



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PARAMETRIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE
NITRURACIÓN GASEOSA EN MATRICES DE ACERO H13 EN LA
EMPRESA EXTRUDAL, EXTRUSIÓN DE ALUMINIO, C.A.**

Autor: Josmel J. Cambero G.

C.I. 22.556.648

Urb. La Quizanda, Av. G, Casa N° 90-15, Municipio Valencia

Teléfono: (0241) 8148565



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**PARAMETRIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE
NITRURACIÓN GASEOSA EN MATRICES DE ACERO H13 EN LA
EMPRESA EXTRUDAL, EXTRUSIÓN DE ALUMINIO, C.A.**

Informe de Pasantías para optar al título de

INGENIERO MECÁNICO

Empresa:

EXTRUDAL, Extrusión de Aluminio, C.A.

Autor: Josmel J. Cambero G

C.I: 22.556.648

Tutor: Ing. Donato Romanello

San Diego, abril 2018

Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto
--

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• MATERIALES I• MATERIALES II• PROCESOS DE MANUFACTURA I• PROCESOS DE MANUFACTURA II• CORROSION |
|---|

Línea de investigación:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Investigación Experimental o exploratoria |
|---|

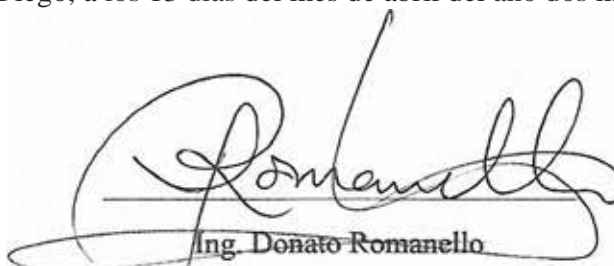


**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing. Donato Romanello, portador de la cédula de identidad N° 4.131.877, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Josmel José Cambero Gómez, portador de la cédula de identidad N° 22.556.648, titulado "**PARAMETRIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE NITRURACIÓN GASEOSA EN MATRICES DE ACERO H13 EN LA EMPRESA EXTRUDAL, EXTRUSIÓN DE ALUMINIO, C.A.**", presentado como requisito parcial para optar **al** título de ingeniero mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 13 días del mes de abril del año dos mil dieciocho.



Ing. Donato Romanello

C. I. N° 4.131.877

INDICE GENERAL

LISTA DE TALAS.....	VI
LISTA DE GRAFICOS	VII
LISTA DE FIGURAS	VII
RESUMEN.....	VIII
INTRODUCCION.....	1

CAPITULO

I	DESCRIPCION DE LA EMPRESA	
	1.1 Reseña histórica.....	3
	1.2 Visión, misión y políticas.....	3
	1.3 Descripción.....	5
	1.4 Estructura.....	6
II	EL PROBLEMA	
	2.1 Planteamiento del problema.....	9
	2.2 Formulación del problema.....	10
	2.3 Objetivos de la investigación.....	11
	2.3.1 Objetivo general.....	11
	2.3.2 Objetivos específicos.....	11
	2.4 Justificación del proyecto.....	11
	2.5 Alcance.....	12
	2.6 Limitaciones.....	12
III	MARCO TEORICO	
	3.1 Antecedentes.....	13
	3.2 Bases teóricas.....	14
	3.2.1 Extrusión del aluminio.....	15
	3.2.2 Tratamiento térmico.....	16
	3.2.3 Dureza.....	20
	3.2.4 Aceros para herramientas.....	23
	3.2.5 Nitruración.....	27
	3.2.6 Definiciones básicas.....	32
IV	FASES METODOLÓGICAS	
	4.1 Fases metodológicas.....	34
V	RESULTADOS	
	5.1 Equipos involucrados.....	36
	5.1.1 Horno de nitrurado.....	36
	5.1.2 Durometro portátil.....	38

5.1.3	Durometro de banco	39
5.1.4	Microscopio metalográfico	41
5.1.5	Espectrómetro portátil	42
5.2	Proceso de nitruración	43
5.2.1	Establecido por la empresa	43
5.2.2	Recomendado por el fabricante del horno de nitrurado... ..	44
5.3	Comprobación de composición química de las muestras de acero H13	45
5.4	Pruebas de nitruración	46
5.4.1	Nitruración por 1 hora	47
5.4.2	Nitruración por 2 horas	49
5.4.3	Nitruración por 3 horas	50
5.4.4	Nitruración por 4 horas	51
5.5	Corrección y optimización de parámetros en el proceso de Nitruración gaseosa	53
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		57
APENDICES		
	I Plano eléctrico del horno de nitrurado... ..	59
	II Formato de nitrurado actual	60
ANEXOS		
	A: Tapa superior del horno de nitrurado	62
	B: Indicadores del horno al momento de exposición de amoniaco	62
	C: Indicadores del horno al momento de finalizar exposición de amoniaco... ..	63
	D: Caudalímetro instalado en el horno.....	63
	E: Cesta para introducir matriz al horno	64
	F: Retorta.....	64
	G: Toma interna del extractor	65
	H: Motor y conducto externo del extractor	65
	I: Bombonas, Nitrógeno (gris) y amoniaco (anaranjada).....	66
	J: Matrices nuevas.....	66
	K: Almacén de matrices	67
	L: Matrices desechas	67

LISTA DE TABLAS

TABLAS		
1.	Especificaciones del horno	36
2.	Durómetro portátil	38

3.	Características del Microscopio.....	41
4.	1er resultado de análisis químico.....	46
5.	2do resultado de análisis químico.....	46
6.	Datos para 2 horas de tratamiento	50
7.	Datos para 3 horas de tratamiento	51
8.	Datos para 4 horas de tratamiento	52

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO

1.	Esquema del proceso de nitrurado actual	43
2.	Esquema del proceso de nitrurado recomendado	44
3.	Incremento de dureza apreciado para cada tratamiento.....	53
4.	Esquema optimo del proceso de nitrurado	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

1.	Esquema del proceso general de la planta.....	8
2.	Efecto de la temperatura de revenido sobre las propiedades.....	19
3.	Diagrama TTT para un Acero.....	20
4.	Distintos tipos de prueba de dureza y el tipo de Indentador que debe ser utilizado.....	22
5.	Método de clasificación AISI.....	26
6.	Relación comparativa de la dureza de varios aceros nitrurados en Sales y gas amoniaco.....	29
7: a)	Horno de retorta vertical de nitruración.....	30
7: b)	Esquema de horno de campana mostrando la base estacionaria cubierta por campanas.....	31
8.	Controles del horno.....	37
9.	Temporizador e indicadores.....	37
10.	Horno de nitrurado.....	38
11.	Durómetro portátil.....	39
12.	Especificaciones del durómetro de banco.....	40
13.	Durómetro LC – 200RB.....	41
14.	Microscopio óptico.....	42
15.	Espectrómetro portátil.....	43
16.	Trozo de matriz seleccionada para análisis químico.....	45
17.	Matriz solida 1413 – 4.....	47
18.	Dureza promedio de matriz solida 1413 – 4.....	48
19.	Dureza después de tratamiento, matriz 1413 – 4.....	48
20.	Microscopia 100X, matriz 1413 – 4.....	49



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA**

**PARAMETRIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE
NITRURACIÓN GASEOSA EN MATRICES DE ACERO H13 EN LA
EMPRESA EXTRUDAL, EXTRUSIÓN DE ALUMINIO, C.A.**

Autor: Josmel J. Cambero G.

Tutor: Ing. Donato Romanello

Fecha: abril 2018

RESUMEN INFORMATIVO

En el presente informe de pasantías se presentará una mejora que afectará indirectamente el rendimiento general de la empresa EXTRUDAL, Extrusión de Aluminio, C.A. El cual tiene como objetivo general la parametrización y optimización del tratamiento de nitruración gaseosa en matrices de acero AISI H13, en un rango de 8 horas, con la intención de estandarizar el proceso de nitruración gaseosa para las matrices de acero utilizadas por la empresa, introduciendo soporte técnico en el proceso de nitruración el cual mejora la eficiencia y añade valor a la empresa.

Descriptor: Parametrización, nitrurado, industrial, tratamiento, matrices.

INTRODUCCION

Los griegos descubrieron hacia el 1000 AC una técnica para endurecer las armas de hierro mediante un tratamiento térmico; todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.c se clasifican en la actualidad como hierro forjado; para obtener estas aleaciones, se calentaba en un horno una masa de mineral de hierro y carbón vegetal. Mediante este tratamiento se reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro llena de escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal; esta masa esponjosa se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para eliminar la escoria y darle una determinada forma.

Por esta razón el hierro que se producía en estas condiciones solía tener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas, en algunas ocasiones, y por error, solían producir auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro acabaron por aprender a fabricar acero, calentando hierro forjado y carbón vegetal en un recipiente de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos empleados para fundir. En estos hornos, el mineral de hierro de la parte superior se convertía en hierro metálico y a continuación absorbía más carbono debido a los gases que lo atravesaban, como resultado daba arrabio, un metal que funde a temperatura menor que el hierro y el acero; posteriormente se refinaba el arrabio para obtener acero. En la producción moderna de acero se emplean altos hornos que son modelos perfeccionados de los que se usaban antiguamente; el arrabio se refina mediante chorros de aire. Este invento se debe a un británico llamado Henry Bessemer, que en 1855 lo desarrolló.

Por consiguiente, los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono; también se aplican tratamientos térmicos diversos a los sólidos cerámicos. Una variación de estos procesos para modificar las propiedades del material son los tratamientos

termoquímicos, son tratamientos térmicos en los que, además de los cambios en la estructura del acero, también se producen cambios en la composición química de la capa superficial, añadiendo diferentes productos químicos hasta una profundidad determinada. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento controlados en atmósferas especiales.

Finalmente, existen diversos tipos de tratamientos tanto térmicos como termoquímicos, pero todos tienen el mismo propósito, modificar las propiedades del material para mejorar su comportamiento en distintos campos, es por eso que el presente informe va orientado a la “PARAMETRIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE NITRURACIÓN GASEOSA EN MATRICES DE ACERO H13 EN LA EMPRESA EXTRUDAL, EXTRUSIÓN DE ALUMINIO, C.A.”.

CAPÍTULO I

DESCRIPCION DE LA EMPRESA

1.1 Reseña histórica

La planta Extrudal, Extrusión de Aluminio C.A, se inicia como la división de aluminio de Metales, Metales Extruidos, C.A, empresa dedicada a la extrusión de cobre y latón. En enero de 1980 inicia sus operaciones de manera totalmente independiente convirtiéndose en la empresa especializada en la extrusión de aluminio más grande y mejor equipada de Venezuela.

1.2 Visión, misión y políticas

Visión

Hacer de EXTRUDAL Extrusión de Aluminio C.A; una empresa líder en la producción y comercialización de perfiles, barras y tubos de aluminio extruido, láminas de aluminio, plástico y cualquier otro material no ferroso, tanto en Venezuela como en otros países.

Misión

Poner a disposición de sus clientes, proveedores y a la sociedad una empresa pujante y moderna, dedicada a la generación de productos y servicios de alto impacto en el desarrollo del país, manejada con elevada ética profesional y respeto por el medio ambiente.

Política de calidad

Fabricar aleaciones de aluminio, perfiles barras y tubos de aluminio extruidos, lámina de aluminio, plástico y cualquier otro material no ferroso, de acuerdo a los requerimientos de nuestros clientes en términos de calidad, cantidad y oportunidad. A través del mejoramiento continuo de la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

Objetivos de calidad

- 1 Desarrollar e implementar un Sistema de Gestión de Calidad, eficaz de acuerdo con los requisitos de la norma ISO 9000 vigente.
- 2 Mantener el nivel de competencia del capital humano de acuerdo con las necesidades del sistema.
- 3 Ser una organización capaz de cumplir con las entregas a nuestros clientes, en términos de cantidad, calidad y oportunidad.
- 4 Garantizar la mejora continua de los procesos, mediante la aplicación de metodologías para el desarrollo y mejoras de productos y procesos.

Política de seguridad y salud en el trabajo

La política de seguridad y salud laboral de EXTRUDAL Extrusión de Aluminio CA, asume el compromiso de proteger a sus trabajadores, a la propiedad y a preservar el ambiente de manera armónica con el desarrollo del hombre y la sociedad con la cual se integra. Velará por el acatamiento de los siguientes objetivos en todas sus actividades.

Objetivos de seguridad y salud

- 1 Cumplir proactivamente con las leyes, reglamentos y normas de seguridad, higiene y ambiente.
- 2 Controlar y reducir al mínimo los riesgos utilizando un sistema integral de seguridad y salud laboral, sustentando en sus procesos, procedimientos y mecanismos de comprobada factibilidad técnica y económica.
- 3 Evaluar el desempeño en seguridad, higiene y ambiente procurando su Mejoramiento Continuo, siendo ésta una responsabilidad de todo el personal, desde los niveles directivos hasta los operacionales.
- 4 Promover la capacitación y la concientización de su personal en el manejo eficiente de los riesgos, con especial énfasis en la prevención de los mismos. Exigir igual comportamiento a las empresas contratistas.

1.3 Descripción

Se encuentra ubicada en la Zona Industrial Municipal Norte, Av. Este- Oeste N.º 64-300. Valencia - Estado Carabobo.

Ocupa un terreno con área de 74.600 metros cuadrados y sus Edificios Industriales se extienden en un área de 12.720 metros cuadrados. La empresa está especializada en la fabricación de barras, tubos y perfiles de aluminio, extruidos en diferentes aleaciones y temple.

La planta dispone de un elevado grado de integración con instalaciones de Acondicionamiento de Chatarra, Fundición, Prensas de Extrusión, Línea de Pintura, y Taller de Conduit, lo que le confiere gran flexibilidad y bajos tiempos de despacho para la atención de su extensa clientela.

Extrudal ha exportado en forma continua durante los últimos diez años a distintos mercados, entre los cuales destacan Estados Unidos, Colombia y varios países del Caribe.

