

Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
João Henrique de Freitas  
(Organizadores)

# INGENIERÍAS *EN PERSPECTIVA*

ciencia, tecnología e innovación

3

Atena  
Editora  
Año 2024

Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
João Henrique de Freitas  
(Organizadores)

# INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

3

  
Año 2024

**Editora jefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora ejecutiva**

Natalia Oliveira

**Asistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecario**

Janaina Ramos

**Proyecto gráfico**

Camila Alves de Cremona

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imágenes de portada**

iStock

**Edición de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Derechos de autor © Atena Editora

Derechos de autor del texto © 2024

Los autores

Derechos de autor de la edición ©

2024 Atena Editora

Derechos de esta edición concedidos a Atena Editora por los autores.

Publicación de acceso abierto por Atena Editora



Todo el contenido de este libro tiene una licencia de Creative Commons Attribution License. Reconocimiento-No Comercial-No Derivados 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

El contenido de los artículos y sus datos en su forma, corrección y confiabilidad son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan necesariamente la posición oficial de Atena Editora. Se permite descargar la obra y compartirla siempre que se den los créditos a los autores, pero sin posibilidad de alterarla de ninguna forma ni utilizarla con fines comerciales.

Todos los manuscritos fueron previamente sometidos a evaluación ciega por pares, miembros del Consejo Editorial de esta editorial, habiendo sido aprobados para su publicación con base en criterios de neutralidad e imparcialidad académica.

Atena Editora se compromete a garantizar la integridad editorial en todas las etapas del proceso de publicación, evitando plagios, datos o entonces, resultados fraudulentos y evitando que los intereses económicos comprometan los estándares éticos de la publicación. Las situaciones de sospecha de mala conducta científica se investigarán con el más alto nivel de rigor académico y ético.

**Consejo Editorial****Ciencias Exactas y de la Tierra e Ingeniería**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación 3

**Diagramación:** Ellen Andressa Kubisty  
**Corrección:** Maiara Ferreira  
**Indexación:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisión:** Los autores  
**Organizadores:** Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
João Henrique de Freitas

<b>Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)</b>	
l46	<p>Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación 3 / Organizadores Mariana Natale Fiorelli Fabiche, João Henrique de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acceso: World Wide Web Incluye bibliografía ISBN 978-65-258-2842-8 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.428241609">https://doi.org/10.22533/at.ed.428241609</a></p> <p>1. Ingeniería. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizador). II. Freitas, João Henrique de (Organizador). III. Título. CDD 620</p>
<b>Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telephone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Los autores de este trabajo: 1. Certifican que no tienen ningún interés comercial que constituya un conflicto de interés en relación con el artículo científico publicado; 2. Declaran haber participado activamente en la construcción de los respectivos manuscritos, preferentemente en: a) Concepción del estudio, y/o adquisición de datos, y/o análisis e interpretación de datos; b) Elaboración del artículo o revisión para que el material sea intelectualmente relevante; c) Aprobación final del manuscrito para envío; 3. Acreditan que los artículos científicos publicados están completamente libres de datos y/o resultados fraudulentos; 4. Confirmar la cita y la referencia que sean correctas de todos los datos e interpretaciones de datos de otras investigaciones; 5. Reconocen haber informado todas las fuentes de financiamiento recibidas para la realización de la investigación; 6. Autorizar la publicación de la obra, que incluye las fichas del catálogo, ISBN (Número de serie estándar internacional), D.O.I. (Identificador de Objeto Digital) y demás índices, diseño visual y creación de portada, maquetación interior, así como su lanzamiento y difusión según criterio de Atena Editora.

## DECLARACIÓN DEL EDITOR

Atena Editora declara, para todos los efectos legales, que: 1. Esta publicación constituye únicamente una cesión temporal del derecho de autor, derecho de publicación, y no constituye responsabilidad solidaria en la creación de manuscritos publicados, en los términos previstos en la Ley. sobre Derechos de autor (Ley 9610/98), en el artículo 184 del Código Penal y en el art. 927 del Código Civil; 2. Autoriza y estimula a los autores a suscribir contratos con los repositorios institucionales, con el objeto exclusivo de difundir la obra, siempre que cuente con el debido reconocimiento de autoría y edición y sin fines comerciales; 3. Todos los libros electrónicos son de acceso abierto, por lo que no los vende en su sitio web, sitios asociados, plataformas de comercio electrónico o cualquier otro medio virtual o físico, por lo tanto, está exento de transferencias de derechos de autor a los autores; 4. Todos los miembros del consejo editorial son doctores y vinculados a instituciones públicas de educación superior, según recomendación de la CAPES para la obtención del libro Qualis; 5. No transfiere, comercializa ni autoriza el uso de los nombres y correos electrónicos de los autores, así como cualquier otro dato de los mismos, para fines distintos al ámbito de difusión de esta obra.

Bienvenido, amigo lector. Con gran entusiasmo y dedicación, les presentamos la tercera edición de la revista, titulada “Ingenierías en perspectiva: ciencia, tecnología e innovación 3”.

Es una colección contemporánea que aborda trabajos científicos de gran importancia desarrollados en el campo de la ingeniería, con un enfoque en la ciencia, la tecnología y las innovaciones.

La obra está compuesta por cinco capítulos categorizados e interdisciplinarios que disertan sobre diversos temas de actualidad. En esta obra se encuentran varios temas, tales como: el uso de biomasa de cáscara de caña para la eliminación de cromo en solución acuosa; un estudio de comandos de voz denominado Jarvis; estudio estático numérico por elementos finitos de la barra guía en el mecanismo de cierre de una máquina inyectora de polímeros; optimización de sistemas de recuperación de calor; el mercado de equipos de deposición de capas delgadas y sus perspectivas en el mercado internacional. Con un enfoque fácil y objetivo, la obra busca incentivar la divulgación de nuevos trabajos científicos en el ámbito académico y profesional. Además, destaca la importancia de que los autores e investigadores elijan y divulguen sus trabajos a través de plataformas confiables, como Atena Editora. A los autores, les agradecemos la confianza y el espíritu de colaboración. A los lectores, les deseamos una excelente lectura.

João Henrique de Freitas  
Mariana Natale Fiorelli Fabiche

**CAPÍTULO 1 ..... 1**

EL USO DE LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA

Daniela C. Aranda González  
Alejandra C. Hernández Terán  
Adriana Rodríguez Pérez  
Juan Fernando Cárdenas González  
Jose Ismael Acosta Rodríguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4282416091>

**CAPÍTULO 2 ..... 11**

ASISTENTE DE VOZ JARVIS

Mónica Laurent León Juárez  
José Flavio Guillen Vera  
Danna Paola Díaz García  
Víctor Manuel González García  
Sergio Ismael Panti Ordoñez  
José David Guzmán Cruz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4282416092>

**CAPÍTULO 3 ..... 17**

ESTUDIO ESTÁTICO NUMÉRICO POR ELEMENTOS FINITOS DE LA BARRA GUÍA EN EL MECANISMO DE CIERRE DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE POLÍMEROS

Carmona-Hernández, E.E.  
Pascual-Salgado, I.A.  
Lopez-Carrillo, J.E.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4282416093>

**CAPÍTULO 4 .....26**

ESTUDIO DE CASOS: OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR

Marcelo Castelli  
Martín Garmendía  
Manuel Curiel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4282416094>

**CAPÍTULO 5 .....37**

EL MERCADO DE EQUIPOS DE DEPÓSITO DE CAPAS DELGADAS Y SUS PERSPECTIVAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL.

