DISEÑO Y CONSTRUCION DE UNA CAMARA DE NITRURACION GASEOSA CON ESQUEMAS MULTIPLES DE CALENTAMIENTO

RESUMEN

Se presenta el diseño de un prototipo original de una cámara de nitruración gaseosa con dos esquemas de calentamiento. Uno, mediante el paso de corriente eléctrica a través de la muestra y otro, por la circulación de gases calientes de la combustión de biomasa. Con ayuda de esta cámara se pretende estudiar el proceso de formación de las fases de nitruros en las capas superficiales para diferentes regímenes de nitruración (velocidades de calentamiento y enfriamiento, temperaturas, tiempos de permanencia a diferentes temperaturas) y estados iniciales de las muestras. Se expone el diseño y soluciones previstas desde el punto de vista mecánico, eléctrico y electrónico, para dotar a dicha cámara de las posibilidades antes expuestas. Finalmente se realiza una valoración preliminar de las condiciones de ambos esquemas de calentamiento y se adelantan las posibles diferencias en los resultados de la nitruración.

PALABRAS CLAVES: Aceros inoxidables, Diseño y construcción, Esquemas de calentamiento, Nitruración gaseosa.

JORGE LUIS ENCISO M
Ingeniero Metalúrgico, M. Sc.
Director Grupo de Investigaciones GIMAP
Universidad de Ibagué
jorge.enciso@unibague.edu.co

ARCELIO A. HERNANDEZ F
Físico, Ph.D.
Investigador del Grupo de Investigaciones GMACON.
Universidad de Ibagué
Profesor Invitado de la. Universidad de Cienfuegos, Cuba.
archdez@ucf.edu.cu

ABSTRACT
The design of an original prototype of gaseous nitration chamber with two heating forms is showed. The first one using electrical current across of sample and the second by circulation of hot gas exhaust from biomass combustion. With this chamber is pretended studding the nitrides phase formations on surface with different regiment of nitriding (heating and cold velocity, temperature, dwell time at different temperatures) and initial state of sample. The design and possible solutions from mechanical, electrical, electronic point of view are considered, for provided it of before displayed possibilities.
Finally, a preliminary evaluation of both heating conditions and a prediction of possible differences in the nitrating results are carried out.

KEYWORDS: design and manufacturing, heating methods, gaseous nitriding Stainless steels.

1. INTRODUCCIÓN

Los tratamientos termo-químicos brindan un conjunto de propiedades a los materiales sometidos a los mismos que traen consigo el mejoramiento de sus posibilidades de explotación. En particular, el de nitruración gaseosa, resulta una herramienta muy útil para la modificación de las propiedades físicas en la superficie tales como la dureza, la resistencia al desgaste y a la corrosión [1].
Los procesos de saturación difusiva de las superficies de los metales y aleaciones constituyen la base de los tratamientos termo-químicos y su estudio permitirá optimizar los regímenes y resultados de la aplicación de los mismos. En dichos procesos intervienen tanto el estado del material como las condiciones en que se lleva a cabo la saturación. De aquí que los parámetros a controlar son: regímenes de calentamiento y enfriamiento, composición del medio saturante, temperatura y tiempo de permanencia a la misma y estados estructurales de las muestras. Para esto se diseñó y se construirá una cámara que satisfaga todos estos requerimientos y que por tanto permita estudiar los procesos de nitruración de materiales con atmósfera saturante en fase gaseosa. Con una opción inicial que satisface las anteriores prestaciones y mediante la realización de los cálculos térmicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos se consiguió el modelo presentado.

2. CONTENIDO

2.1 Diseño del prototipo

Para el prototipo se utilizó el diagrama de **diseño** de máquinas [2] de la figura 1 donde se muestra la estructuración para la selección de materiales y demás características en le desarrollo del proyecto. Esto nos permite identificar las variables esenciales que son

Fecha de Recepción: Abril 25 del 2007
Fecha de Aceptación: Agosto 28 del 2007

controladas en el proceso tanto eléctricas, electrónicas, mecánicas y térmicas.