La visión de Extrudal es consolidarse como empresa líder en la producción y comercialización de cilindros para extrusión, perfiles naturales y pintados de Aluminio de Latinoamérica, y afianzar fuertemente su presencia en el mercado venezolano, suministrando materiales de excelente calidad que contribuyan al desarrollo y bienestar social.

EXTRUDAL C.A, se dedica a la fabricación de perfiles estructurales de Aluminio en general, de diferentes tipos de aleaciones, obtenidas por un proceso de fundición pasando a ser la materia prima (billets) para la extrusión y obtención de diferentes perfiles en los distintos tipos de prensas. También cuenta con una línea continua de pintura electrostática, dos estaciones de pintado continuo y un taller de corrección de matricería.

1.4 Estructura

Área de fundición

EXTRUDAL cuenta con una moderna y altamente equipada planta de Fundición, lo que confiere una importante ventaja corporativa.

En el área de Fundición se cuenta con los siguientes equipos:

- Un horno de fusión a gas natural basculante de 32 Toneladas de capacidad, con instalaciones de recuperación de metal de la escoria.
- Dos hornos de Holding de 16 toneladas de capacidad y potencia de fuego suficiente para ser usados en la fusión de aleaciones especiales.
- Una máquina de colada semicontinua Wastaf vertical de 28 lingotes simultáneos de 6 1/8" y 7" de diámetro y 240" (6.10m) de largo, con sistema de filtrado, desgasificado y aplicación de afinador de grano (Titanio)
- Horno de homogenizado tipo sello caliente con capacidad de carga de 32 Toneladas y temperatura controlable.
- Una Sierra de corte por disco y sus equipos y mesa de manejo.
- Una Sierra de Corte de chatarra para densificación de carga de retornos.

Área de prensa

La planta cuenta con tres prensas hidráulicas de extrusión con capacidad de 900 Toneladas métricas mensuales en régimen de dos turnos.

- Una prensa de 1400 Toneladas de empuje, operando con billets de 6 1/8" de diámetro y 24" de longitud.
- Una prensa de 1800 Toneladas, que opera con billets de 7" de diámetro por 28" de longitud.
- Una prensa de 2500 Toneladas operando con billets de 7" de diámetro por 32" de longitud.
- Dos hornos de envejecimiento de 12 metros de longitud con capacidad de carga de 6 carros simultáneamente.

Área de matricería

EXTRUDAL dispone de un taller de corrección de matricería con aproximadamente 3900 matrices que cuenta con máquinas, herramientas y prensa hidráulica auxiliar, instalación de soda cáustica para la limpieza de matrices y horno de Nitrurado de herramientas.

Área de pintura

EXTRUDAL cuenta con una línea de pintura electrostática Torrad de cadena vertical de velocidad variable, con 2 estaciones de pintado continuo a disco rotativo y capacidad de producción de 200 Toneladas mensuales de perfiles hasta 6.40 metros de largo. La instalación se completa con un sistema de pre-tratamiento continuo de cinco etapas para desengrase, lavado, fosfocromatado, enjuague y sellado, horno para secado y horno de curado, ambos continuos.

La instalación está conformada por un equipo para tratamiento de los líquidos de proceso constituido por tanques de almacenamiento, reactor de tratamiento y filtro prensa.

Un recinto de almacenamiento de pintura con control continuo de temperatura garantiza la calidad de la pintura utilizada a lo largo del tiempo.

Capital humano

EXTRUDAL extrusión de Aluminio C.A cuenta además con un material humano de incalculable valor, que con su experiencia y constante capacitación están en condiciones de aprovechar a su máxima expresión el funcionamiento de una de las plantas mejor dotadas del país dispuesta a solucionar e innovar las necesidades del creciente mercado al que van dirigidos los productos extruidos en aleaciones de Aluminio.

Actualmente, la empresa se encuentra en expansión con respecto al mercado internacional, lo que hace imperativo cumplir con los requerimientos que implica esto. Principalmente es necesaria una certificación ISO 9000-12000 la cual contempla diferentes aspectos y documentos relacionados con los procedimientos, operaciones, especificaciones de calidad, entre otras.

El presente informe se llevó a cabo con la finalidad de elaborar dichos documentos, por lo que es necesario conocer lo ante expuesto que corresponde al proceso metalúrgico, específicamente lo referido al área de fundición, ver figura 1.

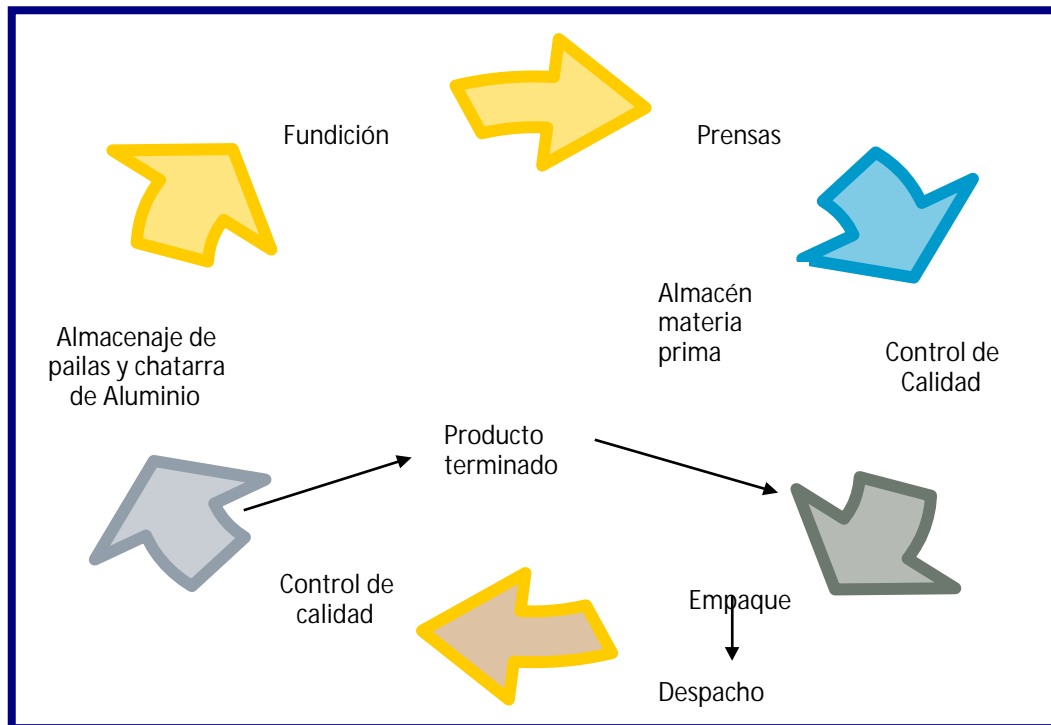


Fig. 1 esquema del proceso general de la planta

Fuente: Extrudal

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

Actualmente muchos componentes ingenieriles, tanto ferrosos como no ferrosos, están sometidos a corrosión y abrasión, desgaste y experimentan grandes cargas de fatiga. Según Jorge Muños (2015) “Entre las técnicas que permiten modificar la zona superficial de los materiales y, por tanto, su comportamiento en aquellas condiciones de servicio donde sean prioritarias las propiedades superficiales, figura la nitruración”. La nitruración es un tratamiento termoquímico de enriquecimiento superficial, con nitrógeno y amoníaco en fase ferrítica sobre los aceros. Esto se consigue introduciendo dentro del propio material los elementos antes citados.

El endurecimiento de superficies se utiliza actualmente en casi todos los sectores de la industria del metal, así como en la industria del plástico o fabricación de maquinaria. La duración de los productos, moldes, troqueles o matrices, útiles, herramientas y componentes de maquinaria se alarga considerablemente con el tratamiento de superficies. Entre los procesos de fabricación de piezas se encuentra la extrusión, donde se hace crítica la capacidad que puedan tener los troqueles o matrices de resistir a alteraciones físicas como la penetración, la abrasión, el rayado o la cortadura.

Generalmente, las matrices para extrusión están fabricadas con aceros para herramientas con alta dureza y tenacidad como es el acero SAE 1045, SAE 4140, SAE 8620 o el acero H13. En opinión de Andrés Villegas (2015) “Las piezas nitruradas casi nunca son de hierro ni acero al carbono, sino de aceros aleados, pues así se forman nitruros de cromo, molibdeno, vanadio, y aluminio”.

La extrusión del aluminio es la principal acción y objetivo de EXTRUDAL C.A, donde se realiza el proceso de nitruración gaseosa para sus matrices de acero H13 con parámetros sugeridos, pero no se dispone de una documentación donde queden estandarizados los resultados que se pueden obtener cuando se varían parámetros como la temperatura y el tiempo, además de no haber comprobado cual es la relación entre estos dos parámetros óptimo para sus matrices.

Esto es causado por ser la nitruración gaseosa, un proceso relativamente nuevo adoptado por la empresa, con lo cual se hace necesario realizar pruebas con distintos parámetros para determinar cuál será la relación óptima para aplicar la nitruración y así aumentar la dureza superficial de las matrices de acero H13 consiguiendo aumentar su vida útil y maximizar ganancias.

Un proceso de extrusión en el cual no se le realice el proceso de nitrurado o algún otro tratamiento para aumentar la dureza superficial a las matrices, está en clara desventaja con respecto a procesos donde sí se apliquen estos tratamientos, debido a que cuando se realiza alguno de estos tratamientos la vida útil de la matriz se aumenta, su resistencia a la corrosión aumenta y es menos propensa a sufrir deformaciones por penetración, en consecuencia, se evita un reemplazo de la matriz prematuramente, mejora tiempos de proceso y aumenta la calidad de producción.

En definitiva, para la optimización de resultados con el proceso de nitrurado gaseoso, es necesario estandarizar los valores obtenidos con las diferentes relaciones entre el tiempo y la temperatura para revelar los parámetros óptimos para realizar la nitruración en matrices con acero H13.

2.2 Formulación del problema

¿De qué manera se podrían determinar los parámetros óptimos para el proceso de nitruración gaseosa en la empresa EXTRUDAL C.A.?

2.3 Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo general

- Parametrización y optimización del tratamiento de nitruración gaseosa en matrices de acero H13

2.3.2 Objetivos específicos

- Comprobar composición química de las muestras de acero H13
- Determinar parámetros óptimos para el proceso de nitruración gaseosa en matrices de acero H13.
- Corregir variaciones de dureza alcanzadas por las matrices de acero H13 estandarizando proceso.
- Disminuir tiempo de proceso de extrusión ejecutando nitruración gaseosa a matrices de acero H13

2.4 Justificación del proyecto

Debido a las notables exigencias a que se someten estas herramientas (esfuerzos y cambios de temperatura), es necesario contar con materiales que ofrezcan gran resistencia, además que garanticen un producto final de buena calidad, es decir, productos con buen acabado superficial, terminaciones necesarias y la exigencia en lo referido a tolerancias.

Para lograr reducir costes en la producción y tiempo requerido por el proceso, es necesario aplicar algún tratamiento para mejorar la dureza superficial de las matrices de acero H13. El proceso de nitruración gaseosa es el ideal para la empresa debido a que se dispone de todos los equipos e insumos necesarios para su realización, necesitando una inversión de capital para poder aplicar cualquier otro proceso de aumento de dureza superficial, además, el proceso de nitruración se realiza a temperaturas seguras para estos aceros, entendiéndose temperaturas que no puedan alterar de alguna manera las dimensiones físicas de las matrices, siendo esto el factor más

importante por el cual se elige el proceso de nitrurado por encima de otros tratamientos para aumentar dureza

Se requiere documentar y estandarizar el tratamiento de nitruración gaseo para establecer los valores óptimos aplicables a las matrices de acero H13, dejando evidencia de los diferentes resultados que se puedan obtener con cualquier variación de los parámetros establecidos por pruebas realizadas por la propia empresa.

2.5 Alcance

El proyecto en desarrollo tiene como alcance estandarizar el proceso de nitruración gaseosa y alargar el tiempo de vida útil de las matrices de acero H13 en la empresa EXTRUDAL C.A. El aspecto fundamental del proyecto está comprendido en la determinación de los parámetros óptimos para el proceso de nitruración, el cual abarca el mantenimiento y reparación del horno y los equipos implicados en el proceso, de igual manera mencionando que el alcance es desarrollar el informe de pasantías el cual es requisito indispensable para optar por el título de ingeniero mecánico.

2.6 Limitaciones

Para la realización del presente proyecto se dispone de un total de 12 semanas, sin embargo, en el transcurso pueden surgir situaciones no contempladas en la planificación y que juntas pueden requerir de una extensión del periodo de realización del proyecto. En lo económico, el costo de la actualización de los equipos involucrados corre por parte de la empresa, además, las pruebas que se necesiten realizar se pueden hacer en la empresa o en dado caso en instituciones terceras y de igual manera la empresa correría con los gastos.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

De acuerdo con UPEL (2005), el marco teórico da una visión de donde se sitúa el planteamiento propuesto, dentro del campo de conocimiento y ayuda a documentar como la investigación agrega valor a la literatura que ya existe o lo que es lo mismo, sustentar teóricamente el estudio. En este caso la parametrización y optimización del tratamiento de nitruración gaseosa en matrices de acero H13. Con la finalidad de contar con la mayor cantidad de información posible, la cual pueda sustentar el desarrollo del proyecto, se presentará a continuación una serie de investigaciones realizadas por diferentes autores quienes aportan sus conocimientos y logros a favor de futuros trabajos puedan darse sustento en base a estos, constituyendo un aporte valioso para la realización de la investigación.

3.1 Antecedentes

Mario Tamayo y Tamayo (2004) “Toda investigación permite aclarar, juzgar e interpretar la situación planteada teniendo presente que debe estar sustentada en una base sólida. Los antecedentes sirven para una síntesis conceptual a través del proyecto o trabajos realizados de la misma índole, para determinar el enfoque metodológico de la misma y poder indicar una conclusión existente al problema planteado”.