Ricardo Alberto Rodríguez Carvajal  
José Luz Nicacio González Cervantes  
Paula Concepción Isiordia-Lachica  
Pedro Luis López de Alba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4282416095>

**SOBRE LOS ORGANIZADORES .....63**  
**ÍNDICE REMISIVO .....64**

## EL USO DE LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA

*Fecha de aceptación: 02/09/2024*

### **Daniela C. Aranda González**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México

### **Alejandra C. Hernández Terán**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México

### **Adriana Rodríguez Pérez**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
Centro de Investigación y Extensión de la  
Zona Media. El Balandran  
Cd. Fernández, San Luis Potosí  
<https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

### **Juan Fernando Cárdenas González**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.  
Centro de Investigación y Extensión de la  
Zona Media. El Balandran  
Cd. Fernández, San Luis Potosí  
<https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

### **Jose Ismael Acosta Rodríguez**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de San Luis  
Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México  
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de remoción de Cr (VI) por la biomasa de la cascara de caña de azúcar, encontrando que 10 g de la biomasa analizada eliminan el 100 % del metal a las 72 horas, pH 1.0, 28°C y 100 rpm, mientras que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del contaminante a las 2 horas a 60°C, y si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque es más eficiente a 60°C. Si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal. Finalmente, 10 g de biomasa, eliminan el 100% de Cromo (VI) presente en tierra (100 mg/g) y agua (100 mg/L) contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C,

**PALABRAS CLAVE:** Cromo (VI), caña de azúcar, biorremediación, aguas residuales.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to determine the Cr (VI) removal capacity of sugar cane husk biomass, finding that 10 g of the biomass analyzed removes 100 % of the metal after 72 hours, pH 1.0, 28°C and 100 rpm, while at higher temperatures the removal is greater, since 100% of the contaminant is removed after 2 hours at

60°C, and if the metal concentration is increased (200-1000 mg/L), there are no significant differences in the removal of the same, although it is more efficient at 60°C. If the concentration of the bioadsorbent is increased, the removal of the metal increases. Finally, 10 g of biomass removal 100% of the metal present in soil (100 mg/g) and water (100 mg/L) contaminated naturally, in 4 and 12 days of incubation to 28°C.

**KEYWORDS:** Chromium (VI), sugar cane, bioremediation, wastewater.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido a las actividades mineras, industriales, urbanas y de fundición, uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación por metales pesados de las fuentes hídricas alrededor del mundo, pues debido a su toxicidad y efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el medio ambiente, se consideran un grave problema para los habitantes de las localidades que se abastecen de agua contaminada, y considerando que el aumento de la concentración de estos metales en las diferentes fuentes hídricas, es consecuencia de las diversas actividades antropogénicas, que son el sostén de la vida humana, ocasionando graves problemas económicos, tanto a nivel local como nacional por el incremento de los costos de los tratamientos médicos y disminución de la productividad de los habitantes de las zonas contaminadas (Ida y Thorin, 2021). Lo anterior, conlleva una gran cantidad de problemas en la vida del planeta, ya que se acumulan en las plantas, y son depositados en el suelo y transportados hasta dichas plantas, por ríos contaminados, provocando diferentes efectos como: disminución del crecimiento o amarillamiento de las hojas (clorosis). Además de ser muy peligrosos para la vida humana, donde los efectos pueden ser erupciones en la piel, malestar estomacal y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmunológico, daños en los riñones y el hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso central y periférico, e incluso la muerte (Razzak et al., 2022).

Por lo tanto, es de suma importancia encontrar métodos más eficientes para la retención y extracción de metales pesados de lugares contaminados y/o reducir su toxicidad para garantizar la preservación de los ecosistemas y la vida humana. Entre los diferentes métodos existentes para el control de metales pesados se han reportado: precipitación, óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membranas y recuperación por evaporación, adsorción y bioadsorción, y algunos metales pesados que se consideran peligrosos son: plomo, cobalto, estaño, hierro, cadmio, mercurio, cromo, vanadio, entre otros (Zaynab et al., 2022).

Por otra parte, el cromo hexavalente, también conocido como cromo (VI) ( $\text{Cr}^{6+}$ ), es la forma tóxica del metal, mientras que algunas formas menos tóxicas de éste se encuentran de forma natural en el medio ambiente (suelo, rocas, polvo, plantas y animales), y se produce principalmente por procesos industriales (Sharma et al., 2022). La inhalación de este metal puede provocar cáncer y efectos no cancerígenos para la salud. Efectos

cancerígenos: Respirar cromo (VI) durante un período prolongado aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y nasal, mientras que los efectos no cancerígenos, como respirar cromo (VI) a altos niveles a lo largo del tiempo, pueden causar o empeorar ciertas afecciones de salud, entre ellas: Irritación de la nariz, la garganta y los pulmones (secreción nasal, tos), síntomas de alergia (sibilancia, falta de aire), llagas nasales y niveles muy altos en el aire en los lugares de trabajo pueden provocar la perforación de la membrana que separa las fosas nasales. Además, cada vez se reconoce más como un neurotóxico (Sharma et al., 2022).

Por otro lado, se han estudiado diferentes materiales como potenciales biosorbentes para eliminar metales pesados y otros contaminantes. Esos materiales incluyen microorganismos, como bacterias, hongos, algas, desechos orgánicos y material lignocelulósico (Boakye et al., 2022), como: las biomásas de *Mentha piperita* (González Padilla et al., 2024), tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Huerta Velázquez et al., 2024), cáscara de sandía (*Citrus lanatus*) (García Luis, et. al., 2023) y la cascara de toronja (*Citrus Paradise*) (Rodríguez Pérez et al., 2024) para la remoción de cromo (VI) en solución, con resultados altamente satisfactorios. También, se ha reportado la remoción de plomo (II) y mercurio por bagazo de caña de azúcar (Trujillo del Bossque et al., 2021; Sánchez Silva, 2020). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Bioadsorbente

La cáscara de caña de azúcar (*S. officinarum*), se obtuvo a partir de caña comercial obtenida de diferentes vendedores ambulantes de la zona centro de la ciudad capital San Luis Potosí, S.L.P., México, en el mes de julio del 2023. Para la obtención de la biomasa, la cáscara de caña se lavó durante 24 horas con EDTA (10% p/v), el cual sirve como agente quelante con el fin de eliminar metales contaminantes, después se lavó con agua tridesionizada por una semana con cambios de agua cada 12 horas, y se calentó a ebullición por una hora, y posteriormente se secó en estufa a 80°C por 3 días, se molió en licuadora y se guardaron en envases de vidrio ambar a temperatura ambiente hasta su uso.

## MÉTODOS

### Soluciones de Cromo (VI)

Se utilizó una solución de 200 mL de cromo (VI) con una concentración de 100 mg/L, obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L, preparada en agua tridesionizada, a partir de dicromato de potasio. De acuerdo con el pH empleado para cada prueba, éste se modificó con soluciones de NaOH y/o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, antes de adicionarla a la biomasa.

## Determinación de remoción de Cromo (VI) en distintas condiciones

De la biomasa a analizar, se pesaron 10 g y se añadieron a matraces Erlenmeyer de 500 mL y posteriormente se mezclaron con 200 mL de una solución del metal [100 mg/L de cromo (VI)], se incubaron a una temperatura de 28°C con agitación constante (100 rpm) bajo diferentes condiciones de pH (1.0, 2.0, 3.0 y 4.0), temperatura (28°C, 40°C, 50°C y 60°C), concentración de cromo (VI) (200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L y 1000 mg/L) y diferentes concentraciones de biomasa (1 g, 5 g y 10 g), y de la misma manera se determinó la remoción del metal a partir de agua y tierra contaminadas.

Posteriormente, a diferentes tiempos de incubación, se tomaron alícuotas de 5 mL, removiendo la biomasa por centrifugación a 3 000 rpm (10 min) y al sobrenadante se le determinó la concentración de cromo (VI) en solución, utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida, que determina la cantidad del metal presente en solución por medio de la producción de una coloración rosa violeta, las muestras se leyeron por duplicado en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm (Greenberg et al., 1992). Todos los experimentos se realizaron mínimo 2 veces y por duplicado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto del tiempo de incubación y pH

El tiempo óptimo para la eliminación de 100 mg/L del metal fue de 72 horas, pH 1.0, con 10 g/200 mL del bioadsorbente a 28°C y 100 rpm (Figura 1).