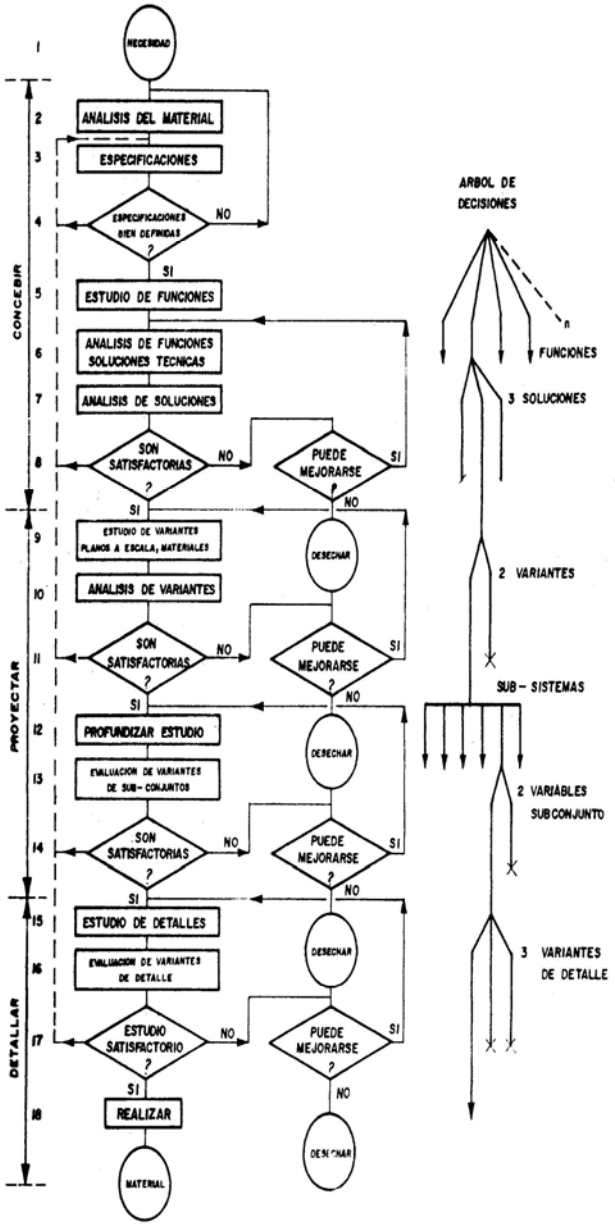

Figura 1. Proyecto de diseño del prototipo.

La nitruración gaseosa a bajas temperaturas nos permite bajar los costos, generar menos distorsión y menos rugosidad en la superficie [3]. El diseño de esta cámara nos permite controlar los regimenes de calentamiento utilizando múltiples esquemas a partir del diseño, mecánico (Figura 2) y térmico.

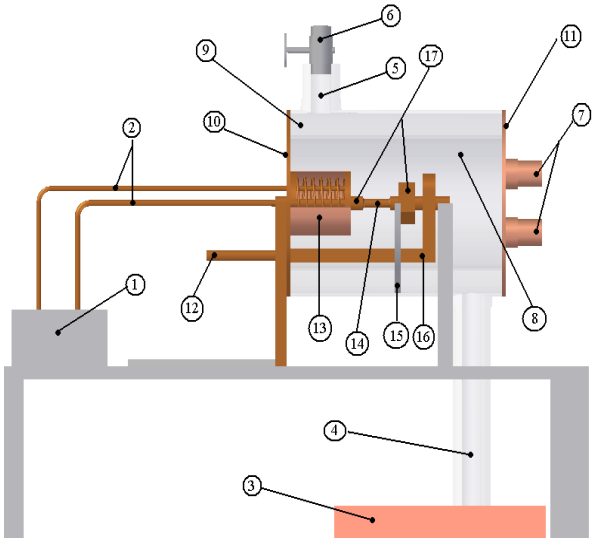

Figura 2. Representación esquemática de la cámara de nitruración gaseosa con dos esquemas de calentamiento. 1- Transformador, 2- Cables de alimentación, 3-Quemador, 4- Tubo de entrada de gases y agua, 5- Salida de gases y de agua, 6-Válvula mariposa control de gases, 7- Entrada y salida del amoniaco, 8-Cámara interna, 9-Cámara de circulación de gases calientes para calentamiento y de agua para refrigeración, 10- Tapa frontal corrediza, 11-Tapa posterior fija, 12- Alambre de la termocoupla, 13- Cámara de protección resorte, 14- Probeta, 15- Deflector media media luna, 16- Soporte de fijación corredizo, 17- Acoples.