Pérez Patiño J. (1996), en su tesis de grado titulada **“Tratamientos térmicos de los aceros”**, en opción al grado de maestro de ciencias de la mecánica con especialidad en materiales, desarrollada en la Universidad Autónoma De Nuevo Leon en San Nicolás De Los Garza, N. L. Tesis la cual el objetivo más importante era lograr conjuntar en un solo texto todo lo concerniente a los tratamientos térmicos del acero de manera que pueda servir como manual de información o consulta a todas las personas que estén relacionadas con esta industria como técnicos, profesionistas e

investigadores. Además, podría ser base fundamental para futuras investigaciones o nuevos desarrollos tecnológicos. Esta tesis aporta soporte teórico para el presente trabajo debido a que contiene conceptos importantes para el entendimiento de este proyecto.

Así mismo, Landuro Abanto A. (2011) Lima – Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, presento como objetivo general de tesis **“Mejorar las propiedades mecánicas del acero SAE 1040 mediante los tratamientos térmicos de Temple y revenido”** tesis para optar el grado de maestro en ciencias, mención: ciencia de los materiales , Trabajo cuya finalidad fue comprobar que este material tratado térmicamente podría ser usado en la fabricación de diferentes piezas que necesita la industria en reemplazo de diferentes tipos de acero de mayor valor económico Su estudio puede ubicarse como un tipo de investigación académica y tecnológica aplicada a la ingeniería. Este proyecto beneficia al presente trabajo ya que sirve como guía para la determinación de algunas propiedades del material.

De igual manera, Bernal Avalos J. (1994) **“Endurecimiento superficial del acero por difusión del carbono en hierro gamma”** Universidad Autónoma de Nuevo León. optando al título de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Metalurgia. Su trabajo de grado se realizó con el objeto de construir un soporte para futura investigaciones en Ingeniería de Materiales ferrosos. Trabajo provechoso ya que incluye información de primer nivel en el proceso de difusión de carbono en hierro gamma en la zona superficial. Además, un aspecto comparativo entre el proceso de endurecimiento convencional y el proceso de endurecimiento termoquímico.

3.2 Bases teóricas

Las bases teóricas son las que representan la referencia del problema que se plantea, es por esto que toda investigación debe estar estructurada por la teoría y el método de trabajo para complementar los hechos y permitir así la relevancia del estudio. Comprenden un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un

punto de vista o enfoque determinado, que está dirigido a explicar el fenómeno o problema que se está planteando.

El proyecto a realizar se fundamenta dentro de lo que son los tratamientos térmicos en los aceros para modificar sus propiedades mecánicas y adecuarlo de cierta manera a la función que valla a cumplir.

3.2.1 Extrusión del aluminio

Este proceso consiste en hacer pasar una masa de aluminio (aleación 6063) de forma cilíndrica, comúnmente denominada tocho, en la que el componente principal es el aluminio, semisólida a causa de un calentamiento previo y de la presión ejercida sobre ella por el émbolo de una prensa, a través de un útil de acero templado (matriz) en el que se ha practicado un vaciado similar a la sección del perfil que queremos obtener. El tocho de aluminio es presionado por el émbolo de la prensa (máquina de grandes dimensiones en que se realiza la extrusión) y al mismo tiempo el perfil, todavía con una consistencia muy baja debido a la alta temperatura de su masa, es asistido en su salida mediante la tracción de un carro que se desliza sobre raíles de gran longitud (APROX.50 m.). El perfil así obtenido no presenta una geometría rectilínea en toda su longitud ni uniforme en su sección, a consecuencia de la deformación producida por el propio peso del mismo y su baja consistencia a la salida de la matriz resultado de su elevada temperatura. Para conseguir su forma definitiva ha de pasar a una segunda fase.

Estirado

Cuando el perfil ya está frío se sujeta en ambos extremos y se somete a una fuerza instantánea de tracción en toda su longitud (estirado), que le confiere su forma definitiva.

Corte

Las barras de perfil así obtenidas (de unos 50 m. de longitud generalmente) son ahora cortadas en una sierra circular a la medida requerida por el cliente.

Temple

Ya tenemos los perfiles con la forma y longitud requeridas pero su dureza es muy baja. Para que sean de utilidad para los usos comúnmente requeridos en nuestro

sector deben ser sometidos a un proceso de templado, consistente en el calentamiento y enfriamiento (en un horno especial de templado) a una temperatura y durante un período de tiempo determinado. Para los perfiles utilizados en la fabricación de carpinterías de aluminio el temple utilizado es el denominado T-5 que les confiere la dureza adecuada. Existen diversas formas en que los perfiles pueden ser dispuestos para su traslado:

- En cajas de cartón. El tamaño más común es de 30x15 cm.
- En contenedores. Existen diversos tipos. Tienen la ventaja de que el perfil no sufre las posibles abolladuras producidas sobre el perfil cuando se manipulan las cajas de cartón con los medios de elevación, y durante el transporte. También facilitan la tarea de carga y descarga.
- En precintos de madera para la exportación.

3.2.2 Tratamiento térmico

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas. El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, y como consecuencia las propiedades mecánicas. Se pueden realizar Tratamientos Térmicos sobre una parte o la totalidad de la pieza en uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunos casos, el tratamiento se aplica antes del proceso de formado (recocido para ablandar el metal y ayudar a formarlo más fácilmente mientras se encuentra caliente). En otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. Finalmente, se puede realizar al final de la secuencia de manufactura para lograr resistencia y dureza.

Etapas del tratamiento térmico

Un tratamiento térmico consta de tres etapas que se presentan a continuación:

- Calentamiento hasta la temperatura fijada: La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.
- Permanencia a la temperatura fijada: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse suficiente una permanencia de unos 2 minutos por milímetro de espesor.
- Enfriamiento: Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

Tipos de tratamientos térmicos

A continuación, se presentan las principales características de cada uno de estos tipos de Tratamientos Térmicos:

Recocido

Es un tratamiento térmico que normalmente consiste en calentar un material metálico a temperatura elevada durante largo tiempo, con objeto de bajar la densidad de dislocaciones y, de esta manera, impartir ductilidad.

El Recocido se realiza principalmente para:

- Alterar la estructura del material para obtener las propiedades mecánicas deseadas, ablandando el metal y mejorando su maquinabilidad.
- Recristalizar los metales trabajados en frío.
- Para aliviar los esfuerzos residuales.

Las operaciones de Recocido se ejecutan algunas veces con el único propósito de aliviar los esfuerzos residuales en la pieza de trabajo causadas por los procesos de formado previo. Este tratamiento es conocido como Recocido para Alivio de Esfuerzos, el cual ayuda a reducir la distorsión y las variaciones dimensionales que pueden resultar de otra manera en las partes que fueron sometidas a esfuerzos.

Se debe tener en cuenta que el Recocido no proporciona generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero. Por lo general, al material se le realiza un tratamiento posterior con el objetivo de obtener las características óptimas deseadas.

Temple

El Temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en Martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados.

En el temple, es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la Martensita.

Existen varios tipos de Temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada Templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero.

Revenido

El Revenido es un tratamiento complementario del Temple, que generalmente prosigue a éste. Después del Temple, los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para los usos a los cuales están destinados. Lo anterior se puede corregir con el proceso de Revenido, que disminuye la dureza y la fragilidad excesiva, sin perder demasiada tenacidad.

Por ejemplo, se han utilizado estos tratamientos térmicos para la fabricación del acero de Damasco (Siglo X a.C.) y de las espadas de los samuráis japoneses (Siglo XII d.C.). Es posible obtener una dispersión excepcionalmente fina de Fe_3C (conocida como martensita revenida) si primero se temple la austenita para producir martensita, y después se realiza el revenido. Durante el revenido, se forma una mezcla íntima de ferrita y cementita a partir de la martensita. El tratamiento de revenido controla las propiedades físicas del acero. Ver figura 2.

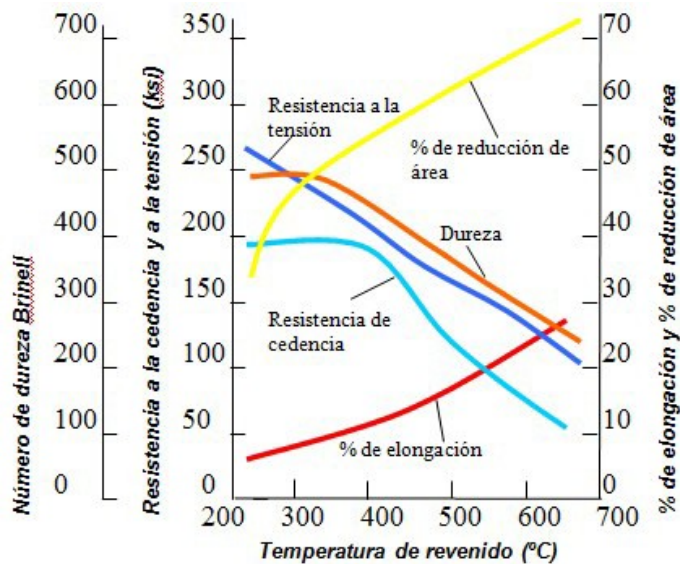


Fig. 2 Efecto de la temperatura de revenido sobre las propiedades mecánicas de un acero SAE 1050

Fuente: Escuela colombiana de ingeniería

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero, (después de haberle realizado un Temple o un Normalizado) a una temperatura inferior al punto crítico (o temperatura de recristalización), seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Es muy importante aclarar que con la realización del proceso de Revenido no se eliminan los efectos del Temple, solo se modifican, ya que se consigue disminuir la dureza y tensiones internas para lograr de esta manera aumentar la tenacidad.

Diagrama TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación)

Este tipo de diagrama muestra cómo la velocidad de enfriamiento afecta la transformación de Austenita en varias fases posibles, las cuales pueden ser:

(1) Formas alternativas de Ferrita y Cementita, (2) Martensita. El tiempo se presenta logarítmicamente a lo largo del eje horizontal y la temperatura en el eje vertical. Esta curva se interpreta partiendo del tiempo t_0 (pocos segundos transcurridos)

en la región Austenita y continua hacia abajo y a la derecha a lo largo de la trayectoria que muestra cómo se enfría el metal en función del tiempo. Los tiempos de transformación dependen de la aleación del material. Ver figura 3.

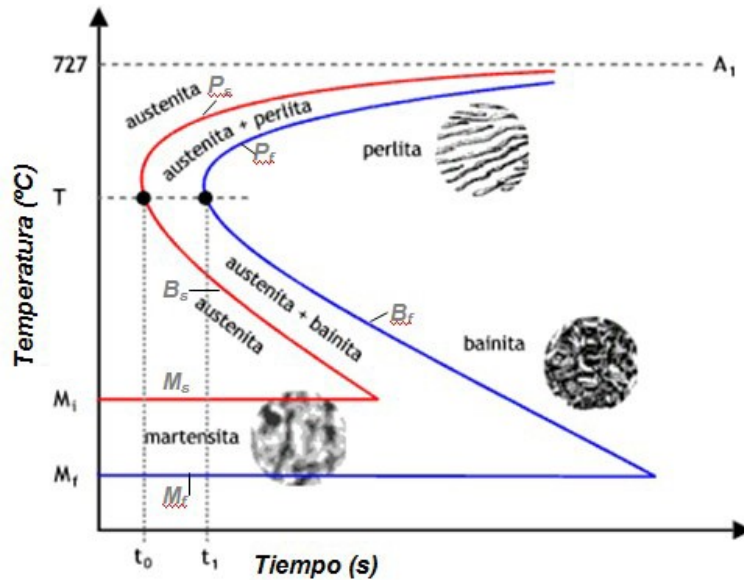


Fig. 3 Diagrama TTT para un Acero

Fuente: Escuela colombiana de ingeniería

Abreviaturas y códigos de la gráfica:

- **Ps** = Representa el momento en el cual se produce Perlita gruesa.
- **Pf** = Representa el momento en el cual se produce Perlita fina.
- **Ms** = Representa el momento en el cual se produce Martensita gruesa.
- **Mf** = Representa el momento en el cual se produce Martensita fina.
- **Bs** = Momento de inicio de la transformación a la Bainita.
- **Bf** = Momento de la finalización de la transformación Bainita.

3.2.3 Dureza

La Dureza es la capacidad de una sustancia sólida para resistir deformación o abrasión de su superficie. Está relacionada con la solidez, la durabilidad y la resistencia

de sustancias sólidas, y, en sentido amplio, este término suele extenderse para incluir todas estas propiedades.

Se aplican varias interpretaciones al término en función de su uso. En Mineralogía, la dureza se define como la resistencia al rayado de la superficie lisa de un mineral. Una superficie blanda se raya con más facilidad que una dura; de esta forma un mineral duro, como el diamante, rayará uno blando, como el grafito, mientras que la situación inversa nunca se producirá.

En Metalurgia e Ingeniería, la dureza se determina presionando una bolita o un cono de material duro (impactadores) sobre la superficie estudiada y midiendo el tamaño de la indentación resultante. Los metales duros se indentan menos que los blandos. Este método para establecer la dureza de una superficie metálica se conoce como prueba de Brinell, en honor al ingeniero sueco Johann Brinell, que inventó la máquina de Brinell para medidas de dureza de metales y aleaciones.

Tipos de Ensayos de Dureza

Cuando se realiza un ensayo de dureza, lo que se busca medir es la resistencia de la superficie de un material a la penetración de un objeto duro. Se han desarrollado varias pruebas de este tipo, pero las más comunes son la Rockwell y la Brinell.

En el ensayo de dureza Brinell, una esfera de acero duro, se oprime sobre la superficie del material, luego se mide el diámetro de la penetración y posteriormente se calcula el número de dureza (HB) utilizando la siguiente fórmula

$$HB = \frac{2F}{\left(\pi D \left[D - \sqrt{D^2 - D_i^2} \right] \right)}$$

Donde:

F = Carga aplicada (Kg).

D = Diámetro del penetrador (mm).

Di = Diámetro de la impresión o indentación (mm).

El ensayo de dureza Rockwell utiliza una pequeña bola de acero para materiales blandos y un cono de diamante para materiales duros. La profundidad de penetración es medida automáticamente por el instrumento utilizado.

