



DISEÑO DE UNA CÁMARA PARA CONTROL DE AIRE Y EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO EN SOLIDWORKS®

Víctor Daniel Hernández Angeles

*TECNM-ITTILA-Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, División de Estudios de Posgrado e
Investigación*

M18250501@tlalnepantla.tecnm.mx

Iván Enrique Martínez Merlín

*TECNM-ITTILA-Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, División de Estudios de Posgrado e
Investigación*

iemerlin@hotmail.com

Apolinar Albiter Hernández

*Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas Norte 152, San Bartolo
Atepehuacan, 07730 México.*

aalbiter@imp.mx

Víctor Augusto Castellanos Escamilla

*TECNM-ITTILA-Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, División de Estudios de Posgrado e
Investigación*

victor.ce@tlalnepantla.tecnm.mx

Resumen

Este trabajo presenta el diseño de una cámara de baja presencia de aire, se utiliza gas argón para generar un entorno controlado, basado en simulaciones de fluidos realizadas con SolidWorks®, el diseño de esta cámara considera todos los componentes del ensamblaje, así como las entradas y salidas del gas. Las necesidades del laboratorio para el borurado de probetas de acero, molibdeno y vanadio (15 mm de diámetro y 3 mm de espesor) impulsaron el diseño de una cámara para el control de aire en un proceso de borurado. Las simulaciones de fluidos en SolidWorks® se realizaron con un flujo de gas de entrada de dos litros por minuto y un volumen interno de $41.32 \times 10^{-6} \text{m}^3$. Se observó que el gas mantiene una presión constante tanto en la entrada como en la salida. Los resultados de la simulación indican que el diseño es viable para su posterior fabricación e implementación.

Palabras clave: Baja presencia de oxígeno, entorno controlado, simulación de fluidos, borurados, y SolidWorks®.

A lo largo de los años, la industria ha desarrollado diversas técnicas de producción y mejora de productos para satisfacer las

necesidades del mercado. Un objetivo principal es aumentar la resistencia al desgaste

y la corrosión de las piezas mecánicas en diferentes ambientes.

Una manera de lograr mayor resistencia al desgaste es mediante tratamientos térmicos, especialmente a aceros, debido a su gran interés para la industria. (Rajan et al., 2023)

Para lograr resultados efectivos en un tratamiento térmico es crucial contar con un conocimiento completo del material a tratar, como son, su composición y su proceso de fabricación. Se debe llevar un control estricto de la temperatura y el tiempo del tratamiento, debido a que pequeñas variaciones en el proceso modifican las propiedades obtenidas. (ASM International. Handbook Committee., 2013).

Las variables con mayor impacto que interactúan dentro de un tratamiento térmico son la velocidad de calentamiento, la velocidad de enfriamiento, el tiempo de permanencia a la temperatura establecida y la presión a la que será sometida la pieza. (Smith, 2013).

La nitruración y carburización son dos de los tratamientos térmicos difusivos comúnmente utilizados para obtener superficies duras con interiores dúctiles.

La difusión es el movimiento neto de partículas (iones, átomos y moléculas) impulsado por gradientes de concentración y temperatura. Existen principalmente dos tipos de difusión:

- **Inter difusión:** También conocida como difusión intersticial, ocurre cuando los átomos de menor tamaño se difunden dentro de los espacios de los átomos de mayor tamaño. Ver Figura 1.

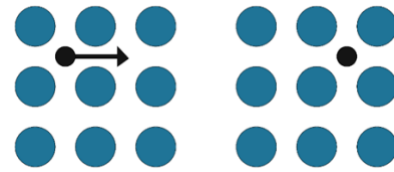


Figura 1 Difusión intersticial

- **Difusión por vacancia:** En este tipo de difusión, los átomos se mueven para ocupar los huecos dejados por otros, generando un flujo de átomos y vacancias. Ver Figura 2



Figura 2 Difusión por vacancia

La Difusión intersticial se lleva a cabo con mucha mayor facilidad que la difusión por vacancia, los átomos intersticiales, son relativamente más pequeños, lo cual ocasiona que se difunden más rápido, los cationes más pequeños con frecuencia se difunden más rápido que los aniones más grandes, permitiendo una difusión intersticial homogénea de las primeras capas de aniones. (Askeland & Wright, 2016).

El borurado, es un proceso de tratamiento superficial que implica la difusión de boro en la superficie de un material metálico con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas superficiales. Este método se emplea comúnmente en la industria para potenciar la dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión de los materiales. (Maya López Angelo Isaí, 2022).