2.1.1 **Diseño Mecánico**

El Grupo GIMAP (Ingeniería Mecánica, Universidad de Ibagué) realizo un diseñó preliminar de un prototipo de cámara de nitruración gaseosa (ver Fig. 2), que se construirá en el Laboratorio de Materiales. Consta de dos cámaras cilíndricas en donde, en la cámara interior se encuentra un soporte para la fijación de la pieza a tratar, y una termocoupla para registrar la temperatura del proceso. Al soporte de sujeción de las piezas está conectado un sistema de calentamiento por resistencia. Esta cámara interior está rodeada por un segundo cilindro que conforma la carcasa del equipo que a su vez conforman la cámara de circulación de gas para el calentamiento, producto de la combustión de la cascarilla de arroz (biomasa) y de refrigeración por agua en el caso de electro-calentamiento. El gas previsto a utilizar para la realización de los tratamientos es el amoniaco (NH_3).

Para el esquema por electro-calentamiento, la cámara consta de dispositivo de fijación de la probeta en ambos extremos, donde se conecta a una cámara más pequeña que tiene un resorte que busca absorber la expansión térmica de la probeta, y el dispositivo de calentamiento actúa además como una trampa para que el nitrógeno no entre en contacto con el alambre de cobre y evite así el ingreso de gases no deseados.

La conexión entre la cámara y el sistema de sujeción es fija a la tapa, lo que permite moverse fácilmente para el montaje de la probeta.
El agua entra por una válvula donde es regulada la presión manteniendo las condiciones de temperatura.
La entrada del amoniaco se regula por una válvula que permite establecer el flujo que garantice el grado de disociación necesario.

2.1.2 **Diseño Térmico**

Para el diseño térmico preliminar se tuvieron en cuenta las propiedades físicas del gas, material, y las longitudes de la cámara, en donde el cilindro exterior tiene una longitud de 0,35 m con un diámetro de 0,268 m y el cilindro interior con diámetro de 0,194 m .
Las condiciones de trabajo para determinar las pérdidas de calor obtenidas con aislamiento fueron: temperatura ambiente 28^0C, temperatura de la pared del cilindro 510 ^{0}C (950 ^{0}F). Con referencia a las ecuaciones [4] planteadas se obtuvo las perdidas de calor sin aislamiento donde el Q =24'842.595 Btu /h pie.

$$Q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s1} - T_{s2})}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (1)$$

$$r = \frac{k}{h} \quad (2)$$

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL} \quad (3)$$

$$Q_r = m \times C_p \times \Delta T \quad (4)$$

$$Q_t = \frac{m}{t} \times C_p \times \Delta T \quad (5)$$

Donde:

L = longitud del cilindro
k = Conductividad térmica
T_{s1} y T_{s2} = Temperatura superficial interna y externa
r_1 y r_2 = radio interno y externo del cilindro
h = coeficiente convectivo
r = radio critico del aislamiento
Q_r = flujo calorífico
Q_t = Calor necesario para calentar la pieza
R = resistencia térmica
m = masa
C_p = Calor específico del material
ΔT = variación de temperatura

Además se calcularon la resistencia térmica (R), flujo calorífico (Q_r) y flujo másico (Q_t). Los datos obtenidos fueron verificados con el programa de simulación Ecowin de la compañía Fiberglass, así podemos determinar, que para un eficiencia del 98,91 %, el aislamiento requerido es de 8" con una perdida de 270.374 Btu/ h pie.