Existen otros tipos de ensayos de microdureza, los cuales son el ensayo Vickers y el ensayo Knoop. Estos tipos de ensayos producen penetraciones tan pequeñas que requieren de un microscopio para poder realizar su medición.

Para ensayar materiales muy blandos y elásticos, tales como cauchos y plásticos no rígidos, se utiliza el ensayo de dureza Shore, el cual mide la resistencia a la penetración elástica. Los impactadores para este tipo de ensayos de dureza son de acero de punta cónica. En esta prueba no se presentan deformaciones permanentes. Ver figura 4.

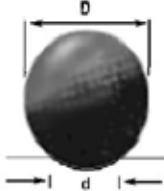
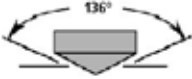
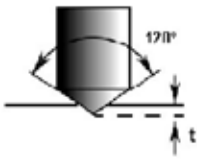
<p>Ensayo BRINELL.</p> <p>Indentador: Esfera de 2.5 – 5 ó 10 mm en carburo de tungsteno.</p>	
<p>Ensayo VICKERS</p> <p>Indentador: Pirámide de diamante.</p>	
<p>Ensayo ROCKWELL</p> <p>Indentador: Cono de diamante. Indentador de 120° y 2 mm de radio.</p>	

Fig. 4. Distintos tipos de prueba de dureza y el tipo de Indentador que debe ser utilizado.

Fuente: Escuela colombiana de ingeniería

3.2.4 Aceros para herramientas

Los aceros para herramientas se usan para maquinar y formar otros materiales y, por lo tanto, se diseñan para tener alta dureza y durabilidad bajo severas condiciones de servicio.

Los tratamientos térmicos para los aceros para herramientas son similares a aquellos realizados en aceros de baja aleación endurecibles, es decir, que las propiedades finales se obtienen con austenización, formación de martensita y revenido. Sin embargo, la mayoría de los aceros para herramientas son muy aleados y se deben tomar precauciones especiales durante el procesado para alcanzar un balance apropiado de carburos aleados en una matriz de martensita revenida para una dada aplicación como herramienta.

Los aceros para herramientas son un grupo muy grande de complejas aleaciones que evolucionaron para satisfacer las más diversas aplicaciones relacionadas con el trabajado en caliente y en frío. Su importancia industrial y complejidad condujo a la existencia de una considerable literatura acerca de su desarrollo, procesado y aplicaciones. Se encuentran detalles del procesado tales como velocidades de enfriamiento recomendadas y tiempos y temperaturas de los tratamientos térmicos para aceros específicos, no sólo en la literatura sino en información detallada distribuida por los principales fabricantes.

Clasificación de los aceros para herramientas

Los distintos tipos de aceros se categorizan dentro de una serie de clases en concordancia con la clasificación que realiza la AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers). Se identifican por una letra que representa la química, una característica única o el uso de esa clase de acero.

Los aceros para herramientas endurecibles en agua, AISI tipo W, (water-hardening tool steel) tienen el menor contenido de aleantes y, por lo tanto, la menor templabilidad de todos los tipos. Como resultado, los aceros tipo W frecuentemente requieren temple en agua y las secciones grandes endurecen sólo hasta una mínima

profundidad. Las secciones delgadas pueden endurecer por temple en aceite para minimizar las fisuras por temple y las distorsiones.

Los aceros para herramientas resistentes al impacto, AISI tipo S, (shock-resistant tool steel) tienen menores contenidos de carbono y contenidos de aleantes un tanto mayores que los tipos W. El contenido medio de carbono mejora la tenacidad y hace que los aceros tipo S sean apropiados para aplicaciones de cargas de impacto.

Los aceros para herramientas para trabajado en frío (cold work tool steels) incluyen tres clases de aceros: AISI tipos O, A y D. Todos tienen alto contenido de carbono para obtener alta dureza y alta resistencia al desgaste en aplicaciones de trabajado en frío. Difieren entre ellos en el contenido de aleantes afectando esto la templabilidad relativa y la distribución de carburos incorporados en las microestructuras endurecidas. Los grados O, de bajo contenido de aleantes, se templean en aceite. Los grados A y D poseen altos contenidos de aleantes y son endurecibles al aire y, por lo tanto, son menos susceptibles a distorsiones y fisuración durante el endurecimiento. El alto contenido de cromo y molibdeno de los aceros A y D también contribuye a un alto contenido de carburos y alta resistencia al desgaste. Los aceros para herramientas para propósitos especiales, tipo L, (special-purpose tool steels) en virtud de su bajo contenido de carbono tienen mayores tenacidades que los grados O.

Los aceros para herramientas usados en matrices para moldear plástico, AISI tipo P, (mold steels) se exponen a un desgaste menos severo que aquellos usados para operaciones de trabajado de metales y, por lo tanto, tienen bajo contenido de carbono. Un requerimiento importante es una excelente terminación superficial. Los aceros inoxidables martensíticos tipo 420 también se usan para moldes de plástico cuando la corrosión puede ser un factor limitante en la performance de los aceros P de menor aleación.

Los aceros para herramientas para trabajado en caliente, AISI tipo H, (hot work tool steels) caen dentro de los grupos que tienen Cr, Mo o W como aleantes principales. Los aceros H se usan para forjado en caliente, extrusión y matrices de fundiciones a presión de metales. El contenido medio en carbono y el contenido relativamente alto

de aleantes hacen que los aceros tipo H sean endurecibles al aire y resistentes al impacto y al ablandamiento durante repetidas exposiciones a operaciones de trabajado en caliente.

Los aceros para herramientas para altas velocidades de corte (highspeed tool steels) son aceros muy aleados, con W y Mo como los elementos de aleación principales en los grados T y M, respectivamente. Los elementos W, Cr, Mo y V en estos aceros producen muy altas densidades de carburos estables. Como resultado, los aceros para altas velocidades de corte son capaces de retener durezas en temperaturas tan altas como 600°C y se usan ampliamente en aplicaciones de corte y maquinado.

Los aceros maraging algunas veces se seleccionan como material para herramientas y matrices. Los aceros maraging desarrollan alta resistencia mecánica y dureza por medio de mecanismos muy diferentes a los aceros que dependen de altos contenidos de carbono para la resistencia mecánica. A pesar de su bajo contenido de carbono, el alto contenido de Co y Ni en los aceros maraging asegura la formación de martensita durante el enfriamiento al aire. La martensita obtenida, de bajo carbono y baja resistencia mecánica, es luego endurecida por una fina precipitación de compuestos intermetálicos tales como Ni₃Mo, por envejecimientos alrededor de 480°C. Son los más indicados cuando se requiere ultra alta resistencia mecánica y tenacidad. Cabe destacar que grados nuevos de estos aceros incluyen diseños con formulaciones químicas libres de Co. Ver figura 5.

ACEROS PARA HERRAMIENTAS

AISI Número	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	W	Mo	% promedio
									Otros
Aceros al Cromo - Molibdeno Trabajo en Caliente									
H10	0.40	0.50	1.00	3.50	.....	0.50	.....	2.75	.....
H11	0.35	0.35	1.00	5.00	.....	0.40	.....	1.30	.....
H12	0.35	0.35	1.00	5.00	.....	0.40	1.50	1.50	.....
H13	0.35	0.35	1.00	5.00	.....	1.00	.....	1.50	.....
Aceros al Cromo - Tungsteno Trabajo en Caliente									
H14	0.40	0.35	1.00	5.00	.....	.....	5.00	.....	.....
H16	0.55	0.60	0.90	7.00	.....	.....	7.00	.....	.....
H19	0.40	0.35	0.35	4.75	.....	2.00	4.25	0.40	Co 4.25
H23	0.30	0.25	0.40	12.00	.....	1.00	12.00	.....	.....
Aceros al Tungsteno Trabajo en Caliente									
H20	0.35	0.30	0.40	2.00	.....	0.50	9.50	.....	.....
H21	0.35	0.30	0.30	3.50	.....	0.45	9.50	.....	.....
H22	0.35	0.35	0.30	2.00	.....	0.40	11.00	.....	.....
H24	0.45	0.50	0.30	3.00	.....	0.45	15.00	.....	.....
H25	0.25	0.25	0.30	4.00	.....	0.70	15.00	.....	.....
H26	0.50	0.50	0.30	4.00	.....	1.00	18.00	.....	.....
Aceros al Molibdeno Trabajo en Caliente									
H15	0.35	0.30	0.40	4.00	.....	0.70	1.00	6.00	.....
H41	0.65	0.30	0.30	4.00	.....	1.00	1.00	8.00	.....
H42	0.60	0.35	0.30	4.00	.....	2.00	6.00	5.00	.....
H43	0.55	0.50	0.30	4.00	.....	2.00	8.00	8.00	.....
Aceros para Moldes para Plásticos									
P1	0.10 max	0.20	0.25	.....	.....	.....	.....	.....	.....
P2	0.07	0.50	0.25	1.50	0.30	.....	.....	0.25	.....
P3	0.10 max	0.40	0.25	0.60	1.25	.....	.....	.....	.....
P4	0.07	0.40	0.25	4.75	.....	.....	.....	0.70	.....
P5	0.10 max	0.40	0.25	2.25	.....	.....	.....	.....	.....
P6	0.10	0.50	0.25	1.50	3.50	.....	.....	.....	.....
P20	0.30	0.50	0.75	1.70	.....	.....	.....	0.40	.....
Aceros Varios									
L1	1.00	0.25	0.25	.....	.....	.....	.....	.....	.....
L2	0.50-1.10	0.50	0.25	1.20	.....	0.25	.....	.....	.....
L3	1.00	0.50	0.25	1.50	.....	0.25	.....	.....	.....
L6	0.70	0.50	0.25	0.80	1.50	.....	.....	0.25	.....
L7	1.00	0.50	0.25	1.40	.....	.....	.....	.....	.....
F1	1.00	0.25	0.25	.....	.....	.....	1.25	.....	.....
F2	1.25	0.25	0.30	.....	.....	.....	3.50	.....	.....
F3	1.25	0.25	0.25	0.75	.....	.....	3.50	.....	.....
6F3	0.55	0.60	0.85	1.00	1.80	0.10	.....	0.75	.....

Fig. 5. Método de clasificación AISI

Fuente: Escuela colombiana de ingeniería

3.2.5 Nitruración

Se trata de un tratamiento térmico realizado a temperaturas relativamente bajas (500-570° C), que proporciona nitrógeno en la superficie del acero y su difusión hacia el interior, consiguiéndose durezas elevadas. Se aplica normalmente en piezas de acero previamente templado y revenido para lograr un núcleo resistente, capaz de soportar las cargas externas a que están sometidas y que se tramiten a través de la capa dura. El nitrógeno que se incorpora al acero a 500-570°C, tiene, a esa temperatura, una velocidad de difusión mayor que el carbono, disminuyendo con el incremento de la temperatura.

Ventajas de la nitruración

1. Dureza elevada: pueden quedar valores de HV 650 a 1100 según el material que se utiliza. Las capas con dureza elevada son menos tenaces que las de menores valores de HV. La capa nitrurada confiere resistencia al desgaste.
2. Resistencia a la corrosión: después del nitrurado, los aceros resisten mejor la acción corrosiva del agua dulce, agua salada y atmósferas húmedas, que los aceros ordinarios. Por eso se suele utilizar el nitrurado en piezas que deben sufrir ciertos agentes corrosivos. La resistencia está dada por la capa más superficial de Nitrurado, la más externa.
3. Ausencia de deformaciones: como la temperatura de proceso no es elevada y no es necesario enfriar rápidamente, se evitan los grandes inconvenientes por deformaciones.
4. Nitrurado selectivo: se pueden proteger perfectamente de la nitruración las superficies que no se desean endurecer, dejando libres las áreas que desean tratarse.
5. Retención de dureza a elevada temperatura: las capas nitruradas conservan la dureza hasta los 500° C, si no es muy prolongado el período de calentamiento. Esta retención de la dureza es superior a otros tratamientos térmicos como cementación, temple por inducción, etc. que, por tener estructura martensítica, la pierden muy rápidamente a partir de los 200° C.

6. Incremento de resistencia a la fatiga: la distorsión de la red cristalina por la difusión del nitrógeno incrementa la resistencia a la fatiga. Además, disminuye los efectos de entalla y corrosión.

Aceros para nitruración

Normalmente se emplean aceros entre 0,2 y 0,60 % C, aleados con Al, Cr, Mo y V. El contenido de C no influye en la dureza y levemente en la profundidad de capa, disminuyendo ésta con el % de C.

El Al es el elemento más importante para lograr las máximas durezas, pero debe ir siempre acompañado de otros aleantes para evitar capas nitruradas muy frágiles.

El Mo aumenta la dureza de la capa, mejora la tenacidad del núcleo y evita la fragilidad de los aceros sin Mo, cuando permanecen mucho tiempo a temperaturas próximas a 500° C.

El Cr y el V aumentan la profundidad de capa dura.

En los aceros al carbono, a igualdad de tiempo, se obtiene una mayor profundidad de capa, ya que los aleantes forman nitruros y disminuyen la difusión hacia el interior, pero los valores de dureza son sensiblemente inferiores.

Métodos de nitruración

La nitruración se realiza sobre material previamente templado y revenido a una temperatura superior a la empleada en la nitruración; las piezas deben encontrarse en las dimensiones finales, ya que después del nitrurado no debe realizarse ninguna operación de maquinado, sólo un pulido, porque se reduciría la capa de compuestos.

Nitruración gaseosa

Todos los tipos de aceros se pueden nitrurar con éxito a la presión atmosférica mediante nitrógeno atómico procedente de la descomposición de combinaciones nitrogenadas, por ejemplo, el amoníaco.