Los principales parámetros para considerar y controlar en este proceso son la temperatura del tratamiento, el tiempo de exposición a la



temperatura deseada, y el tiempo de enfriamiento. (J. Merced Martínez, 2019).

El borurado se puede emplear en aceros con bajo contenido de carbono y con adiciones de plomo y azufre debido a que las moléculas de los aceros son más grandes y con espacio entre los átomos que facilitan la difusión intersticial, como lo es el acero 12L14, el cuál por los componentes que tiene es un material muy práctico para procesos de maquinado en serie. (Hernández et al., 2022).

Los aceros grado herramienta también son candidatos para procesos de borurado ya que permiten el mejorar las propiedades térmicas y cuidan el acero ante entornos de trabajo. (Doñu Ruiz et al., 2015).

A su vez el borurado por empaquetamiento puede ser utilizado para darle tratamiento al vanadio puro creando capas lisas en la superficie de este, mejorando las propiedades mecánicas del mismo. (Tarakci et al., 2010).

El tratamiento térmico en atmósferas controladas puede proporcionar un alto rendimiento y garantizar la calidad de las aleaciones. Este proceso puede mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los metales, como su resistencia a la corrosión, al desgaste, dureza, fatiga, conductividad térmica y eléctrica. (Smith, 2013).

Consideraciones para el diseño mecánico

Para el diseño de la cámara de borurado se consideraron las dimensiones de una mufla de laboratorio comercial marca Nabertherm, modelo L-151H2RN, con el objetivo de satisfacer las necesidades del tratamiento de borurado en un entorno de baja presencia de aire. Se priorizó una fabricación sencilla y el uso de materiales fácilmente disponibles con suficiente resistencia mecánica.

Para elegir el material adecuado se consideraron dos aspectos clave: su capacidad para soportar altas temperaturas y su facilidad de maquinabilidad. El acero AISI 1018, cuenta con una composición química adecuada para este uso, ver Tabla 1, por lo tanto, fue la elección ideal para este propósito.

Tabla 1 Composición química del acero AISI 1018

Composición química del ACERO AISI 1018			
%C	%Mn	%P	%S
0.15-0.20	0.60-0.80	0.040 máx.	0.050 máx.

Diseño mecánico

El diseño mecánico del dispositivo se llevó a cabo empleando el software mecánico SolidWorks®.

En la Figura 3, se muestra el diseño de la cámara de baja presencia de oxígeno, realizado con el software SolidWorks®. Los componentes son los siguientes:

1. Cilindro de la Cámara:

Con un diámetro interior de 40 mm y un espesor de pared de 40 mm necesarios para llevar a cabo el proceso de borurado en muestras de 15 mm de diámetro y 10 mm de espesor.

2. Tapa del cilindro:

La tapa incorpora dos conexiones NPT de 1/4" para facilitar el circuito de conexión de tubería para el gas argón, desplazando el aire hacia una trampa de agua.

3. Extensiones de entrada y salida:

Se diseñaron extensiones con diferentes alturas que permiten estar más cerca del material propiciando así la trayectoria del gas.

4. Mecanismo de acoplamiento:

Para garantizar una conexión segura entre la tapa y el cilindro de la cámara, se diseñó un sencillo mecanismo de tipo abrazadera con los siguientes elementos:

- 4.1. Tuerca
- 4.2. Rondana de presión
- 4.3. Tornillo
- 4.4. Placa superior
- 4.5. Placa inferior

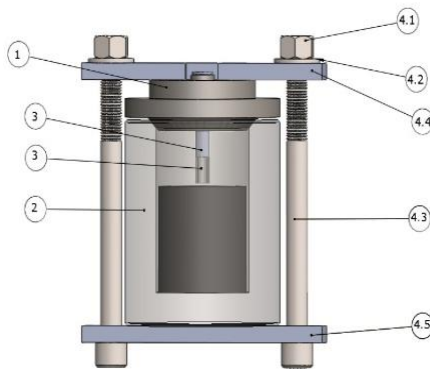


Figura 3 Acoplamiento de la cámara de baja presencia de oxígeno.

Se plantea que la muestra a tratar sea cubierta con polvo de boro en su totalidad dentro del cilindro de grafito, y este sea colocado dentro del cilindro de la cámara, ver Figura 4, para posteriormente ser cerrado por medio del acoplamiento mecánico.