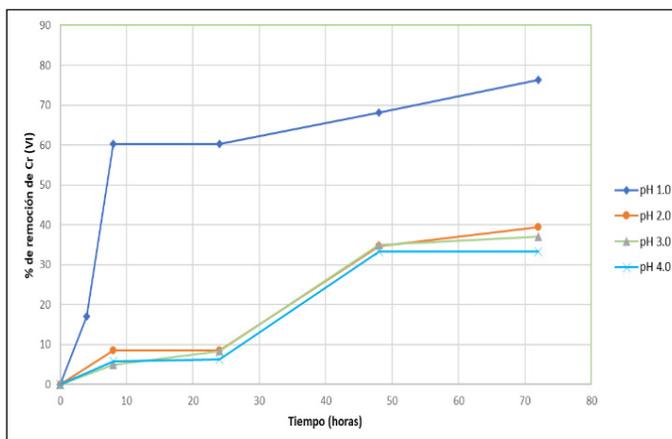


Figura. 1. Efecto del tiempo de incubación y pH sobre la remoción de cromo (VI) en solución. 100 mg/L Cr (VI), 100 rpm, 28°C, 10 g biomasa.

## Efecto de la temperatura de incubación

En relación con la temperatura, se observó que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del contaminante a las 2 horas a 60°C, mientras que a 28°C, la mayor remoción se observa a las 72 horas. (Fig. 2)

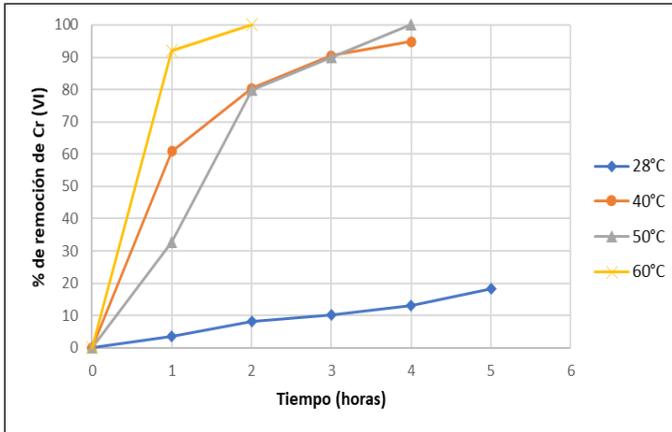


Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de cromo (VI). 100 mg/L Cr (VI). pH 1.0. 100 rpm. 10 g de biomasa. 5 h.

## Efecto de la concentración inicial del metal sobre la adsorción del mismo.

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones del metal en solución, sobre la remoción del mismo, a pH 1.0 con 10 g de biomasa, a 28°C y 60°C y 100 rpm, se observó que si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque hay mayor eliminación a 60°C, pues el metal se remueve a las 2 horas, mientras que a 28°C, es mayor el tiempo de incubación (48 horas) (Figs. 3 y 4).

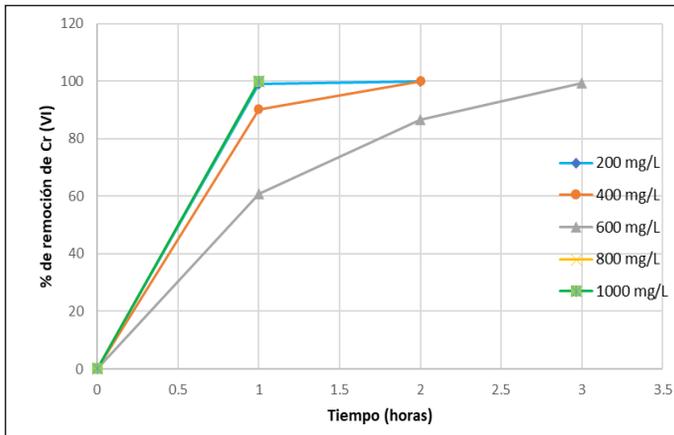


Figura 3.- Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo. 10 g de biomasa. 100 rpm, pH 1.0. 60°C.

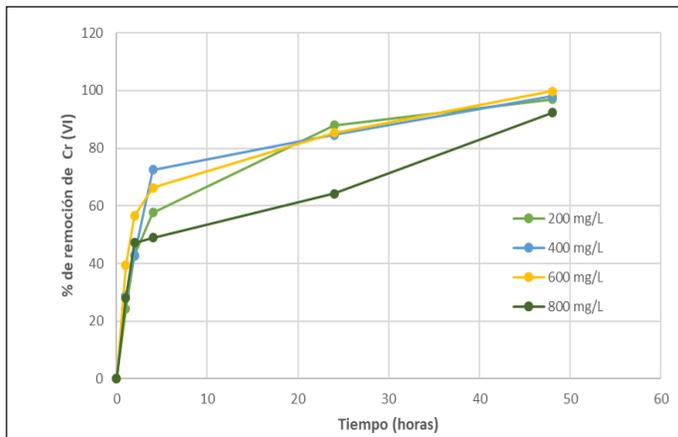


Figura 4.- Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo. 10 g de biomasa. 100 rpm, pH 1.0. 28°C.

### Efecto de la concentración del bioadsorbente

En la figura 5, se muestra el efecto de la concentración inicial de la biomasa sobre la remoción del metal, encontrando que, si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal, pues con 10 g de biomasa, se observa una eliminación total del metal a las 72 horas, mientras que con 1 g de biomasa se obtiene un 60% de remoción en el mismo tiempo de incubación.

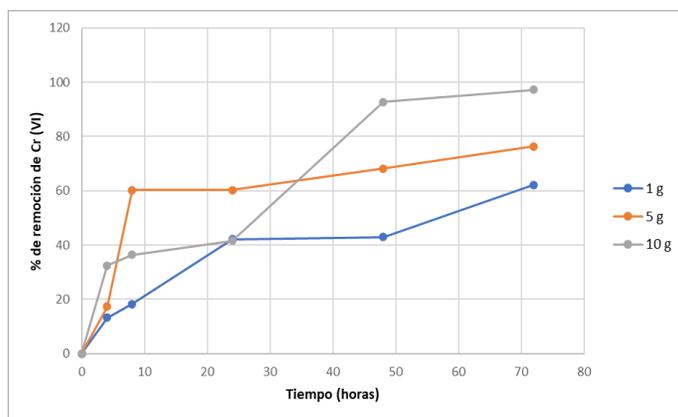


Figura 5.- Efecto de la concentración del bioadsorbente sobre la remoción de cromo (VI). 100 rpm, pH 1.0. 28°C.

## Remoción de Cromo (VI) a partir de residuos industriales contaminados

Se realizó un ensayo de biorremediación de cromo (VI), a partir de agua y suelo contaminados con 100 mg/g de tierra y 100 mg/L de agua contaminada (ambos ajustados), a partir de muestras obtenidas de una tenería de Celaya, Gto, México, utilizando 10 g de la biomasa a analizar, observando que la biomasa elimina el 100% de cromo (VI) presente en tierra y agua contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C (Figuras 6 y 7).

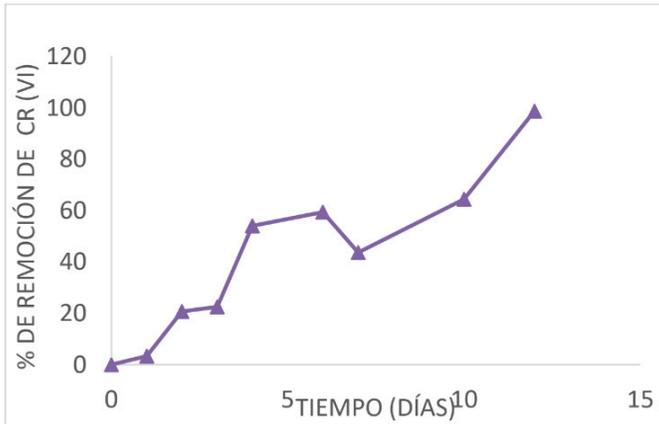


Figure 6. Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 10 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 190 mL de agua contaminada (100 mg Cr (VI)/L, ajustado, pH 6.8).