La nitruración por amoníaco se produce en 3 etapas:

- 2 Disociación térmica del amoníaco.
- 3 Absorción del N por el

4 Difusión del nitrógeno hacia el interior del acero. La reacción se interpreta como

El N no absorbido inmediatamente pasa a molecular y ya no actúa como nitrurante

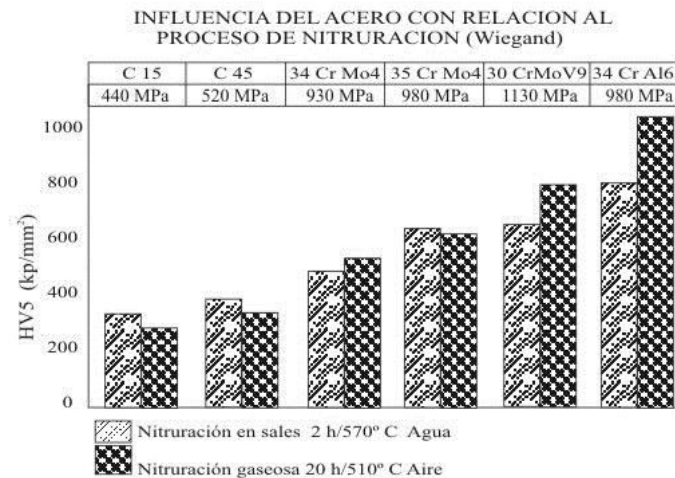


Fig. 6. Relación comparativa de la dureza de varios aceros nitrurados en sales y gas amoníaco.

Fuente: Metalografía y Tratamientos Térmicos de los metales. Y. Lajtin

Por eso es necesario enviar a través del horno una corriente de NH₃ para garantizar un grado de disociación adecuado, cuyo equilibrio depende del producto a nitrurar. Si el grado de disociación es muy alto, la absorción de nitrógeno por el metal se frena. Este hecho sólo puede explicarse admitiendo que existe entonces demasiado hidrógeno que es absorbido por los microporos del acero, de allí que debe mantenerse el grado de disociación de 18 a 25% en la nitruración a 500° C, y de 25 a 40% en la nitruración a 550° C.

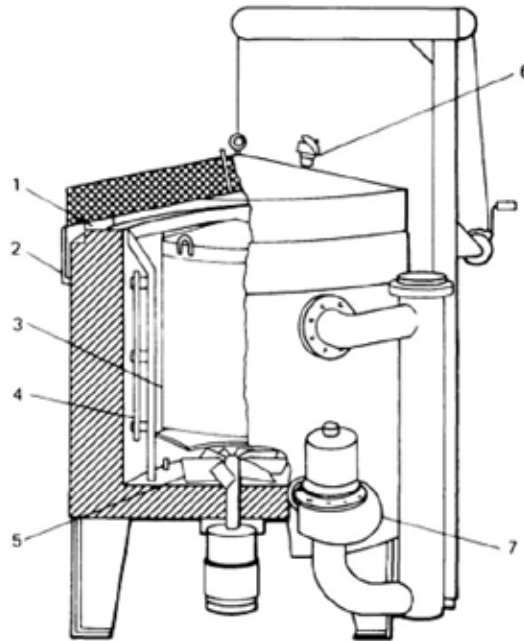


Fig. 7: a) Horno de retorta vertical de nitruración.

Fuente: Metalografía y Tratamientos Térmicos de los metales. Y. Lajtin

1. Junta
2. sello de aceite
3. canasta de trabajo
4. elementos de calentamiento
5. ventilador circulante
6. termocupla
7. montaje de enfriamiento

Al final del ciclo, una válvula se abre y el ventilador (no se observa) incorporado al enfriador externo, circula la atmósfera a través de la camisa de agua.

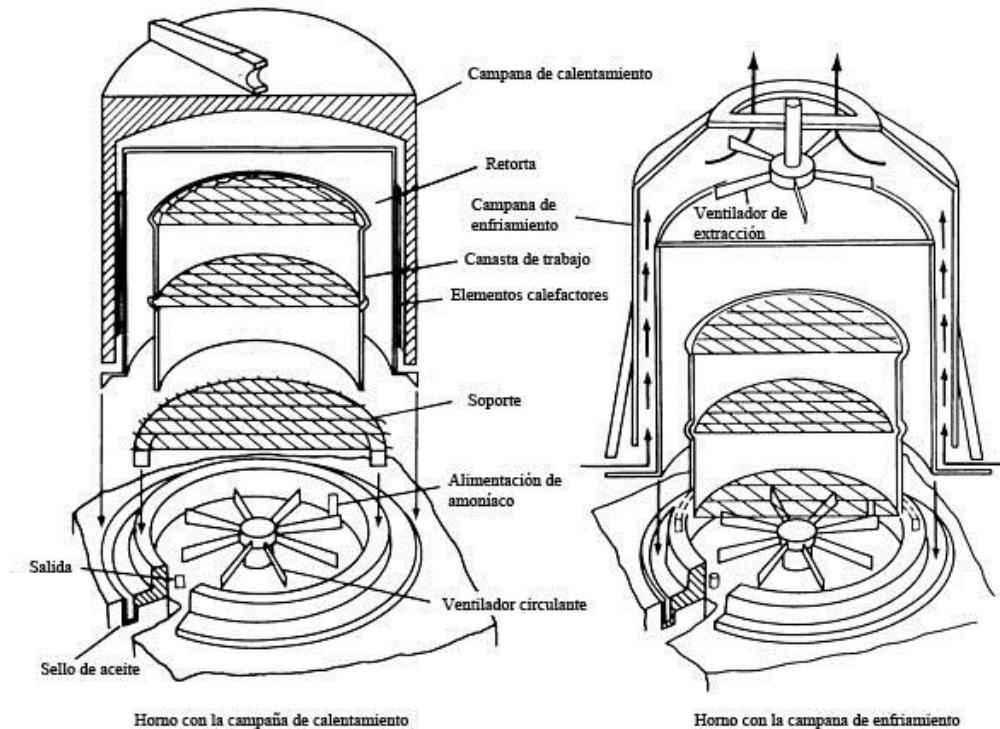


Fig. 7: b): Esquema de horno de campana mostrando la base estacionaria cubierta por campanas.

Nitruración en baño de sales

Se realiza sumergiendo las piezas o herramientas en un baño de sales que contiene cianuros y cianatos a una temperatura entre 520 y 580° C. Generalmente el baño tiene en su comienzo aproximadamente 60% de NaCN y 40 % de KCN, mezcla que funde a 500° C. Para conseguir una buena nitruración es necesario envejecerlo varios días. Esto se debe a que sólo empieza a dar buenos resultados cuando se forma suficiente proporción de cianatos. Actualmente el cianato se añade antes a la mezcla de sales.

En los baños de sales se pueden nitrurar también aceros no aleados, mientras que la nitruración con gas exige incondicionalmente el empleo de aceros de nitruración. En los aceros no aleados o de baja aleación no se produce un aumento notable de la

dureza luego de la nitruración, por lo que se ha conocido este proceso con el nombre de "nitruración blanda".

Reacciones en el baño de nitrurar: el baño se descompone lentamente por oxidación durante su funcionamiento:

Los cianatos de sodio o potasio formados pueden formar carbonato sódico por oxidación posterior:

De acuerdo con el equilibrio de Boudouard se forma dióxido de carbono a partir del monóxido:

reacciona a su vez con el cianuro para formar cianatos de sodio o de potasio.

Los temores de que, como resultado de las reacciones anteriores, se produjese una descomposición rápida del baño, con pérdida de su poder nitrurante, no se han confirmado, porque en el intervalo de trabajo, con contenidos de KCNO entre 25 % y 35 % son suficientemente estables.

Solamente es peligroso un fuerte sobrecalentamiento porque produce una descomposición intensa. El nitrógeno en estado nascente se difunde muy fácilmente a través de la superficie de la pieza y forma nitruros con el hierro o con los elementos aleantes.

3.2.6 Definiciones básicas

Bearing: Superficie de rose de las matrices.

Matriz o Die: Herramienta de acero utilizada para extruir aluminio, provista de abertura según la forma del perfil, puede estar compuesta por diferentes herramientas según su tipo.

Soporte o Backer: Soporte de las matrices sólidas.

Placa o Die Plate: Complemento de matriz tubular, también llamado hembra.

Puente o Mandrel: Complemento de matriz tubular, también llamado macho.

Durómetro: Instrumento utilizado para verificar el grado de dureza del material de las matrices y herramientas.

Amoníaco (Nitruro de Hidrogeno): También conocido como amoniaco o gas de amonio utilizado en tratamientos térmicos como nitruración.

Nitrógeno: gas inerte utilizado dentro del proceso de nitruración.

CFH: Pie cúbico por hora.

CAPÍTULO IV

FASES METODOLÓGICAS

4.1. Fases metodológicas

En el presente Capítulo se pretende especificar con detalles todos los medios que se utilizaron para lograr concluir este trabajo, a través de ciertas técnicas e instrumentos de recolección de datos para lograr alcanzar los objetivos planteados de esta investigación o de este proyecto y llegar a plantear soluciones.

Según el manual de técnicas de documentación e investigación II de la Universidad Nacional Abierta (U.N.A), (2003), “La metodología es el método en el cual el investigador plantea su estrategia para el estudio de los hechos o fenómenos objeto de la investigación, formulando un modelo operativo que le permita acercarse a su objetivo y conocerlo tal cual es”.

Por lo dicho anteriormente la metodología permite el alcance de conocimientos precisos y exactos con los cuales estaremos en capacidad de analizar cualquier problema propuesto para plantear las posibles soluciones.

Fase I Comprobar composición química de las muestras de acero H13

La primera fase es la comprobación de la composición química de las muestras de acero H13, seleccionando las dimensiones de las probetas, posteriormente someter una de ellas a un estudio con el espectrómetro el cual arrojaría la composición química de ellas, documentando cualquier variación que este fuera de la composición química sugerida.

Fase II: Determinar parámetros óptimos para el proceso de nitruración gaseosa en matrices de acero H13

Luego de comprobar y asegurarse de que las muestras pertenecen a un acero para herramientas H13, se procede a realizar las pruebas de nitrurado, realizando el

tratamiento a las muestras una por una cuya diferencia radica en el tiempo de pertenencia en el horno, el cual variara en un rango desde 1 horas hasta 4 horas, realizando una metalografía por muestra después del nitrurado para determinar la capa de nitrurado que se forma en la superficie y así determinar el tiempo optimo donde se logre el mejor equilibrio entre tiempo y espesor de la capa.

Fase III: Corregir variaciones de dureza alcanzadas por las matrices de acero H13 estandarizando proceso.

La siguiente fase tiene como función detectar cualquier anomalía en la dureza de las probetas, determinando el motivo y si es posible corregir la desviación de dureza, además de estandarizar o introducir el soporte donde queden plasmados los parámetros como el tiempo y el espesor de la capa de nitrurado, junto con una gráfica donde se muestre el comportamiento de la capa con respecto al tiempo.

Fase IV: Disminuir tiempo de proceso de extrusión ejecutando nitruración gaseosa a matrices de acero H13.

Por último, se procede a ejecutar el proceso de nitruración con los parámetros óptimos a las matrices de acero H13, llevando un control detallado donde se muestre el tiempo entre nitrurado, la cantidad de material extruido, ciclos de calentamiento, entre otros, revisando y comparando con matrices nitruradas bajo otros parámetros para de alguna manera determinar efectividad del proceso de nitruración con los nuevos parámetros.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En el presente capítulo se explicará al detalle el procedimiento realizado para la determinación de la efectividad del proceso de nitruración gaseosa en la empresa Extrudal, C.A. Detallando las características de los equipos y las probetas a utilizar, así como la obtención de resultados necesarios para concretar conclusiones.

5.1 Equipos involucrados

5.1.1 Horno de nitrurado

El horno instalado en el departamento de matricería en la empresa posee las siguientes especificaciones y características:

Tabla 1. Especificaciones del horno

FABRICANTE		MODELO		SERIAL			
HUPPERT INDUSTRIES		NIT - 1418		172 - SO - 53311			
CONSUMO	VOLTAJE	RETORTA		DIMENSIONES			MAX. TEMP
		DIAMETRO	ALTO	ANCHO	ALTO	LARGO	
14KW	440V	14''	28''	42''	53''	44''	1200°F (648°C)

Fuente: Huppert Industries

Controles



Fig. 8 Controles del horno

Fuente: Extrudal. C.A

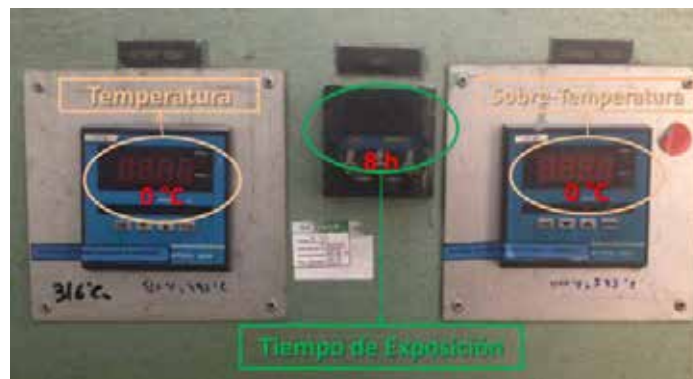


Fig. 9 Temporizador e indicadores

Fuente: Extrudal. C.A

Inconvenientes

En 2 ocasiones el horno ha fallado por motivo a la rotura de la resistencia interna, como consecuencia la retorta no lograba llegar a la temperatura de trabajo (493°C), además de extender la rampa de tiempo desde la temperatura ambiente (tardaba alrededor de 6 horas en pasar desde 30°C hasta cerca de los 400°C).

Presenta fallas en la instrumentación, lo que en ocasiones llevo a supervisar y manipular manualmente casi por completo el proceso, realizando cambios en los indicadores en tiempo real para abrir y cerrar las válvulas internas del horno.

El manto de amianto que sirve como aislante térmico y empaque contra el escape de gases procedentes de la retorta se cambió en una ocasión porque presentaba fugas de amoniaco. También fue necesario realizar reparaciones menores como reemplazo de bombillos quemados y cambios de manómetros disfuncionales.




