ambiente durante el ensayo: 21.6°C.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Jefe de Laboratorio de Materiales

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de *Ingeniería*
Sección *Ingeniería Mecánica*



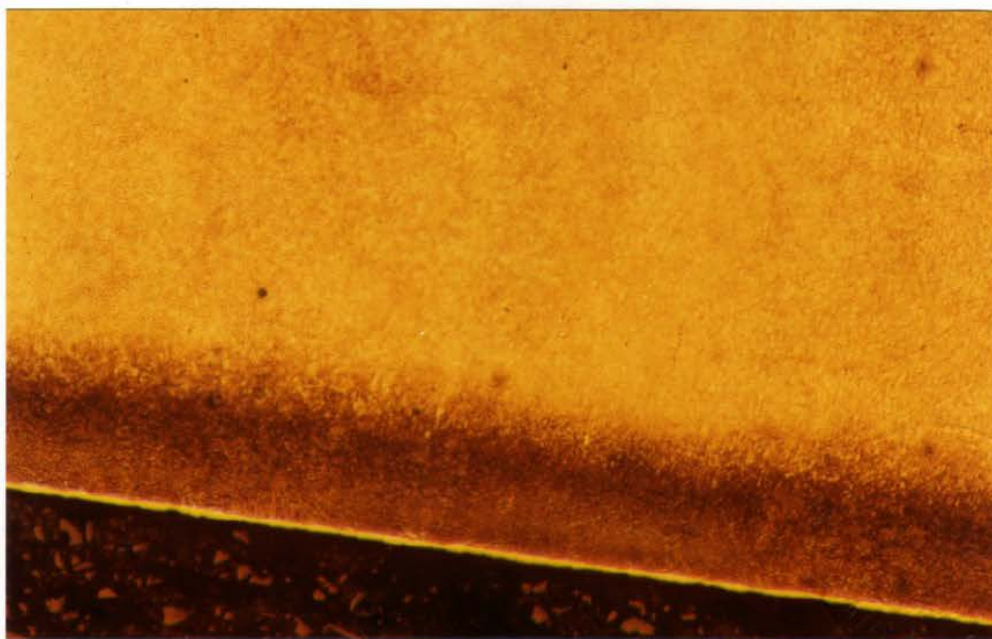
PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-JUN-0494-2/2009

FOTOMICROGRAFÍA N° 1

AUMENTOS: 100X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GABERO CIP 13858
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

2 de 5

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de Ingeniería
Sección Ingeniería Mecánica



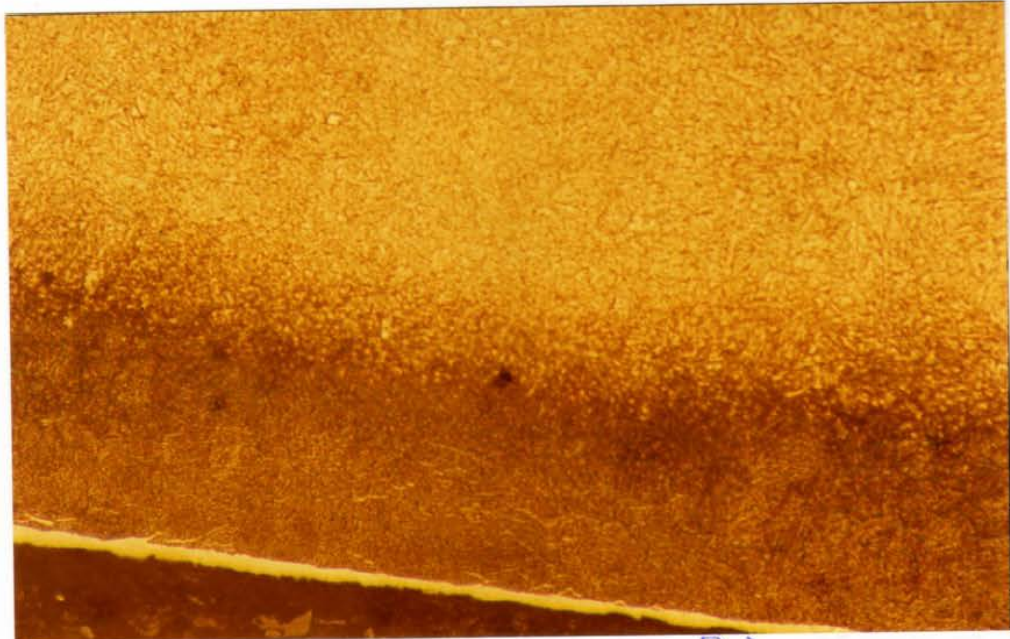
PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-JUN-0494-2/2009

FOTOMICROGRAFÍA N° 2

AUMENTOS: 200X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE GAMERO CIP 33859
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

3 de 5

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de *Ingeniería*
Sección *Ingeniería Mecánica*