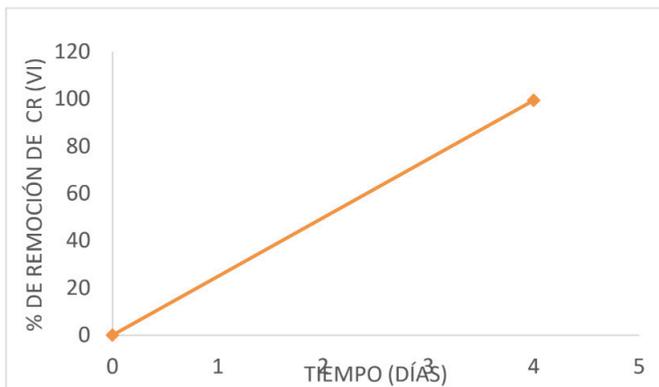


Figure 7. Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 10 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 180 mL de agua tridesionizada, 10 g de tierra contaminada (100 mg Cr (VI)/g suelo, ajustado, pH 7.2).

Finalmente, en la tabla 1, se muestran los porcentajes de adsorción de Cromo (VI) utilizando diferentes bioadsorbentes.

Adsorbente	pH	Capacidad de adsorción (mg/L)	Referencia
<i>Avena sativa</i>	1.0	100	Pacheco <i>et al.</i> , 2017
<i>Dioscorea rotundata</i>	2.0	325.88	Villabona <i>et al.</i> , 2022
<i>Emblica Officinalis</i>	2.0-3.0	416	Kushwah & Chakra-Borty, 2021
<i>Oriza sativa</i> L.	5.2	94.3	Khalil <i>et al.</i> , 2021
<i>Allium cepa</i> L.	1.0	49	Prokopov <i>et al.</i> , 2021
<i>Oriza sativa</i> L.	1.0	50	Rodríguez-Pérez <i>et al.</i> 2022
<i>Heinsia crinita</i>	2.0	49.45	Dawodu <i>et al.</i> , 2020
<i>Pisum sativum</i>	2.0	5	Kebede <i>et al.</i> , 2022
<i>Eichhornia crasipes</i>	1.5	2.5	Ardila-Arias <i>et al.</i> , 2022
<i>Nicotiana tabacum</i>	2.0	72	Huerta Velázquez <i>et al.</i> , 2024
<i>Saccharum officinarum</i>	1.0	100	Este trabajo

Tabla 1. Comparación de los porcentajes de remoción de Cromo (VI) con otros bioadsorbentes

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo, sugieren la potencial aplicabilidad de esta biomasa para la remoción de éste y otros metales pesados de aguas residuales. Sin embargo, la capacidad de remoción puede verse afectada por altas concentraciones de los mismos contaminantes, disminuyendo la capacidad de remoción de dichas biomásas, aunque, actualmente, el uso de biomásas muertas, es una gran alternativa para tratar de eliminar los metales pesados de los diferentes sitios contaminados. Actualmente, el uso de biomásas naturales vivas y/o muertas, ésta es una gran alternativa para tratar de eliminarlos, debido a su bajo costo, gran capacidad de adsorción, fácil accesibilidad y su producción en grandes cantidades.

También, se ha reportado, que la biomasa de *S. officinarum* puede acumular eficientemente diferentes metales pesados (Trujillo del Bosque *et al.*, 2021; Sánchez Silva, 2020), pero, hay pocos reportes relacionados con la remoción de contaminantes ambientales por esta biomasa, por lo cual este trabajo es relevante para estudios posteriores para eliminar y mejorar la capacidad de remoción de esta biomasa natural.

## CONCLUSIONES

La biomasa de la cascara de *S. officinarum*, mostró una buena capacidad de remoción del metal analizado en las condiciones descritas, lo cual sugiere su potencial aplicación para la biorremediación de sitios contaminados con este metal.

## REFERENCES

- Ardila-Arias A.N., Arriola-Villaseñor E., Álvarez-González W., Hernández-Maldonado J.A. & Barrera-Zapata R. 2022. Aprovechamiento de residuos de *Eichhornia crasipes* para la remoción de Cr (VI) en Aguas simuladas. Revista Politécnica.18(35): 71-83. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a5>
- Boakye P., Ohemeng-Boahen G., Darkwah L, Sokama-Neuyam Y.A., Appiah-Effah E., Oduro-Kwarteng S., Osei B.A., Asilevi P.J. & Woo S.H. 2022. Waste Biomass and Biomaterials Adsorbents for Wastewater Treatment. Green Energy and Environmental Technology. 2022(0): 1–25. <https://doi.org/10.5772/geet.05>
- Dawodu F.A., Akpan B.M. & Akpomie K.G. 2020. Sequestered capture and desorption of hexavalent chromium from solution and textile wastewater onto low cost *Heinsia crinita* seed coat biomass. Applied Water Science. 10(1):1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1114-6>
- García Luis, M.F., Ramos Arteaga, A., Sánchez Lucio, L.S., Rodríguez Pérez, A., Cárdenas González, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2023. Remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de sandía (*Citrus lanatus*). Sociedad Química de México. 255-259. ISSN: 2448-914X. Versión digital. [www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx).
- González Padilla, M.J., Martínez Rodríguez, C.M., Contreras Briones, D., Navarro Castillo, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2024. Removal of chromium (VI) in solution by the *Mentha piperita* biomass. Journal of Multidisciplinary and Environmental Science and Technology. (JMEST). Vol. 11, No. 11. pp. 16522-16527. January 31. ISSN: 2458-9403. JMESTN42354307. [www.jmest.org](http://www.jmest.org)
- Greenberg A.E., Clesceri L.S. & Eaton A.D. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 18th edition. 3.58-3.60.
- Gupta B., Mishra A., Singh R. & Thakur I.S. 2021. Fabrication of calcite based biocomposites for catalytic removal of heavy metals from electroplating industrial effluent. Environmental Technology Innovation. 21(101278). 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101278>
- Huerta-Velázquez, C.C., Cruz-García, K.B. & Acosta-Rodríguez, I. 2024. Usefulness of the Biomass of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) for The Elimination of Chromium (VI) from Polluted Waters. Universal Journal of Green Chemistry. Vol. 2, No. 1. pp. 1-10. 21/02/2024. DOI: <https://doi.org/10.37256/ujgc.2120242220>. <https://ojs.wiserpub.com/index.php/UJGC/>
- Ida S. & Eva, T. 2021. Removal of Heavy Metals during Primary Treatment of Municipal Wastewater and Possibilities of Enhanced Removal: A Review. Water. 13 (1121): 1-26. <https://doi.org/10.3390/w13081121>
- Kebede A., Kedir K., Melak F. & Girma-Asere T. 2022. Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Biowastes: Tella Residue and Pea (*Pisum sativum*) Seed Shell. Hindawi Scientific World Journal. Vol. 2022, Article ID 7554133, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2022/7554133>

Khalil U., Shakoor M.B., Ali, S., Ahmad S.R., Rizwan M., Alsahli A.A. & Alyemeni M.N. 2021. Selective Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater by Rice Husk: Kinetic, Isotherm and Spectroscopic Investigation. *Water* 13(263): 1-12. [https://doi.org/ 10.3390/w13030263](https://doi.org/10.3390/w13030263)

Kushwaha P. & Chakraborty, S. 2021. Removal of Cr(VI) from Synthetic Wastewater by Low Cost Adsorbent Developed from Amla Wood Sawdust (*Emblca officinalis*). *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 10(02): 246-248. <http://www.ijert.org>