2.2 **Esquemas de Calentamiento**

2.2.1 **Calentamiento por gas**

El esquema de calentamiento por gas consta de un quemador de tipo parrilla inclinada que proporciona la cantidad de gas requerida para el calentamiento. Este gas entra a la cámara donde es regulado por una válvula tipo mariposa, que nos permite graduar la alimentación de gas y controlar la temperatura que se requiere entre 500 y 700 ^{0}C para la nitruración gaseosa. Los gases circulan entre los cilindros proporcionando por trasferencia la temperatura de calentamiento. Para mantener la temperatura del gas que entra se adaptó un deflector de media luna en la parte inferior. El esquema completo es mostrado en la Figura 3.

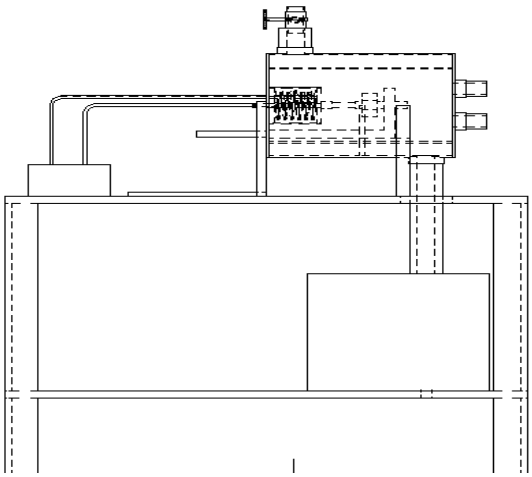

Figura 3. Esquema de calentamiento por gas (Biomasa)

2.2.1.1 Gas de Biomasa

El gas que se utiliza para el calentamiento, proviene de la combustión de la cascarilla de arroz, la cual presenta una gran variedad de propiedades físico-químicas tales como: composición química, humedad y poder calorífico. En la tabla 1 se muestra el análisis aproximado de la cascarilla de arroz, donde los volátiles presentes son importantes en el proceso de ignición en la primeras etapas de combustión de la biomasa [5].

Elemento	%
Carbono fijo	16.67
Cenizas	17.89
Volátiles	65.47

Tabla 1. Análisis aproximado de la cascarilla de arroz en Colombia [6].

Dependiendo del contenido de humedad que tiene la cascarilla de arroz podemos conocer la composición inicial, donde los porcentajes de azufre y cenizas tienen un porcentaje elevado como se muestra en la tabla 2.

Biomasa	Componente Elemental						
Cascarilla de Arroz	% Humedad	C	H	O	N	S	Cenizas (A)
	8.6	42.5	6.0	36.2	0.21	0.49	14.6
	8.9	39.1	5.5	37.2	0.27	0.43	17.8
	9.4	33.4	4.3	38.5	0.38	0.32	23.1

Tabla 2. Composición elemental de la cascarilla de arroz a diferentes % de humedad en Colombia [7].

Otra variable a controlar con la biomasa es el poder calorífico que esta proporciona y que esta relacionada con el contenido de humedad. El contenido de humedad (HR) de la biomasa es la relación de masa de agua contenida por kilogramo de materia seca [6]. La mayoría de procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior del 30 %. Para el caso de la cámara se utilizara un porcentaje del 10% como se relacionada en la tabla 3.

CONTENIDO DE HUMEDAD	PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI) kj/kg
0	19880
10	17644
20	15412
30	13180
40	10947
50	8715
60	6413

Tabla 3. Poder calorífico inferior de la cascarilla de arroz en función del contenido de humedad [6].

2.2. 2 Electro-Calentamiento

El calentamiento de la muestra, producto de la circulación de corriente eléctrica por ella, se conoce como efecto Joule. El calor (Q) disipado se relaciona con la intensidad de la corriente (I) que circula por la sección transversal de la muestra, su resistencia eléctrica (R) y el tiempo (t) que está circulando de acuerdo con:

$$Q=I^2R\,t \qquad (6)$$

es la causa del incremento de la temperatura de la muestra. Parte de este calor se transfiere a los alrededores según los mecanismos de transferencia (radiación, conducción y convección) y se puede encontrar la intensidad de la corriente eléctrica que debe circular para que se establezca un equilibrio que permita que la temperatura de la muestra se mantenga constante. Esta es la idea central del sistema concebido, en el cual, a partir de la medición de la temperatura sobre la superficie de la muestra mediante una termocoupla soldada sobre ella, se establece el valor necesario de la intensidad de corriente eléctrica.