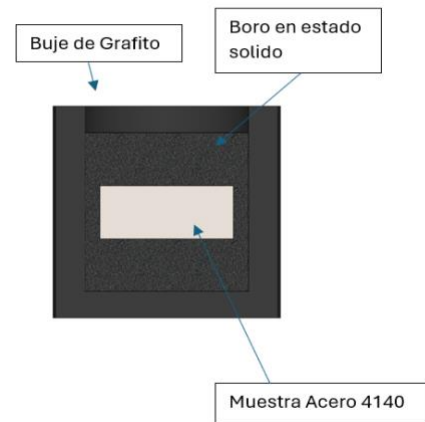


Figura 4 Empaquetamiento de probeta

Consideraciones de la simulación

Hoy en día existe una amplia variedad de programas de diseño mecánico, tal como SolidWorks® (Dassault Systems, 2022), programa utilizado para realizar las simulaciones de tipo CFD (computational fluid dynamic) para observar el comportamiento interno del sistema completo, ver Figura 5, y comprobar de manera teórica la resistencia a presiones de hasta 100 kPa, el proceso de simulación es de gran utilidad para la industria, al punto de ser hoy en día indispensable en la elaboración de cualquier producto (Randy H, 2022).

Actualmente se utiliza SolidWorks® como uno de los principales programas para observar los efectos de las piezas mecánicas cuando son sometidas a diferentes esfuerzos y presiones, (Gutiérrez Villarreal et al., 2024) y son de gran utilidad dentro del área de la ingeniería.

Se definió un flujo de dos litros por minuto de gas argón para purgar la cámara, debido a la diferencia de densidades, se propiciará la expulsión del aire hacia una trampa de agua evitando su retorno.

Simulaciones realizadas

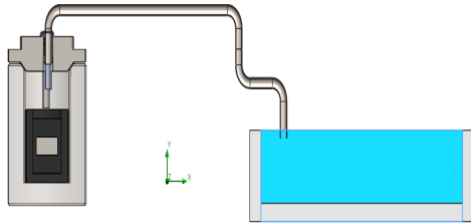


Figura 5 Sistema completo.

En el diseño se consideraron las necesidades del laboratorio para realizar el proceso de borurado en probetas circulares de diferentes metales con dimensiones de 15mm de diámetro por 3mm de espesor.

Los parámetros utilizados en las simulaciones de fluidos son los siguientes: medio litro por minuto de fluido de entrada, un volumen de $41.32 \times 10^{-6} m^3$ del interior de la cámara, y de $20.47 \times 10^{-6} m^3$ del recorrido de la tubería.

Al conocer la cantidad de gas argón que ingresara a la cámara es posible calcular el caudal mediante la conversión de litros por minuto a m^3/s , con la formula siguiente:

$$.5l/min = 8.33 \times 10^{-6} m^3/s \dots\dots(1)$$

Al igual que conoceremos el tiempo necesario para la purga a una temperatura ambiente con la fórmula (2), debido a que se realizará la purga antes de iniciar el tratamiento térmico para garantizar la ausencia de aire.

$$\frac{61.79 \times 10^{-6} m^3}{8.33 \times 10^{-6} m^3/s} = 7.5s \dots\dots(2)$$

Por lo tanto, el tiempo mínimo de purga de la cámara será de 7.5 segundos, para asegurar un total desplazamiento de aire se definió un tiempo de 30 segundos.

Se llevo a cabo una simulación de fluidos para observar el comportamiento de la cámara frente a una exposición de máximo 6 horas de gas argón bajo las condiciones antes mencionadas.

Se seleccionó el sistema internacional de unidades (IPS por sus siglas en inglés) para la simulación del gas dentro del contenedor, por otra parte, se determinó una simulación conocida como de flujo de fluido interno (CFD computational fluid dynamic) en la cámara ya que se desea conocer las presiones de trabajo de la cámara. Se definieron los parámetros de simulación, caudal (2 lm), presión exterior (una atm) y temperatura (25 °C), también las propiedades del gas argón incluidas en el software.

Una vez que el gas y el método de simulación se encuentren definidos, se seleccionó el espacio en el cual se trabajara la simulación, las entradas y salidas del fluido, ver Figura 6, en este caso están situadas en las conexiones de acero inoxidable de 1/4" NPT.

El gas entra con una presión de 101.33 kPa y este llega a la salida con una presión de 101.32 kPa. Ver Figura 6.