Pacheco-Castillo N.C., Cárdenas-González J.F., Moctezuma-Zárate M.G., Martínez-Juárez V.M., Rodríguez-Pérez A. & Acosta Rodríguez I. 2017. Removal of chromium (VI) in aqueous solution by oat biomass (*Avena sativa*). *Mexican Journal of Biotechnology*. 2(2): 196-205. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.2.196>

Prokopov T., Nikolova M., Taneva D. & Petkova N. 2022. Removal of Chromium (VI) from aqueous solution by extracted onion processing waste. *Studii și Cercetări Științifice Chimie și Inginerie Chimică, Biotehnologii, Industrie Alimentară*. 22(4): 399-410. ISSN 1582-540X

Razzak S.A., Faruque M.O., Alsheikh Z., Alsheikhmohamad L., Alkuroud D., Alfayez A., Zakir-Hossain S.M., Mohammad M. & Hossain M.M. 2022. A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. *Environmental Advances*. 7(1001689): 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168>

Rodríguez-Pérez A., Pacheco-Castillo N., Tovar-Oviedo J., Martínez-Juárez V.M., Acosta-Rodríguez I., Muñoz-Morales A. & Cárdenas-González J.F. 2022. Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa modificada de la cáscara de arroz (*Oriza sativa* L.). *Tecnología y Ciencias del Agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 13(3): 478-502. DOI: 10.24850/j-tyca-2022-03-10.

Sanchez-Silva, J.M., González-Estrada, R.R., Blancas-Benitez, F.J. & Fonseca-Cantabrana, A. 2020. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23: 1-18, <https://doi.org/10.22201/fez.23958723e.2020.0.261>

Sharma P., Pratap-Singh S., Kishor-Parakh S. & Wah-Tong Y. 2022. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*, 13(3): 4923-4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>

Trujillo del Bosque, A., Dopico Ramírez, D, León Fernández, V. & Díaz López, C. 2021. Remoción de PB (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente. *Revista Cubana de Química*. 1-15.

Villabona-Ortíz A., González-Delgado Á. & Tejada-Tovar C. 2022. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Chromium (VI) Adsorption on Inert Biomasses of *Dioscorea rotundata* and *Elaeis guineensis*. *Water*. 14(844): 1-15. <https://doi.org/10.3390/w14060844>

Zaynab M., Al-Yahyai R., Ameen A., Sharif Y., Ali L., Fatima M., Ali-Khan K. & Li S. 2022. Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University–Science*. 34(101653): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653>

# ASISTENTE DE VOZ JARVIS

---

*Fecha de aceptación: 02/09/2024*

**Mónica Laurent León Juárez**  
Chiapas, México

**José Flavio Guillen Vera**  
Chiapas, México

**Danna Paola Díaz García**  
Chiapas, México

**Víctor Manuel González García**  
Chiapas, México

**Sergio Ismael Panti Ordoñez**  
Chiapas, México

**José David Guzmán Cruz**  
Chiapas, México

**RESUMEN:** El proyecto del asistente de voz llamado Jarvis es una iniciativa que busca desarrollar un sistema de inteligencia artificial que brinde asistencia y automatización en diversas tareas cotidianas a través de comandos de voz. El objetivo principal de Jarvis es facilitar la interacción con dispositivos tecnológicos, proporcionar información útil, realizar acciones específicas y mejorar la eficiencia en la ejecución de tareas. Este proyecto implica la integración de tecnologías como

reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje natural y automatización de procesos para crear un asistente personalizado y versátil. Jarvis representa un avance significativo en la implementación de sistemas de asistencia virtual que pueden adaptarse a las necesidades y preferencias de los usuarios, brindando una experiencia interactiva y personalizada en el uso de la tecnología.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema, automatización, artificial, asistente, voz.

**ABSTRACT:** In a scenario marked by constant technological evolution and the growing demand for innovative solutions, the Jarvis voice assistant project stands as an outstanding example of the convergence between artificial intelligence and everyday life. Jarvis represents a tool in the integration of technology into daily life, offering a personalized and accessible approach to interact with information, automate tasks and simplify activity management. In an increasingly interconnected world, the need to have intelligent tools that support the completion of tasks, the organization of information and the optimization of time becomes prevalent. Jarvis arises in response to this challenge, combining cutting-edge

technologies such as voice recognition and natural language processing to establish a fluid and effective dialogue with users. This project not only represents a breakthrough in terms of artificial intelligence and automation, but also embodies the vision of a future where interaction with technology becomes an intuitive, enriching and personalized experience. Throughout this exploration, you delve into the fascinating universe of Jarvis, a voice assistant that promises to transform the relationship with technology and open new possibilities in daily life.

**KEYWORDS:** System, automation, artificial, assistant, voice.

## INTRODUCCIÓN

En un escenario marcado por la constante evolución tecnológica y la creciente demanda de soluciones innovadoras, el proyecto del asistente de voz Jarvis se erige como un ejemplo destacado de la convergencia entre la inteligencia artificial y la vida cotidiana. Jarvis representa una herramienta en la integración de la tecnología en la vida diaria, ofreciendo un enfoque personalizado y accesible para interactuar con la información, automatizar tareas y simplificar la gestión de actividades.

En un mundo cada vez más interconectado, la necesidad de contar con herramientas inteligentes que apoyen en la realización de tareas, la organización de la información y la optimización del tiempo se vuelve imperante. Jarvis surge como respuesta a este desafío, combinando tecnologías de vanguardia como el reconocimiento de voz y el procesamiento de lenguaje natural para establecer un diálogo fluido y eficaz con los usuarios.

Este proyecto no solo representa un avance en términos de inteligencia artificial y automatización, sino que también encarna la visión de un futuro donde la interacción con la tecnología se convierte en una experiencia intuitiva, enriquecedora y personalizada. A lo largo de esta exploración, se adentra en el fascinante universo de Jarvis, un asistente de voz que promete transformar la relación con la tecnología y abrir nuevas posibilidades en la vida diaria.

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

**Investigación y Análisis:** Investigación de Tecnologías: Se realiza una investigación exhaustiva de las tecnologías de reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje natural y automatización de tareas disponibles en el mercado. Análisis de Necesidades: Se identifican las necesidades y requerimientos de los usuarios finales para definir las funcionalidades y características clave del asistente de voz Jarvis.

**Diseño y Desarrollo:** Diseño de la Arquitectura: Se define la arquitectura del sistema de asistente de voz, incluyendo los componentes de reconocimiento de voz, procesamiento de lenguaje natural y ejecución de tareas. Desarrollo del Software: Se implementa el software del asistente de voz Jarvis, integrando algoritmos de inteligencia artificial para el reconocimiento de voz, análisis de intenciones y ejecución de acciones.

**Entrenamiento y Pruebas:** Entrenamiento del Modelo: Se entrena el modelo de procesamiento de lenguaje natural con datos etiquetados para mejorar la comprensión de los comandos de voz. Pruebas de Funcionalidad: Se realizan pruebas exhaustivas para verificar la precisión del reconocimiento de voz, la corrección en las respuestas y la eficiencia en la ejecución de tareas.

**Implementación y Optimización:** Implementación del Asistente: Se despliega el asistente de voz Jarvis en dispositivos compatibles, para su uso en entornos reales. Optimización Continua: Se realizan ajustes y mejoras para los usuarios y optimizar la experiencia de interacción y la efectividad del asistente de voz.

Este método de desarrollo del proyecto del asistente de voz Jarvis se enfoca en la investigación, diseño, desarrollo, entrenamiento y optimización de un sistema de inteligencia artificial avanzado para brindar asistencia y automatización a través de comandos de voz. La implementación de este enfoque permitirá la creación de un asistente de voz versátil, interactivo y personalizado para mejorar la experiencia de los usuarios en su día a día.



Figura 1. Configuración de Jarvis.