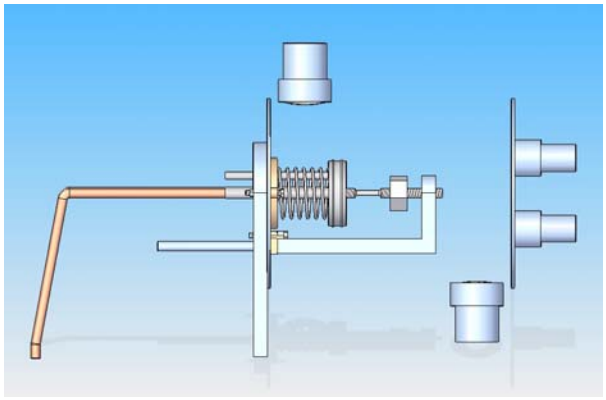

Figura 4. Esquema de electro-calentamiento de la cámara

2.3 Diseño eléctrico-electrónico

Para efectos de diseño se dividió el sistema en etapas independientes, con el fin de ejecutar progresivamente la realización de cada solución y permitir una adecuada interrelación entre ellas. En el esquema del sistema eléctrico que aparece en la figura 5 se muestran las etapas de sensado, acondicionamiento, elevación de corriente, visualización y control. Dado el bajo valor de la resistencia de las muestras se precisa circular una corriente de alta intensidad (por encima de los 300 A) para lograr una potencia disipada que logre el calentamiento de la muestra.

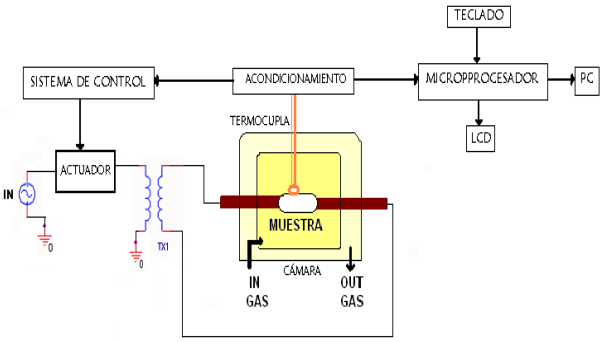

Figura 5. Diagrama ilustrativo del sistema eléctrico.

Es por ello que se utiliza el secundario de un transformador de potencia como fuente para obtener esta alta intensidad. La señal de voltaje obtenida en el extremo frío de la termocoupla es acondicionada para su ingreso en el sistema de control y en el microprocesador. De esta manera se puede programar y conocer el valor de temperatura que está alcanzando la muestra, producto de la actuación del sistema de control sobre el primario del transformador.

El control implementado en el microcontrolador sigue la representación del diagrama de flujo de la figura 8, donde las entradas en los canales analógicos del microcontrolador son el voltaje obtenido del acondicionamiento de la señal generada por el sensor y la variación de voltaje a través de un potenciómetro establecido por el usuario para el proceso. Esta variación está relacionada con la temperatura deseada.

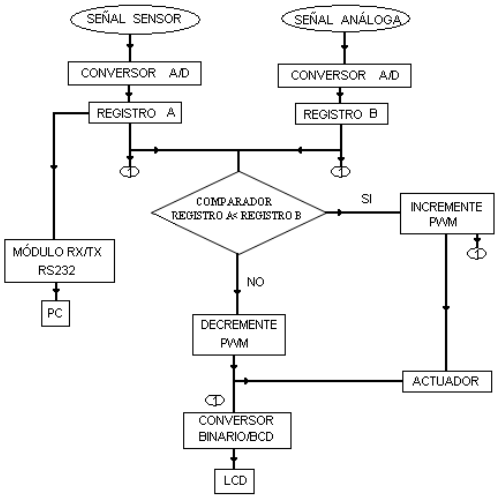

Figura 6. Diagrama de flujo de control implementado en el microcontrolador.