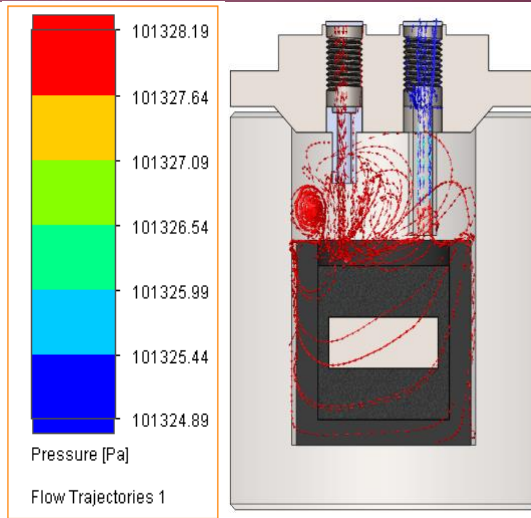


Figura 6 Trayectoria de flujo

Se puede observar que la presión en el recorrido del gas es mayor a la entrada de la cámara ya que se reduce por las pérdidas de fricción entre el gas y las paredes de la cámara, pero se observa que no es una pérdida considerable, solo 10 Pa.

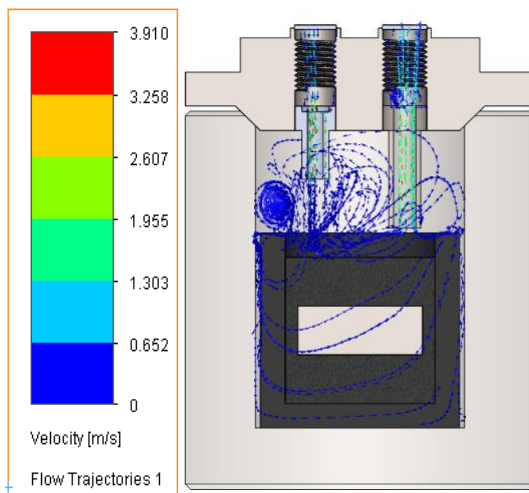


Figura 7 Velocidad de la trayectoria de flujo

El gas argón, debido a su mayor densidad, expulsará el aire sin problemas al purgar la cámara. Los puntos donde el gas puede permanecer inerte están en la parte inferior del recipiente, ver Figura 7, pero esto no generará

obstrucciones, también se observa una disminución de la velocidad del gas a la salida en comparación con la entrada.

Conclusiones

La simulación y el diseño detallado de la cámara para el control de aire que se pretende utilizar en un tratamiento térmico de borurado de aceros son fundamentales para pronosticar un correcto desplazamiento del aire dentro de la cámara, de acuerdo con lo observado en la simulación, es factible realizar procesos de borurado con baja presencia de aire y mejorar las propiedades mecánicas de los aceros sometidos a este tratamiento.

Las simulaciones confirman que las condiciones establecidas son adecuadas para mantener la presión y la integridad del sistema durante el tratamiento.

Bibliografía

- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales 7ª edición*. <http://latinoamerica.cengage.com>
- ASM International. Handbook Committee. (2013). *Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*. (Jon. L. Dossett & George E. Torren, Eds.; 4A ed., Vol. 4A).
- Dassault Systems. (2022). *SolidWorks*.
- Doñu Ruiz, M. A., López Perrusquia, N., Sánchez Huerta, D., Torres San Miguel, C. R., Urriolagoitia Calderón, G. M., Cerillo Moreno, E. A., & Cortes Suarez, J. V. (2015). Growth kinetics of boride coatings formed at the surface AISI M2 during dehydrated paste pack boriding. *Thin Solid Films*, 596, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.07.086>
- Gutiérrez Villarreal, J. M., Luna Bracamontes, A., Sepulveda Romo, A., & Aleman Escobedo, J. F. (2024). Simulación de esfuerzos mecánicos en materiales para la ingeniería. *EPISTEMUS*, 19(36),



e3602314.

<https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i36.314>

- Hernández, T., Gabriela, Y., Morales, H., Gerardo, A., & Torres, A. (2022). Borurado y post-borurado sobre un acero AISI 12L14. *Revista Tendencias En Docencia e Investigación En Química*. <http://revistatediq.azc.uam.mx>Año8
- J. Merced Martinez. (2019). *Energía de activación para la difusión del boro durante la borurización de un acero de bajo carbono*.
- Maya López Angelo Isaí. (2022). *DIFUSIÓN ATÓMICA DE BORO COMO PROTECCIÓN A LA CORROSIÓN Y RENDIMIENTO MECÁNICO DE ACEROS*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Rajan, T. V., Sharma, C. P., & Sharma, A. (2023). *Heat treatment: principles and techniques*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Randy H, S. (2022). *Introduction to Finite Element Analysis Using SOLIDWORKS Simulation*.
- Smith, G. F. (2013). *Principles of Heat Treatment of Steel* (ASM International, Ed.).
- Tarakci, M., Gencer, Y., & Calik, A. (2010). The pack-boronizing of pure vanadium under a controlled atmosphere. *Applied Surface Science*, 256(24), 7612–7618. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.06.013>