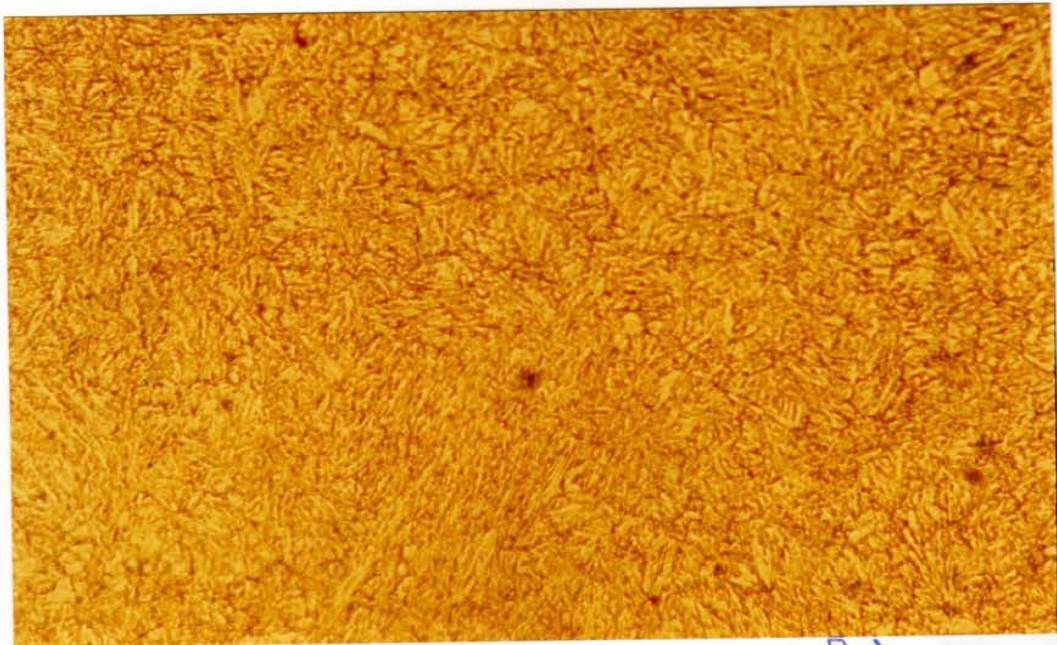
PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-JUN-0494-2/2009

FOTOMICROGRAFÍA N° 3

AUMENTOS: 500X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
Sección Ingeniería Mecánica

Ing. ROBERTO LAZARTE SAMERO GIP 3285P
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

4 de 5

LABORATORIO DE MATERIALES

Departamento de *Ingeniería*
Sección *Ingeniería Mecánica*



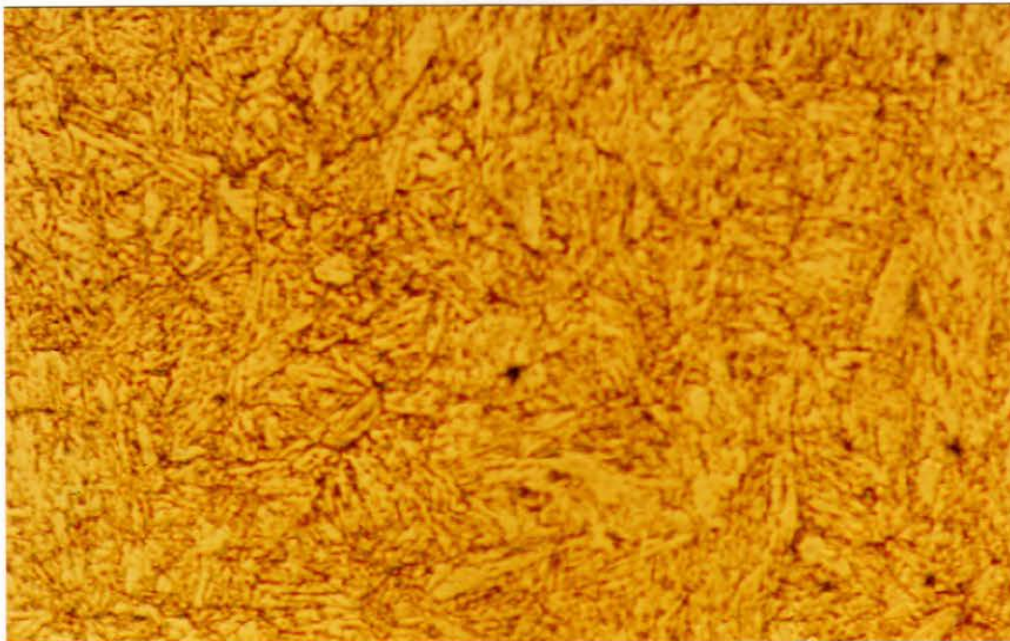
PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-JUN-0494-2/2009

FOTOMICROGRAFÍA N° 4

AUMENTOS: 1000X



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Sección Ingeniería Mecánica

MSc. Ing. ROBERTO LAZARTE CÁMERO CIP 33855
Jefe de Laboratorio de Materiales

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

5 de 5