Gastos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Total
<b>Horas de programación</b>	16 hrs X \$80 \$1280	\$6400				
<b>API KEY</b>	\$0	\$ 0	\$0	\$80	\$0	\$80
<b>Protoboard</b>	\$0	\$0	\$0	\$60	\$0	\$60
<b>Arduino uno</b>	\$0	\$0	\$0	\$250	\$0	\$250
<b>LED de 5 mm ultrabrillante</b>	\$0	\$0	\$0	\$10	\$0	\$10
<b>Cables Dupont Macho – Macho</b>	\$0	\$0	\$0	\$34	\$0	\$34
<b>Motor de corriente continua</b>	\$0	\$0	\$0	\$150	\$0	\$150

Cuadro 1. Total, de gastos durante los primeros meses de 2024.

## COMENTARIOS FINALES

### Resumen de resultados

El proyecto Jarvis es un sistema de asistente de voz diseñado para proporcionar ayuda y realizar tareas específicas a través de comandos de voz. Utilizando tecnologías de inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural, Jarvis puede realizar una variedad de funciones, desde responder preguntas simples hasta controlar dispositivos domésticos inteligentes y automatizar tareas rutinarias.

Los resultados del proyecto Jarvis han demostrado una mejora significativa en la eficiencia y la comodidad. Control de dispositivos inteligentes: Integrado con dispositivos domésticos inteligentes, Jarvis permite controlar luces, termostatos, cerraduras y otros dispositivos mediante comandos de voz, lo que proporciona comodidad y eficiencia en el hogar.

Acceso a información: Jarvis puede proporcionar respuestas instantáneas a preguntas sobre noticias, clima, información local, traducciones y mucho más, convirtiéndose en una fuente rápida y conveniente de información para el usuario.

Asistencia personalizada: Con capacidades de aprendizaje continuo, Jarvis puede adaptarse a las preferencias y necesidades del usuario, ofreciendo recomendaciones personalizadas, recordatorios o sugerencias basadas en el historial de interacciones.

En resumen, el proyecto Jarvis ha demostrado ser una herramienta poderosa y versátil que mejora la productividad, la conveniencia y la experiencia del usuario al proporcionar asistencia por voz en una variedad de situaciones y entornos.

## CONCLUSIONES

Es indispensable que se reconozca el impacto significativo que el proyecto de asistente de voz, Jarvis, ha tenido en la vida diaria. Con su capacidad para automatizar tareas, proporcionar respuestas instantáneas y adaptarse a las necesidades individuales, Jarvis se ha convertido en una herramienta invaluable que mejora la eficiencia y comodidad. Su capacidad para controlar dispositivos domésticos inteligentes y ofrecer asistencia personalizada ha simplificado las rutinas diarias de manera notable. En conclusión, el proyecto Jarvis representa un paso crucial hacia un futuro donde la tecnología de asistente de voz juega un papel central en la vida de las personas, facilitando las actividades diarias y mejorando la calidad de vida de manera significativa.

## RECOMENDACIONES

**Dispositivo Compatible:** Un dispositivo compatible con el asistente de voz Jarvis, como un altavoz inteligente, smartphone, tablet u otro dispositivo con capacidad para ejecutar la aplicación del asistente.

**Conexión a Internet:** Acceso a una conexión a Internet estable y de alta velocidad para permitir la comunicación y la transferencia de datos entre el asistente de voz Jarvis y los servidores donde se procesan las solicitudes.

**Actualizaciones y Mantenimiento:** Mantener la aplicación del asistente de voz Jarvis actualizada mediante la instalación de las últimas versiones y parches de software para garantizar un funcionamiento óptimo y acceder a nuevas funcionalidades y mejoras.

**Mejora continua del reconocimiento de voz:** Se recomienda continuar mejorando la precisión y la capacidad de reconocimiento de voz de Jarvis para garantizar una interacción más fluida y precisa con los usuarios.

**Ampliar la integración con dispositivos inteligentes:** Para mejorar la experiencia del usuario, se sugiere ampliar la compatibilidad de Jarvis con una variedad de dispositivos domésticos inteligentes, permitiendo un control más completo del entorno del hogar.

**Personalización avanzada:** Se recomienda explorar opciones para ofrecer una personalización más avanzada, como la capacidad de aprender y adaptarse a las preferencias individuales de los usuarios de manera más efectiva.

**Mejorar la capacidad de respuesta y la velocidad:** Para garantizar una experiencia de usuario óptima, es importante mejorar la capacidad de respuesta y la velocidad de procesamiento de Jarvis, permitiendo respuestas más rápidas y una interacción más fluida.

## REFERENCIAS

¿Qué es un asistente de voz? (s. f.). Botpress.com. Recuperado 14 de mayo de 2024, de <https://botpress.com/es/blog/voice-assistant>

Todas las claves sobre los asistentes de voz. (2022, August 11). Santander.com; Santander Bank. <https://www.santander.com/es/stories/todas-las-claves-sobre-los-asistentes-de-voz>

¿Qué es un asistente de voz? (n.d.). Jbl.Com. Retrieved May 14, 2024, from <https://support.jbl.com/es/es/howto/jbl-live-what-is-a-voice-assistant-emea/000028492.html>

D'Addario, M. (2017). Domótica: Tratados, instalaciones y ejercicios. Createspace Independent Publishing Platform.

Fernández, D. O. (2024). Disrupcion Empresarial con Inteligencia Artificial: La Incesante Transformación Cognitiva. Independently published.

Torreblanca, J. M. (2015). Domotica para ingenieros. Ediciones Paraninfo, S.A.

# ESTUDIO ESTÁTICO NUMÉRICO POR ELEMENTOS FINITOS DE LA BARRA GUÍA EN EL MECANISMO DE CIERRE DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE POLÍMEROS

*Fecha de aceptación: 02/09/2024*

### **Carmona-Hernández, E.E.**

Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica  
y Eléctrica, Sección de Estudios de  
Posgrado e Investigación  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos

### **Pascual-Salgado, I.A.**

Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica  
y Eléctrica, Sección de Estudios de  
Posgrado e Investigación  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos

### **Lopez-Carrillo, J.E.**

Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica  
y Eléctrica, Sección de Estudios de  
Posgrado e Investigación  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos

permitirán evaluar la adecuación del diseño actual y proponer mejoras que conduzcan a una mayor eficiencia y durabilidad del sistema. Esta investigación se enmarca dentro del campo de la ingeniería mecánica y contribuye al avance del conocimiento en el área de simulación numérica aplicada a componentes críticos de maquinaria industrial.

## **DESCRIPCIÓN DE LA COLUMNA O BARRA GUÍA**

Una de las partes fundamentales de la unidad de cierre de una máquina de inyección de plástico son las columnas guía, éstas proporcionan a la platina móvil la estabilidad y soporte para ejercer determinada fuerza de cierre o sujeción sobre un molde de inyección [1].

Las columnas guía se diseñan a fin de resistir las cargas estáticas generadas por la presión de la cavidad del molde en el momento de inyección y llenado, así como las fuerzas dinámicas resultantes de los movimientos de apertura y cierre del molde de una pieza plástica fabricada por este método

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo aborda el análisis estructural de una barra guía empleada en máquinas de inyección de polímeros. Mediante la simulación numérica por Elementos Finitos, se pretende caracterizar el comportamiento mecánico del componente bajo cargas estáticas. Los resultados obtenidos

Por lo general, estas columnas o barras tienen estructura cilíndrica o prismática [2] y en los extremos una sección roscada (Figura 1), son fabricadas en acero de alta resistencia con una superficie lisa para permitir un deslizamiento suave de la platina móvil para garantizar su durabilidad y evitar el desgaste prematuro.