Fig. 10 Horno de nitrurado
Fuente: Extrudal. C.A

5.1.2 Durómetro portátil

El durómetro portátil utilizado por la empresa posee las siguientes especificaciones:

Tabla 2. Durómetro portátil

Modelo	HH-411
No. orden	810-298
Pantalla	
Rango de dureza	L-Valor (ASTM A956)
Detector	Dispositivo de entrada D (Bola de carburo)
Funciones	Conversiones: HL, HV, HB, HRC, HRB, HS, Juicio: OK/NG Compensación de memoria: 900 data

Dirección de indentación	Cualquier dirección
Salida	RS-232C, SPC
Fuente de energía	Alcalina AA 2 baterías.
Dimensiones	xxDIA 1.10x6.89in xx28x175mm
Dimensiones de la pantalla	2.76x4.33x1.38in 70x110x35mm
Masa	.26lbs 120g

Fuente: Mitutoyo

Inconvenientes

El durómetro estuvo alrededor de 6 meses sin servicio por falta de calibración.



Fig. 11 Durómetro portátil

Fuente: Extrudal. C.A

5.1.3 Durómetro de banco

Ubicado en el laboratorio de materiales de la Universidad José Antonio Páez, tiene las siguientes especificaciones (Modelo: LC – 200RB):

ITEM/ MODEL		LC-200R	LC-200RB
MEASUREMENT PRINCIPLE & METHOD		Direct Loading Method with Load-Cell Feedback/ Direct Linear Displacement Measurement	
STANDARDS CONFORMED		ISO 6506-2/ ISO 6508-2/ ASTM E 18/ ASTM E 10/ ASTM E 140/ ASTM D 785 JIS B 7726/ JIS K 7202/ JIS Z 2245/	
DISPLAY & OPERATION PANEL		8- Color LCD Touch Panel Display	
AVAILABLE LANGUAGES		Japanese/ English/ German/ French/ Italian/ Spanish/ Chinese/ Korean	
LOADING PRINCIPLE & MEASUREMENT OPERATION		Fully-Automatic Load Control Method: Fully-Automatic Measurement Operation; Descent of Load Shaft~Minor Load Application~ Test Load Application- Hold- Release~Hardness Display~Ascent of Load Shaft ※ Only Manual Operation: Elevation of Specimen Surface within 0.5~8 mm to Indenter	
LOAD	MINOR LOAD	N : 29.42 98.07 kgf : 3 10	
	TEST LOAD	N : 147.1 294.2 441.3 588.4 980.7 1471 kgf : 15 30 45 60 100 150	
	SPECIAL LOAD FOR BRINELL TEST CONFORMING TO ISO 6506-2	—	N: 61.29, 76.61, 98.07, 153.2, 196.1, 245.2, 294.2 306.5, 392.3, 612.9, 980.7, 1177, 1226, 1839 kgf: 6.25, 7.8125, 10, 15.625, 20, 25, 30, 31.25, 40, 62.5, 100, 120, 125, 187.5
	FLEXIBLE SPECIAL ROCKWELL LOAD SETTING	Available Special Customized Rockwell Type Test by Setting Minor Load/ Test Load Combination between 29.42 N (3 kgf) and 1961 N (200 kgf)	
MAXIMUM TRAVEL OF LOAD SHAFT		Max. 8 mm	
TEST LOAD DWELL TIME		0~999 s (Key Entry in unit of 1 s/ Factory Setting : 3 s)	
MEASUREMENT SPEED		For Normal Measurement: Approx. 13 s/ 1 cycle	
RESOLUTION		Display: 0.01 HR	
PLASTIC MEASUREMENT MODE		Available Load Control Method Conforming to JIS K7202-2 and ASTM D 785	
HARDNESS CONVERSION		Conversion & Display in compliance with ASTM E 140	
OK/ NG CRITERIA & LIMIT SETTING		Upper and Lower Limit Setting between 0.01~130 HR and OK/ NG Display	
SELF DIAGNOSIS		Display Troubles with Motors and Switches	
HR SCALE DISPLAY		C, D, A, G, GW, B, BW, F, FW, K, KW, E, EW, H, HW, P, PW, M, MW, L, LW, V, VW, S, SW, R, RW, 15N, 30N, 45N, 15T, 15TW, 30T, 30TW, 45T, 45TW, 15W, 15WW, 30W, 30WW, 45W, 45WW, 15X, 15XW, 30X, 45XW, 15Y, 15YW, 30Y, 30YW, 45Y, 45YW	
BRINELL TEST MODE		—	Display HB Hardness based on Depth of Indentation ※ Reference only to ASTM E 10
TEST LOAD DISPLAY		Display Test Load in kgf and SI simultaneously on SCALE SELECTION Screen	
HR DATA CORRECTION		Max. Five Points each on 3 HR Scales/ Offset on each HR/ HR on Convex Cylindrical Surfaces (In compliance with ASTM E 18 and JIS Z 2245)/ HRC on Convex Round Surfaces (In compliance with JIS Z 2245)	
HR DATA EDITING		Data Editing/ Statistic Data(Test Times/ Max./ Min./ Mean/ Range/ Standard Deviation/ Dispersion/ Coefficient of Variation)/ Graph Chart Display/ Histogram Display	
MAX. INDENTATION DEPTH		Detection and Output of Max. Indentation Depth	
SPECIAL TEST MODE FOR DETECTION ON PROCESS OF DISPLACEMENT OF LOAD & INDENTATION DEPTH		—	Detection of Displacement of Test Load & Indentation Depth on Process of Loading and output to outer PC by RS232C in real-time
DATA OUTPUT & COMMUNICATION SIGNAL		RS232C : 2 Channels (For Printer & PC) / OPTION : P.I.O. (For External Control)	
DATA PRINTOUT MODE		a. HR Value/ b. HR Value & Conversion Data/ c. HR Value & Max.Depth of Indentation/ d. HR Value & OK-NG Criteria/ e. HR Value & Statistic Data/ f. HR Value, Mean Value & OK-NG Criteria/ g. Conversion Data/ h. Conversion Data & OK-NG Criteria/ i. Conversion Data & Statistic Data/ j. Conversion Data, Mean Value & OK-NG Criteria/ k. Max.Depth of Indentation	
ILLUMINATION LIGHT		White LED Spot Illumination	
SPECIMEN FIXING ADAPTER		Available as Option : 2 Types / Large & Small	
MAX. HEIGHT OF SPECIMEN		255 mm (10")	
MAX. DEPTH OF SPECIMEN		170 mm (6.7")	
DIMENSIONS		(W) 220× (D) 465× (H) 810 mm	
WEIGHT		Approx. 100 kg (Including Standard Accessories)	
POWER SUPPLY		AC100~240 V 50/60 Hz/ Single Phase (Switchable in outside)	

Fig. 12 especificaciones del durómetro de banco

Fuente: FT HARDNESS



Fig. 13 Durómetro LC – 200RB
Fuente: FT HARDNESS

5.1.4 Microscopio metalográfico

Al igual que el durómetro de banco está ubicado en el laboratorio de materiales de la Universidad José Antonio Páez y cumple con las siguientes características:

Tabla 3. Características del Microscopio

FABRICANTE	MODELO
ACCU - SCOPE	3035 INVERTED METALLURGICAL MICROSCOPE
CARACTERISTICAS Oculares WF10x con campo de visión de 18 mm Cabezal de visión trinocular Siedentopf con tubo de fotos La cabeza de visualización está inclinada 30° y giratoria 360° Ajustes de distancia interpupilar de 55-75 mm y ajuste de ± 5 dioptrías Etapa mecánica (150 mm x 200 mm) con controles de posición baja; área de recorrido x-y 30 mm x 30 mm Placas de escenario Larga distancia de trabajo Objetivos de DIN Trump Achromat: PL5x, PL10x, PL20x y PL40x Iluminación Koehler variable de 6 voltios de 30 vatios Filtros azules, verdes y blancos	

Dimensiones del microscopio (LWH): 18 "x 7 ½" x 14 ½ "

Fuente: ACCU - SCOPE



Fig. 14 Microscopio óptico

Fuente: UJAP

5.1.5 Espectrómetro Portátil

Para el análisis químico de la probeta se recurrió a las Instalaciones de la Universidad Simón Bolívar, Laboratorio de Dinámica de Maquinas.

Instrumento Utilizado: Espectrómetro portátil X-Met7500 Marca OXFORD Instruments.

Descripción general del instrumento: El X-Met 7500 es un espectrómetro XRF flexible y portátil para el análisis elemental en una amplia gama de mercados industriales. Está diseñado para un alto rendimiento y fiabilidad, ofrece un análisis garantizado de materiales rápido, y bajos límites de detección para todos los elementos de interés:

Identificación Positiva de Materiales (PMI) para los metales

Reciclaje y clasificación de chatarra

Identificación y análisis de aleaciones

Identificación de metales preciosos

Análisis de materiales peligrosos (RoHS) en los juguetes, productos de consumo, en el suelo y otras aplicaciones



Fig. 15 Espectrómetro portátil
Fuente: OXFORD

5.2 Proceso de nitruración

5.2.1 Establecido actualmente en la empresa

En la empresa se venía trabajando con un proceso de nitruración reflejado en el siguiente gráfico.

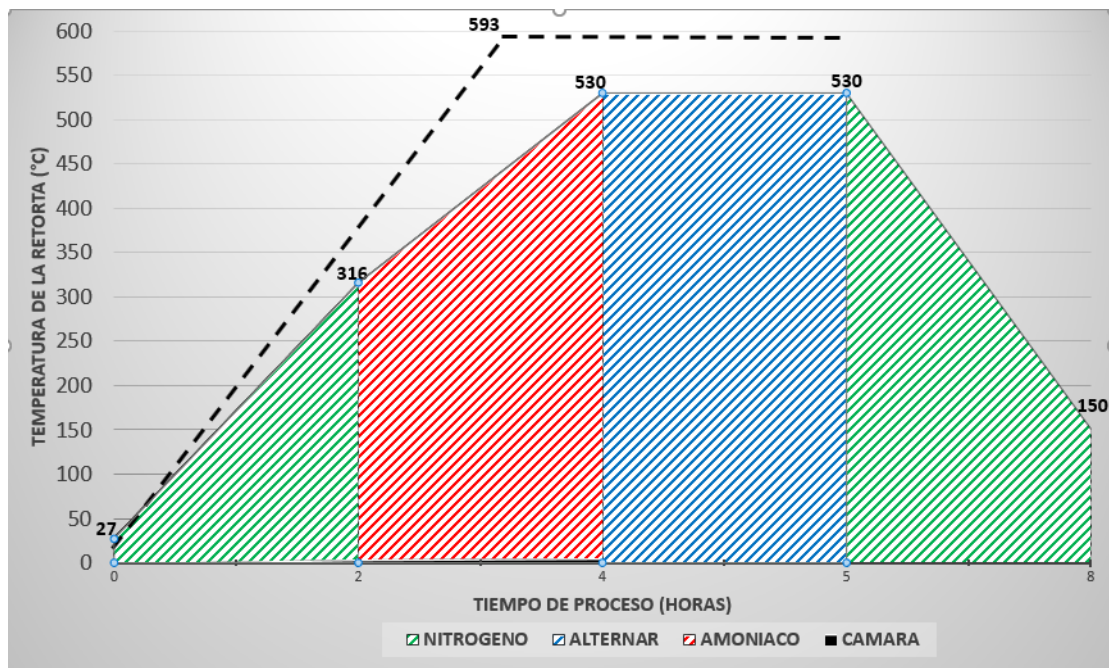


Gráfico 1. Esquema del proceso de nitrurado actual

Fuente: Cambero. J

El proceso contempla la inyección de amoniaco en el rango de 316 a 530°C, para después ciclar alternativamente entre nitrógeno y amoniaco por 1 hora, no ha sido comprobado que ejecutar el proceso de esta manera sea efectivo para la formación de Nitruros de Hierro (Fe₄N), sin embargo, se han obtenido incrementos de dureza en las matrices de H13, normalmente pasando de 40 a 44 HRC como máximo.

5.2.2 Recomendado por el fabricante del horno de nitrurado (HUPPERT)

En la empresa se encuentra un texto que data de los años 90 donde se explica el proceso de nitruración específicamente para el horno en cuestión. El proceso se refleja en el siguiente gráfico:

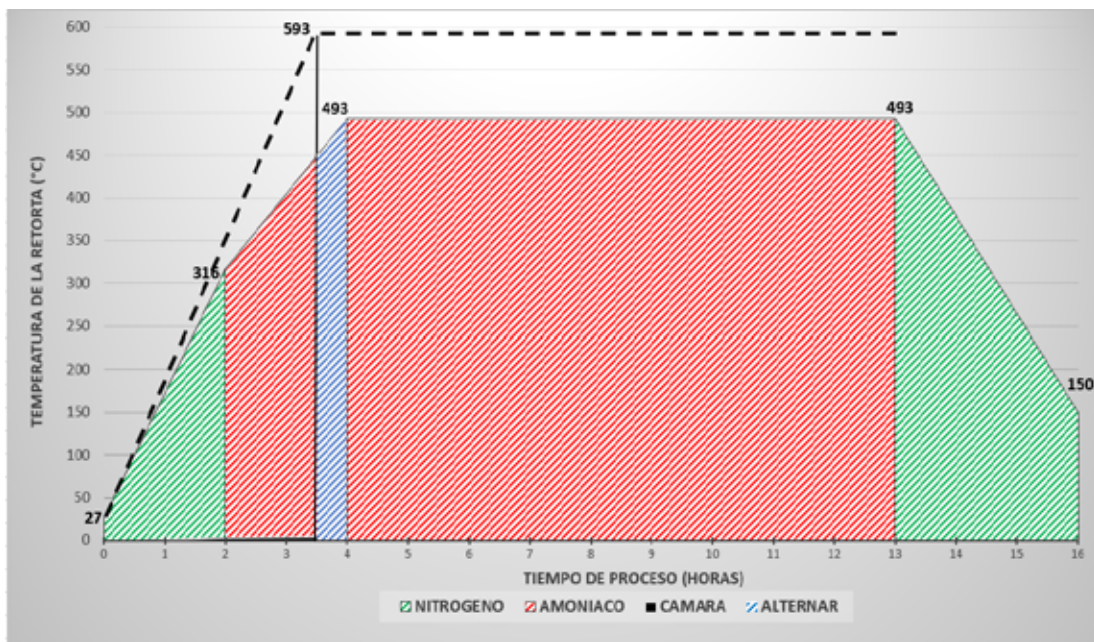


Gráfico 2. Esquema del proceso de nitrurado recomendado

Fuente: Cambero. J

Se recomienda como mínimo 8 horas de exposición con atmosfera de amoniaco a 493°C, además, establece que una vez que la temperatura de la cámara (Resistencia) logre llegar a 593°C ciclaran alternativamente el nitrógeno y el amoniaco mientras la temperatura de la retorta no haya llegado a 493°C (Zona azul). Este esquema es el que

se utilizara como base para realizar las pruebas. Ambos procesos trabajan a 1PSI con 30CFH de Nitrógeno y 1PSI con 15CFH de Amoniaco en sus respectivos intervalos.