Estas entradas análogas ingresan al módulo conversor análogo a digital (A/D), posteriormente se almacena la información digital obtenida en dos registros internos del microcontrolador. En el registro A se almacena la señal digital proveniente del sensor y en el registro B la variación del parámetro de temperatura establecido por el usuario a través del potenciómetro.

Los registros A y B llegan al módulo de visualización, en donde se hace una interfaz con el usuario a través del LCD.

El siguiente proceso sugiere una comparación de los registros A y B, con el fin de generar un incremento o decremento en el módulo PWM (Pulse Wide Modulation). La variación del PWM puede apreciarse en la visualización del LCD, con el fin de verificar el adecuado funcionamiento del sistema. La señal resultante del PWM sale del microcontrolador e ingresa a la etapa de potencia del sistema, donde se conecta dicha señal a la compuerta o pin de control del triac.

El triac es el actuador del sistema, este dispositivo es controlado por la señal obtenida del PWM, con ello es posible manipular la cantidad de señal AC (corriente alterna) que alimenta el transformador elevador de corriente, con ello se consigue variar la cantidad de corriente que circula por la muestra, y en consecuencia la temperatura que alcanza la probeta.

El registro A se conecta además con un módulo de transmisión (TX) – recepción (RX) en el micro-controlador, para ser enviado a través del puerto serie del PC, utilizando el protocolo de transmisión RS232. En el software de interfaz con el usuario, implementado en *LabVIEW*, es posible graficar y visualizar numéricamente la señal generada por el sensor, obtenida del registro A, tal y como muestra la figura 7.

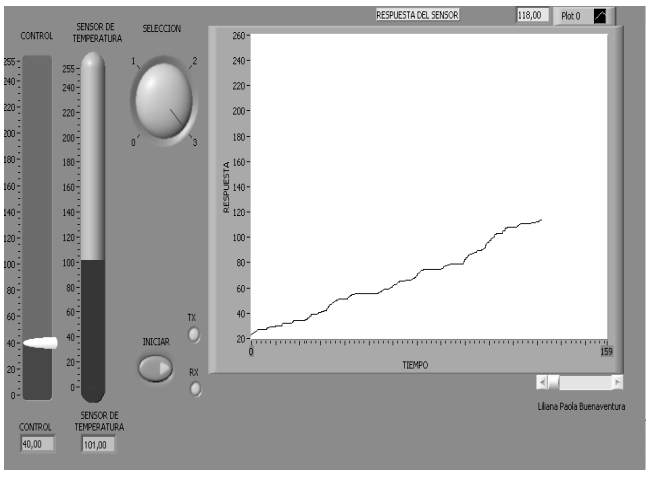

Figura 7. Aspecto de la interfaz grafica en la pantalla del computador

En la figura 8 aparece el circuito eléctrico y electrónico concebido para lograr el calentamiento y el control de la temperatura de la muestra en la cámara. En el mismo se ha desacoplado la etapa de potencia de la de control y visualización mediante el uso de opto triacs.

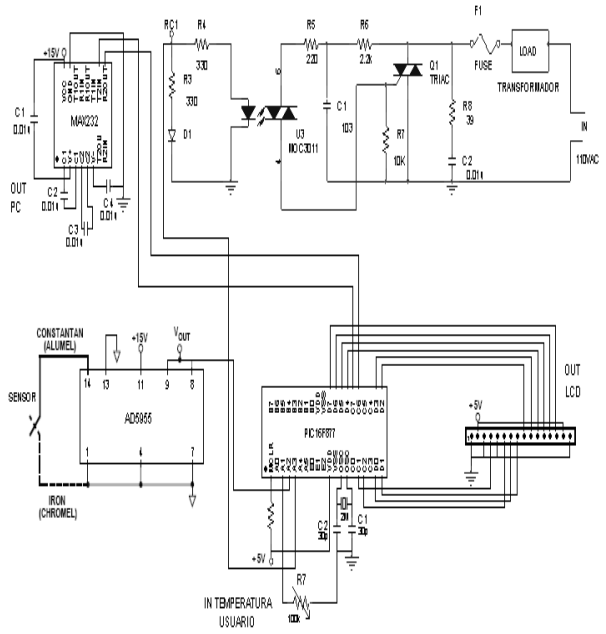

Figura 8. Circuito eléctrico y electrónico para el calentamiento y control de temperatura de la cámara.