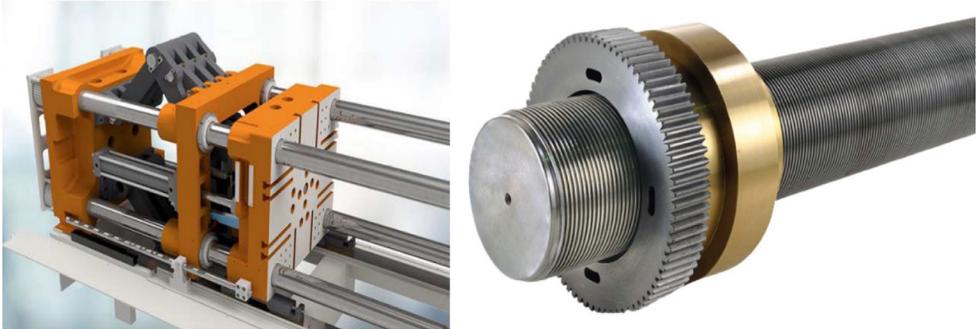


Figura 1.-unidad de cierre y columnas guía de una máquina de inyección.

## IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS ESTÁTICO

El análisis estático es indispensable en el diseño de una columna guía de una máquina de inyección de plástico, éste permite evaluar y calcular los esfuerzos y deformaciones que experimentará la columna bajo determinadas cargas y condiciones de frontera (Figura 2). Con los resultados mostrados se puede determinar si la columna es lo suficientemente resistente y estable para soportar las fuerzas y garantizar la seguridad estructural de la máquina [3-5].



Figura 2.- análisis y falla de una columna guía de una máquina de inyección.

## PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS ESTÁTICO

A continuación, se desarrolla un estudio exhaustivo para caracterizar la resistencia de la columna guía. Inicialmente, se definen las condiciones de frontera y carga, considerando un espectro completo de sollicitaciones que puedan incidir en el comportamiento estructural.

### Carga y condiciones de contorno

La carga y las condiciones de contorno son aspectos fundamentales en el análisis estático. La carga se refiere a las fuerzas externas que actúan sobre la columna, como las fuerzas aplicadas durante el proceso de inyección de plástico, específicamente la fuerza de cierre que ejerce el sistema mecánico de rodillera. Por otro lado, las condiciones de contorno se refieren a las restricciones o apoyos en los extremos de la columna. Estas condiciones deben ser modeladas de manera precisa para simular correctamente el comportamiento de la columna en su entorno de trabajo. Para ejemplificar de manera visual estas fuerzas se puede hacer uso de un diagrama de cuerpo libre o DCL (Figura 3)

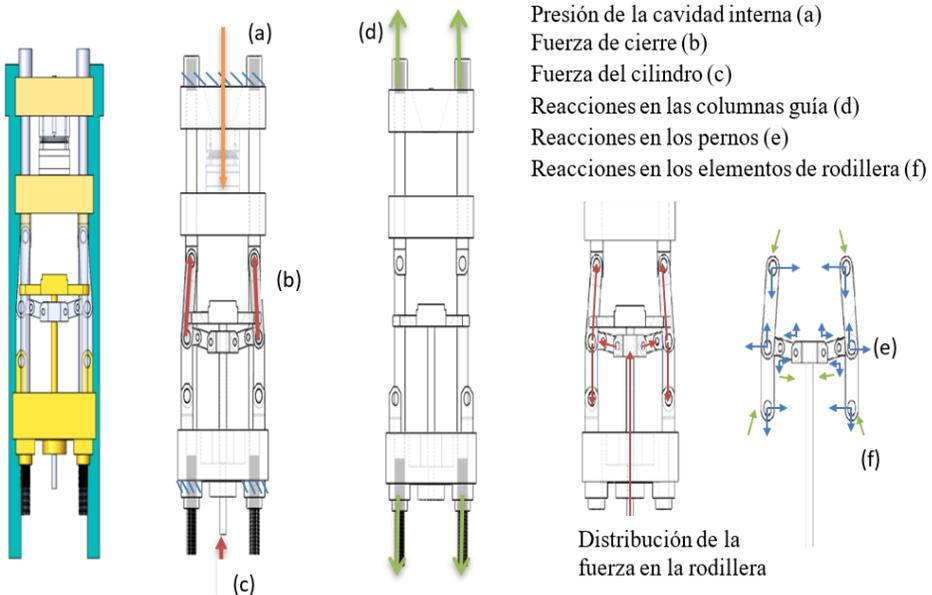


Figura 3.- Fuerzas que se presentan en el sistema de cierre de platinas y columnas guía de una máquina de inyección.

Las condiciones de trabajo y de frontera son las siguientes:

- Máquina de inyección de plástico de la marca REED Prentice Modelo 1985 de 100 toneladas de fuerza de cierre
- Presión en la cavidad interna del molde 55 MPa
- Fuerza de cierre total 1000 kN (1000 000 N)
- Fuerza de cierre aplicada en la columna guía 250 kN (250 000 N)
- Las columnas guía se unen a las platina fija y posterior por medio de tuercas, para simplificar el análisis se omite la cuerda de las mismas a fin de no utilizar mucho recurso computacional y demore el análisis en su solución. En este sentido se restringe el movimiento de la platina fija
- Las dimensiones de la columna guía son: longitud de 170 cm (1 700 mm) y 7.5 cm (75mm) de diámetro.
- El discretizado se realiza de 5 mm de tamaño para cada elemento.

Así mismo, las propiedades mecánicas del material son:

- Material de fabricación de las barras Acero de alta resistencia
- Densidad 7.80 g/cm<sup>3</sup>
- Módulo de Young 190 000 MPa
- Relación de Poisson 0.28
- Esfuerzo de cedencia 545 MPa

## **Modelado de la columna guía**

Posteriormente, se construye un modelo numérico detallado empleando software especializado en análisis estructural, donde se discretiza la geometría y se asignan las propiedades materiales correspondientes. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza un software de modelado y simulación por elementos finitos. Durante el modelado, se generan las mallas o discretizados que representan de manera precisa la geometría de la columna guía. Estas mallas permiten calcular los esfuerzos y deformaciones en diferentes puntos de la columna (Figuras 4 y 5).

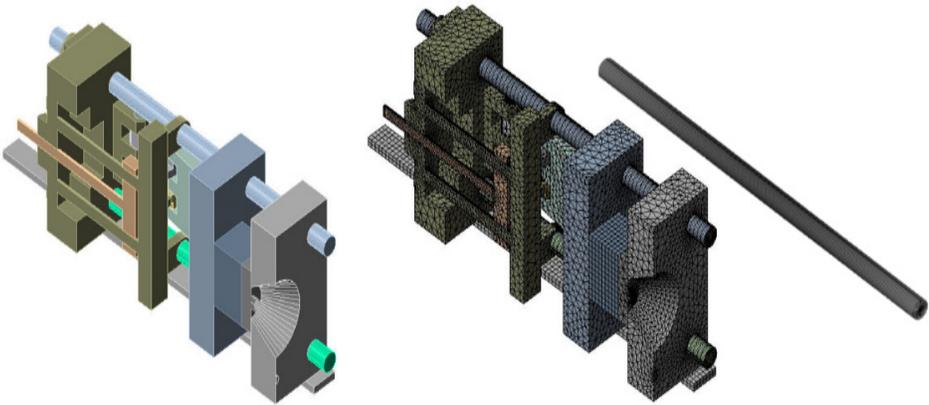


Figura 4.- Modelado y discretizado de la unidad de cierre y la columna guía para el análisis numérico

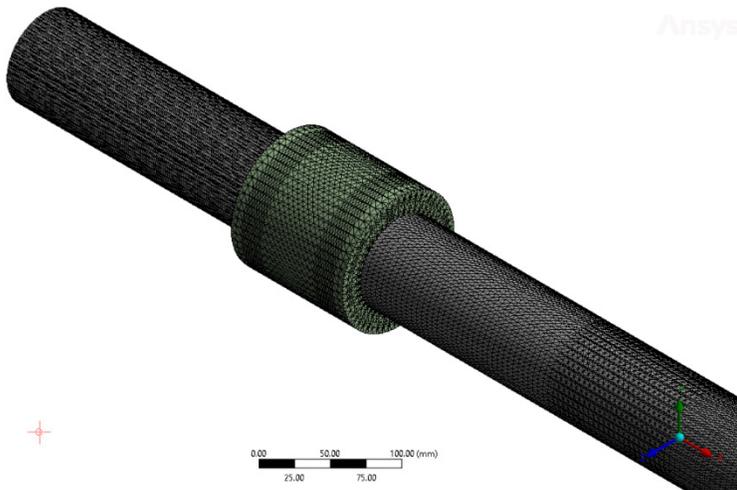


Figura 5.- Modelado y discretizado de la columna guía para en detalle.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados mostrados por el programa (Figuras 6 a 11) para este ejercicio se solicitan el desplazamiento total, la deformación unitaria elástica, los esfuerzos normales en los ejes X, Y, Z, y el esfuerzo máximo principal.