5.3 Comprobación de composición química de las muestras de acero H13

Es necesario asegurar que estamos trabajando con el material esperado, en este caso acero H13, para tener una aproximación de los resultados que podríamos obtener. Para ello se seleccionó un trozo de matriz partida de apenas 2Kg de peso (Ver figura 15), esto facilito su transporte hacia el sitio donde se encontraba el espectrómetro portátil (Universidad Simón Bolívar Sartenejas, Caracas, Miranda), debido a que el espectrómetro encontrado en la empresa no estaba calibrado para este tipo de aceros.



Fig. 16 Trozo de matriz seleccionada para análisis químico.

Fuente: Extrudal. C.A

Explicación breve del estudio: Una vez encendido el equipo se procede a calibrarlo de acuerdo al material del cual posiblemente se trate, esto para arrojar resultados más precisos, ya preparado se apunta la probeta a analizar de manera que quede la punta del instrumento haciendo contacto con la probeta, pasado unos segundos (aprox. 8 segundos) el instrumento arrojará los datos requeridos. Existen 2 resultados

debido a que la probeta fue analizada por ambas caras, probeta H fue el nombre que se le dio al análisis para identificarlo.

Tabla 4. 1er resultado de análisis químico

Nombre	Clase		Fecha		Hora		Duración
Probeta H	Alloy_LE_FP		14/03/2018		11:33:03		8,5s
Elemento	Si%	V%	Cr%	Mn%	Fe%	Mo%	Cu%
	1,76	0,77	5,54	0,33	90,39	1,20	0.07
±	0,166	0,041	0,084	0,084	0,371	0,024	0.019

Fuente: USB

Tabla 5. 2do resultado de análisis químico

Nombre	Clase		Fecha		Hora		Duración
Probeta H	Alloy_LE_FP		14/03/2018		11:35:03		8,5s
Elemento	Si%	V%	Cr%	Mn%	Fe%	Mo%	Cu%
	1,47	0,77	5,33	0,42	90,74	1,20	0.07
±	0,159	0,041	0,083	0,066	0,371	0,024	0.019

Fuente: USB

Al comparar con los valores mostrados en la figura 5 nos damos cuenta que están muy cerca de estos, a excepción del %Si donde se aprecia una diferencia de 0.6% aproximadamente, sin embargo, vemos que los valores de los aleantes más importantes como son el Cr y Mo están muy cerca y entran en el rango de error del equipo por lo tanto se puede asegurar que estamos ante una muestra de acero AISI H13.

5.4 Pruebas de nitruración

En esta sección se presentan las pruebas realizadas a cada una de las 4 matrices seleccionadas como probetas, parámetros como la dureza antes y después del nitrurado,

tiempo de exposición con atmosfera de amoniaco se establecerán, además de realizar ensayos metalográficos para apreciar los cambios a nivel microscópico.

Se realizarán pruebas con máximo de 4 horas de exposición por motivo a que el tiempo completo del proceso no debe sobrepasar por mucho las 8 horas laborales en la empresa. Debido a que todas las matrices de la empresa ya se encontraban nitruradas, se seleccionaron las que tenían más tiempo desde su última nitruración.

5.4.1 Nitruración por 1 hora

Para la prueba de nitruración de 1 hora de exposición de amoniaco se trabajó con la matriz de tipo solido cuyo código es 1413 – 4, su última nitruración fue el 02/03/2011.



Fig. 17 Matriz solida 1413 – 4

Fuente: Extrudal. C.A

Antes del nitrurado el durómetro portátil arrojó una media de dureza igual a 39.5HRC.



Fig. 18 Dureza promedio de matriz solida 1413 – 4

Fuente: Extrudal. C.A

Una vez realizado el tratamiento de nitruración con 1 hora de exposición se obtuvo una dureza igual a 44.89HRC en el durómetro de banco en la universidad. Cabe destacar que las variaciones de los valores de dureza entre ambos durómetros están dentro del margen de error por lo tanto son despreciables.



Fig. 19 Dureza después de tratamiento, matriz 1413 – 4

Fuente: Lab. De materiales, UJAP

Se procede a preparar una fracción de la superficie de la matriz para el ensayo metalográfico.



Fig. 20 Microscopia 100X, matriz 1413 – 4
Fuente: Lab. De materiales, UJAP

Con este tiempo de exposición no se logra apreciar de manera definida la formación de nitruros de hierro, de igual manera la capa de compuestos es inexistente.

5.4.2 Nitrurado por 2 horas

Tipo de matriz: Solida





Código de la matriz a ensayar: 1086 – 3

Fecha de ultima nitruración: 11/04/2013

Dureza antes del tratamiento: 38.9HRC

Dureza después del tratamiento: 46.16HRC

Tabla 6. Datos para 2 horas de tratamiento

DUREZA ANTES DEL TRATAMIENTO	MATRIZ TRATADA
	
DUREZA DESPUES DEL TRATAMIENTO	MICROSCOPIA 100X
	

Fuente: Cambero. J

De igual manera con un tiempo de exposición de 2 horas no se logra apreciar la formación de la capa de compuestos sobre la superficie de la matriz.

5.4.3 Nitrurado por 3 horas

Tipo de matriz: Solida



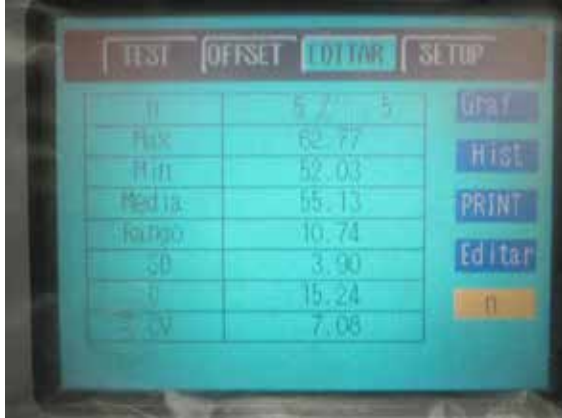

Código de la matriz a ensayar: 1086 – 2

Fecha de ultima nitruración: 21/05/2012

Dureza antes del tratamiento: 41.9HRC

Dureza después del tratamiento: 55.13HRC

Tabla 7. Datos para 3 horas de tratamiento

DUREZA ANTES DEL TRATAMIENTO	MATRIZ TRATADA
	
DUREZA DESPUES DEL TRATAMIENTO	MICROSCOPIA 100X
	

Fuente: Cambero. J

Con 3 horas de exposición en atmosfera de amoniaco se aprecian zonas oscuras en la superficie que podrían deberse al comienzo de la formación de la capa de compuestos, sin embargo, estas zonas están muy separadas aún.

5.4.4 Nitrurado por 4 horas

Tipo de matriz: Solida



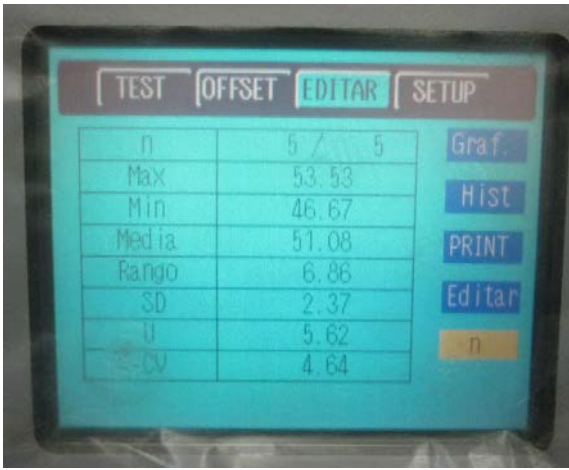
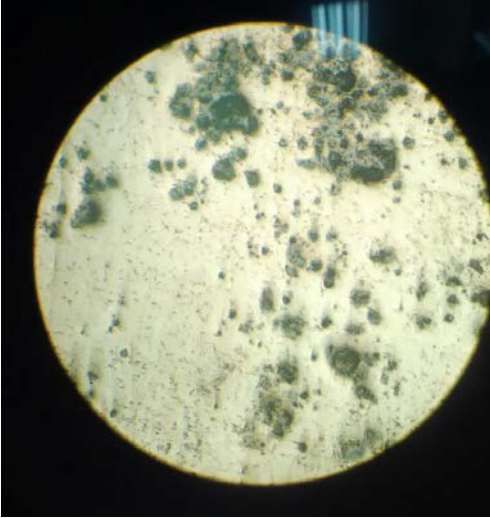
Código de la matriz a ensayar: 1768 – 2

Fecha de ultima nitruración: 19/01/2009

Dureza antes del tratamiento: 41.7HRC

Dureza después del tratamiento: 51.06HRC

Tabla 8. Datos para 4 horas de tratamiento

DUREZA ANTES DEL TRATAMIENTO	MATRIZ TRATADA																																				
																																					
DUREZA DESPUES DEL TRATAMIENTO	MICROSCOPIA 100X																																				
 <table border="1" data-bbox="386 1178 719 1434"><thead><tr><th>TEST</th><th>OFFSET</th><th>EDITAR</th><th>SETUP</th></tr></thead><tbody><tr><td>n</td><td>5 / 5</td><td>Graf.</td><td></td></tr><tr><td>Max</td><td>53.53</td><td>Hist</td><td></td></tr><tr><td>Min</td><td>46.67</td><td>PRINT</td><td></td></tr><tr><td>Media</td><td>51.08</td><td>Editar</td><td></td></tr><tr><td>Rango</td><td>6.86</td><td>n</td><td></td></tr><tr><td>SD</td><td>2.37</td><td></td><td></td></tr><tr><td>U</td><td>5.62</td><td></td><td></td></tr><tr><td>CV</td><td>4.64</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	TEST	OFFSET	EDITAR	SETUP	n	5 / 5	Graf.		Max	53.53	Hist		Min	46.67	PRINT		Media	51.08	Editar		Rango	6.86	n		SD	2.37			U	5.62			CV	4.64			
TEST	OFFSET	EDITAR	SETUP																																		
n	5 / 5	Graf.																																			
Max	53.53	Hist																																			
Min	46.67	PRINT																																			
Media	51.08	Editar																																			
Rango	6.86	n																																			
SD	2.37																																				
U	5.62																																				
CV	4.64																																				

Fuente: Cambero. J

De la misma forma con 4 horas en exposición de amoniaco se aprecia el acercamiento de estas zonas oscuras compuestas de nitruro de hierro, esto puede deberse a que la velocidad de disociación térmica del amoniaco es muy baja, además de que el tiempo de exposición aún es muy corto.

5.5 Corrección y optimización de parámetros en el proceso de nitruración gaseosa

Como pudimos observar, con el máximo de horas permitidas por la empresa para el proceso no se logra la formación de una capa de compuestos que sirva como protección contra el desgaste que sufren estas matrices superficialmente, esto puede deberse a la baja velocidad de disociación del amoníaco consecuencia de que se trabaja con una temperatura por debajo de los 500°C, además observamos que obtuvimos un mayor incremento de dureza con la exposición de 3 horas (Ver gráfico 3), por lo tanto de acuerdo a los resultados obtenidos se pueden establecer los parámetros óptimos para la ejecución del proceso de nitruración gaseosa en matrices de acero H13. Ver gráfico 4.