2.3.1 Consideraciones previas acerca de los métodos de calentamiento.

En el esquema de calentamiento en que la cámara se calienta al mismo tiempo que la muestra y la atmósfera saturante, la disociación del amoniaco tiene lugar en todo el volumen de la cámara y en consecuencia se establece, para la temperatura dada, el equilibrio entre las especies disociadas y las no disociadas:

$$2NH_3 \leftrightarrow 2N + 3/2\ H_2 \qquad (7)$$
$$\downarrow$$
$$M(N)$$

El nitrógeno en estado atómico es quien difunde hacia el interior del material a través de la superficie por vía intersticial. Este nitrógeno atómico, que participa en la anterior reacción de equilibrio, mantiene una abundancia relativa en toda la cámara, puesto que existe un proceso de disociación y de recombinación. Esta abundancia relativa es la que está presente en particular sobre la superficie de la muestra.

Sin embargo, durante el esquema de calentamiento por corriente, solamente la superficie de la muestra y las zonas más aledañas elevan su temperatura hasta aquella en que ocurre la disociación y los átomos de nitrógeno formados se encuentran prácticamente sobre la superficie a través de la cual van a difundir. Esto trae un desplazamiento efectivo del equilibrio de la reacción planteada hacia la formación de más nitrógeno atómico y casi anula la recombinación del mismo para la formación de las especies no disociadas. Esto garantiza una mayor abundancia del nitrógeno atómico que difunde hacia el interior de la muestra. Aparte de este factor estamos en presencia de un campo magnético alterno, relativamente intenso de baja frecuencia (60 Hz). Las condiciones antes señaladas nos hacen predecir que los procesos de nitruración según ambos esquemas van a diferir sustancialmente y de igual manera los resultados obtenidos en los materiales luego de la nitruración.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se elaboró un diseño original para un prototipo de una cámara de nitruración gaseosa que permite realizar estudios de los factores fundamentales que determinan los procesos difusivos, a saber, regímenes de calentamiento y enfriamiento, composición del medio saturante, temperatura y tiempo de permanencia a la misma. Para ello está dotada de la instrumentación electrónica necesaria y la interfaz de interacción con el usuario para seleccionar los parámetros y obtener en todo momento la información acerca de estos.

La cámara puede emplear dos esquemas distintos de calentamiento, uno de los cuales hace uso de los gases de la combustión de la cascarilla de arroz. Este esquema es muy conveniente por cuanto con su uso se ahorra energía eléctrica.

Las consideraciones preliminares acerca de las condiciones existentes durante los dos esquemas de calentamiento permiten predecir cambios en los resultados de la nitruración. Los estudios que se llevarán a cabo con la cámara permitirán corroborarlos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J.Baranowska, “Characteristic of the nitride layers on the stainless steel at low temperature”, Surface and coatings Technology, 180-181, pp 145-149, 2004.

[2] J.E. Arango Linares, Introducción a los ejercicios de diseño y construcción de maquinas, Universidad Nacional (sede Medellín), Facultad de Minas, pp. 35 ,1990.

[3] M.P Fewell, J.M. Priest, M.J. Baldwin, G.A Collin, K.T. Short “ Nitriding at low Temperature” Surface and Coating 131, pp 284-290, 2000.

[4] A. F Mills, Transferencia de Calor, Ed. McGraw-Hill, 1994, pp. 69-81.

[5] D. Cerquera, O. Galindo, “Estudio de la eficiencia energética del proceso de secado de arroz del molino Roa. S.A., Ibagué, Tolima, pp. 44-47, 2006.

[6] E. VELO, S. Tauta, “Curso sobre el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales”. Universidad Politécnica de Cataluña. P. 31-35. 1999.

[7] FEDEARROZ. “Estudio de la composición elemental y poder calorífico de la cascarilla a diferentes % de humedad”. 2000.

[8] Yu. Lajtin, B. Arzamasov, Tratamiento químico-Térmico de los metales, Ed. Moscu: Mir, 1987, pp. 168-222.