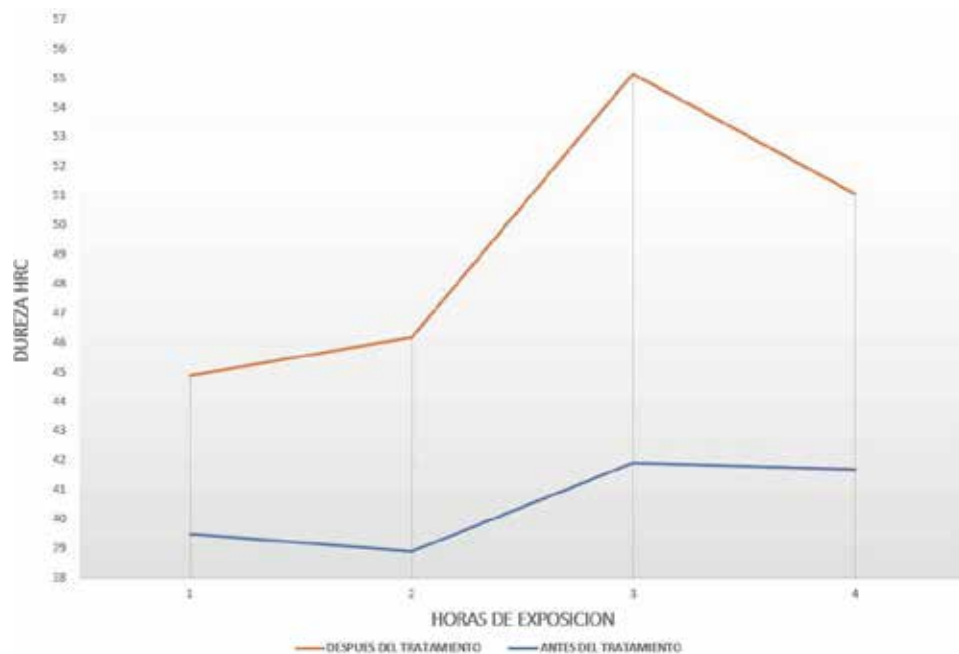


Gráfico 3. Incremento de dureza apreciado para cada tratamiento

Fuente: Cambero. J

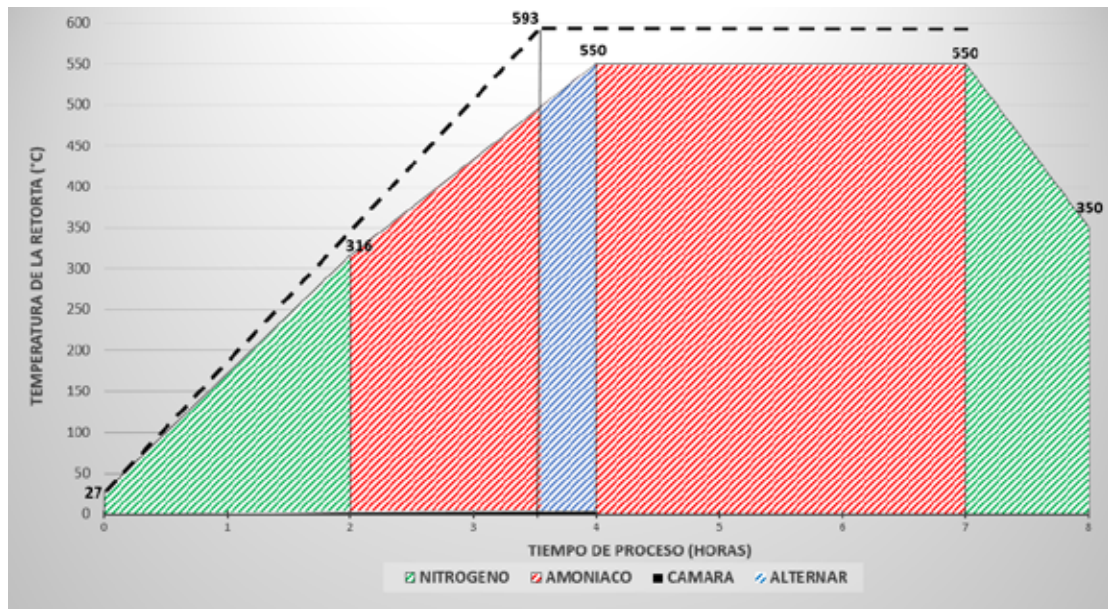


Gráfico 4. Esquema óptimo del proceso de nitrurado

Fuente: Cambero. J

Como parámetros óptimos se establece el tiempo de exposición en 3 horas con una temperatura en la retorta alrededor de 550°C para una mayor rapidez de disociación térmica del amoniac, al terminar el ciclo es recomendable dejar un tiempo circular el nitrógeno (en este caso 1 hora) para purgar la atmosfera de amoniac, no abrir la tapa del horno hasta que la temperatura de la retorta este por debajo de los 150°C para evitar una posible explosión debido a gases inflamables que se encuentran aun dentro del horno como lo es el hidrogeno.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que es necesario establecer un proceso de nitruración gaseosa que cumpla con un mínimo de 3 horas de exposición con atmosfera de amoniaco a una temperatura de la retorta de 550°C, la dureza fue incrementando con el aumento del tiempo de exposición hasta llegar a un límite entre las 3 y 4 horas de exposición, 55.13 y 51.06HRC respectivamente, se cree que a partir de 4 horas no se apreciara un incremento significativo de la dureza sin embargo, este tiempo es aún insuficiente para la conformación de la capa protectora.

Debido a la limitación de 8 horas laborales en la empresa se vio en la necesidad de optimizar este proceso para este rango de tiempo, a su vez este no deja de ser insuficiente para el correcto aprovechamiento de este tratamiento termoquímico, es necesario automatizar él proceso para extender este tiempo y obtener mejores resultados.

Los tratamientos térmicos y termoquímicos tienen como objetivo principal mejorar las propiedades mecánicas y en ocasiones las propiedades químicas del material, por ello su aplicación en la industria es indispensable si se quiere maximizar la relación costo/beneficio de una empresa, es aún más importante tratándose de una empresa que depende en gran parte de la durabilidad y rendimiento general de sus herramientas.

Las características más importantes que deben tener aceros herramientas como es el caso del H13 en el proceso de extrusión son la dureza y el desgaste, se debe buscar la manera de aumentar al máximo la vida útil de estas herramientas en consecuencia se dispone del tratamiento de nitruración gaseosa que no solo mejora estas dos características importantes, además, protege contra la corrosión y mantiene las dimensiones de la herramienta al no verse sometida a altas temperaturas.

RECOMENDACIONES

Mejorar la disposición de las matrices en la cesta que se introduce al horno de manera que queden más dispersas entre ellas y los gases puedan circular de forma efectiva por ambas caras de la matriz, esto debido a que se detectaron diferencias de dureza apreciables entre las caras de la matriz.

No introducir más de 4 piezas en el horno para que este disminuya el tiempo en la rampa de calentamiento.

Reparar instrumentación del horno para automatizar el proceso y así poder aumentar el tiempo de la nitruración.

Se recomienda un proceso de nitruración con al menos 8 horas de exposición con atmosfera de amoniaco.

Calibrar instrumentos de medición utilizados en el proceso por el horno como son, termocuplas, flujómetros, manómetros y relojes indicadores.

Precalear no solo la matriz, si no todo el conjunto que la conforma como el Backer, Bolster, antes de ser utilizados en la prensa.

Llevar un control preciso acerca del trabajo realizado por la matriz después de cada nitruración como la cantidad de material extruido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

José Apraiz Barreiro (1974): *Tratamientos térmicos de los aceros*, ed. Dossat, 8va edición, Madrid España.

M.A. Grossman y E.C. (1972): *Principios de tratamiento térmico*, ed. Blume, 1ra edición, Madrid España.

José Apraiz Barreiro (1978): *Fabricación de hierro, aceros y fundiciones*, tomo 1. ed. Urmo, S.A. Bilbao España.

B.H. Amstead, P.B.F. Ostwald, M.L. Begeman (1992): *Procesos de manufactura*, versión si, ed. Ceca ira edición.

John E. Nelly, Richard R. Kibbe (1992): *Materiales y procesos de manufactura*, Limusa, 1ra edición.

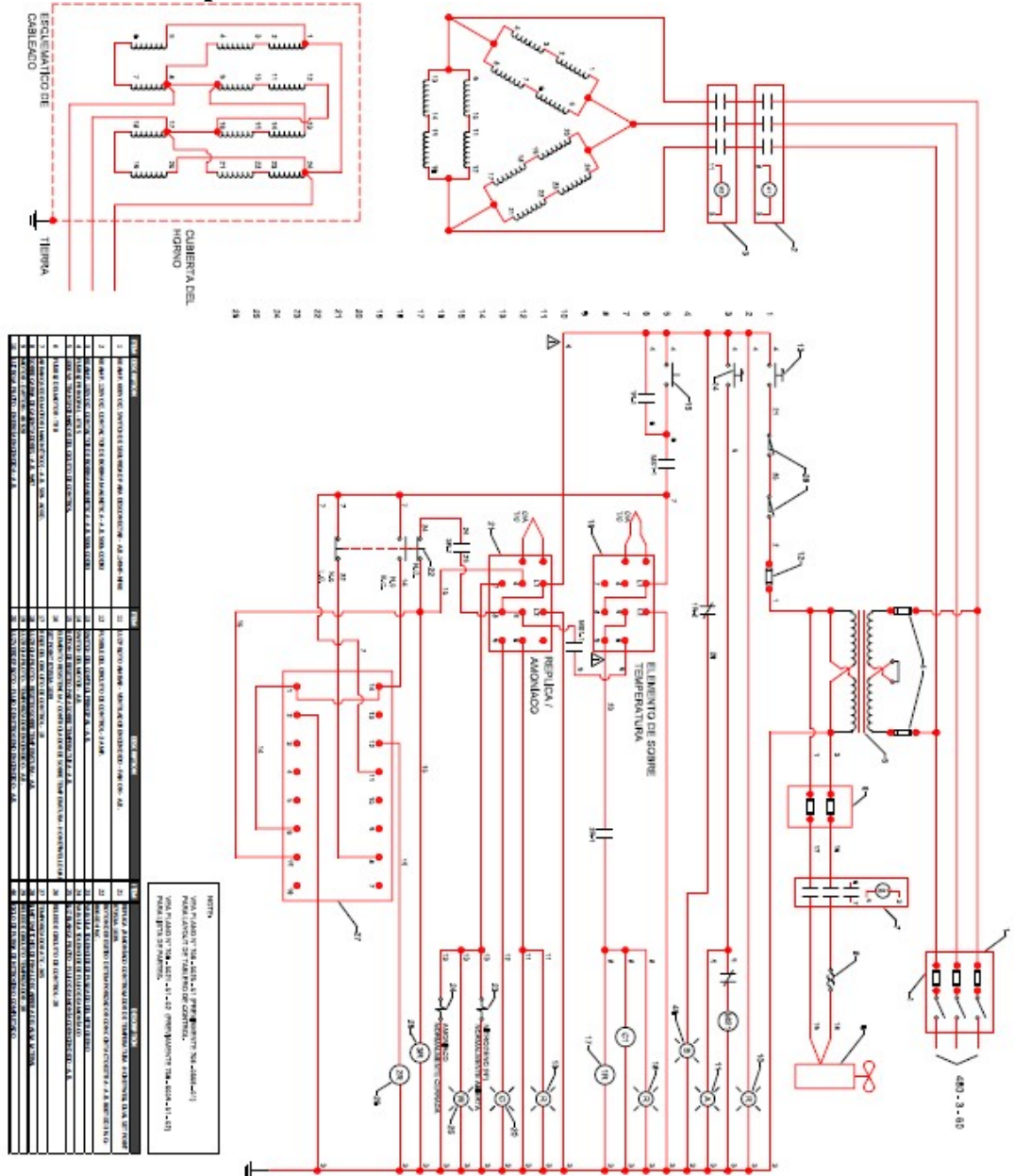
Pedro Molero Sola (1991): *Tratamientos térmicos de los metales*, ed. S.A Marcombo, Barcelona España.

<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10372/>

https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientostermicosr2.pdf

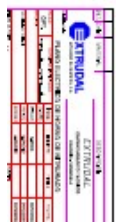
APÉNDICES

Apéndice I: Plano eléctrico del horno de nitrurado




LEYENDA	DESCRIPCION	LEYENDA	DESCRIPCION
1	INTERRUPTOR GENERAL DE EMERGENCIA	21	RELE TERMICO
2	SECCION DE FUSIBLES	22	RELE TERMICO
3	INTERRUPTOR DIFERENCIAL	23	RELE TERMICO
4	PLACA DE CONTROL	24	RELE TERMICO
5	RELE TERMICO	25	RELE TERMICO
6	SECCION DE FUSIBLES	26	RELE TERMICO
7	INTERRUPTOR DIFERENCIAL	27	RELE TERMICO
8	LINEA DE ALIMENTACION	28	RELE TERMICO
9	LINEA DE ALIMENTACION	29	RELE TERMICO
10	LINEA DE ALIMENTACION	30	RELE TERMICO
11	TRANSFORMADOR	31	RELE TERMICO
12	MOTOR	32	RELE TERMICO
13	ELEMENTO DE COQUE	33	RELE TERMICO
14	ELEMENTO DE COQUE	34	RELE TERMICO
15	ELEMENTO DE COQUE	35	RELE TERMICO
16	ELEMENTO DE COQUE	36	RELE TERMICO
17	ELEMENTO DE COQUE	37	RELE TERMICO
18	ELEMENTO DE COQUE	38	RELE TERMICO
19	ELEMENTO DE COQUE	39	RELE TERMICO
20	ELEMENTO DE COQUE	40	RELE TERMICO

NOTA:
 1. VOLTAJE EN 380V AC 3 FASES.
 2. FUSIBLES EN 10A.
 3. INTERRUPTOR DIFERENCIAL EN 10A.
 4. RELE TERMICO EN 10A.
 5. RELE TERMICO EN 10A.
 6. RELE TERMICO EN 10A.
 7. RELE TERMICO EN 10A.
 8. RELE TERMICO EN 10A.
 9. RELE TERMICO EN 10A.
 10. RELE TERMICO EN 10A.
 11. TRANSFORMADOR EN 380V/220V.
 12. MOTOR EN 380V.
 13. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 14. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 15. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 16. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 17. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 18. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 19. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.
 20. ELEMENTO DE COQUE EN 380V.



Fuente: Extrudal. C.A

Apéndice II: Formato de nitrurado actual



REPORTE CONTROL DE NITRURADO

No	Matriz	Corr.	Tipo	D-E	D-S
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Distribución en Cesta

Fecha: _____

Operador: _____

Parámetros de Proceso		
Temperatura	Retort 530°C	Chamber 550°C
	Exp.	Ciclo
Tiempo	4 h	8 h
	Flujo	Presión
Amoniaco	10-20 CFH	1 PSI
Nitrógeno	30 CFH	1-5 PSI

Hora	S	BS	OR	TR	Control Interno								Control Externo					
	13	14	15	22	Temp. °C		Tiempo	Amoniaco		Nitrógeno		Amoniaco Ex			Nitrógeno Ex			
	on	on	on	on	Retort	Chamber	Horas	Flujo(CFH)	Boton	Flujo(CFH)	N1	N2	B1	M1	M2	B1	M1	
1																		
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		

Observaciones: _____

IT0037
FO0038 08/2014

Fuente: Extrudal. C.A

ANEXOS

Anexo A: Tapa superior del horno de nitrurado



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo B: Indicadores del horno al momento de exposición de amoniaco



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo C: Indicadores del horno al momento de finalizar exposición de amoniaco



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo D: Caudalímetro instalado en el horno



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo E: Cesta para introducir matriz al horno



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo F: Retorta



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo G: Toma interna del extractor



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo H: Motor y conducto externo del extractor



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo I: Bombonas, Nitrógeno (gris) y amoniaco (anaranjada)



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo J: Matrices nuevas



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo K: Almacén de matrices



Fuente: Extrudal. C.A

Anexo L: Matrices desechas



Fuente: Extrudal. C.A