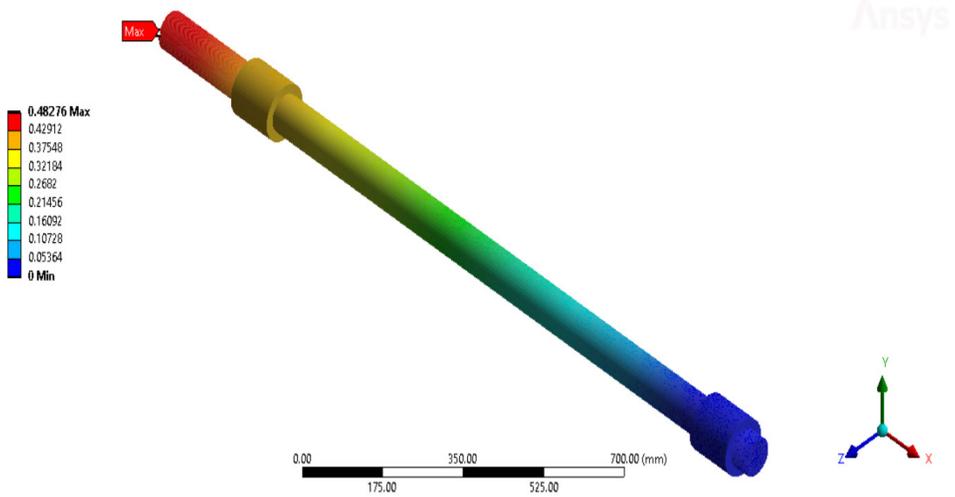


Figura 6.- Desplazamiento total de la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en mm)

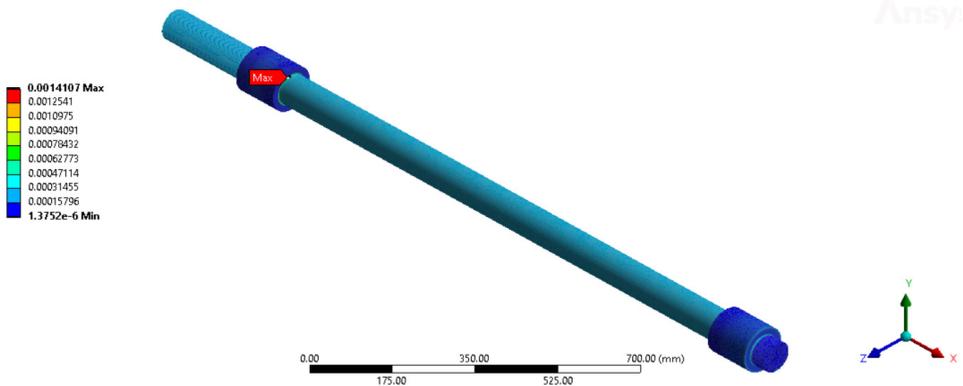


Figura 7.- Deformación unitaria elástica de la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en mm/mm)

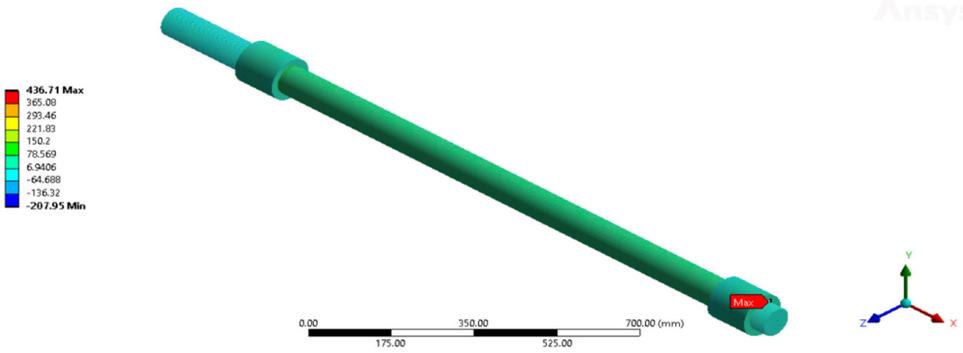


Figura 8.- Esfuerzo normal en el eje X presentado en la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en MPa)

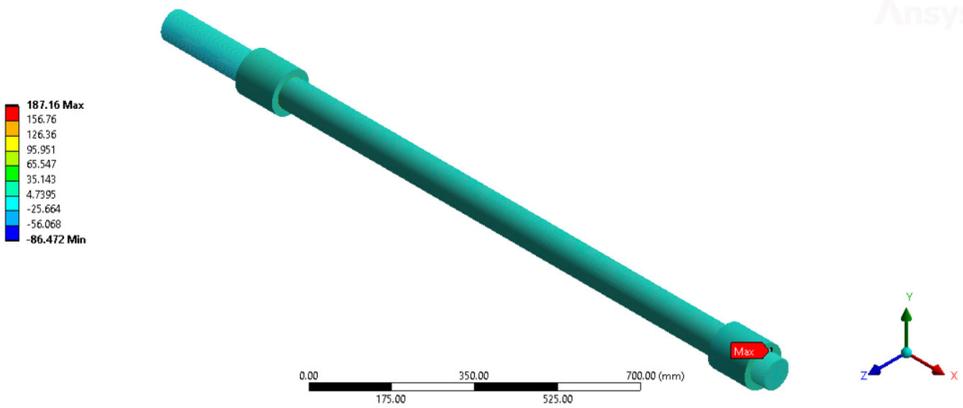


Figura 9.- Esfuerzo normal en el eje Y presentado en la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en MPa)

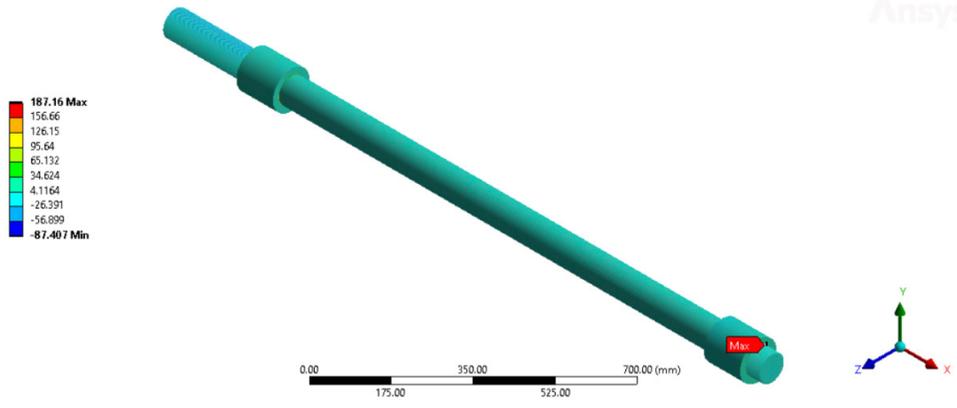


Figura 10.- Esfuerzo normal en el eje Z presentado en la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en MPa)

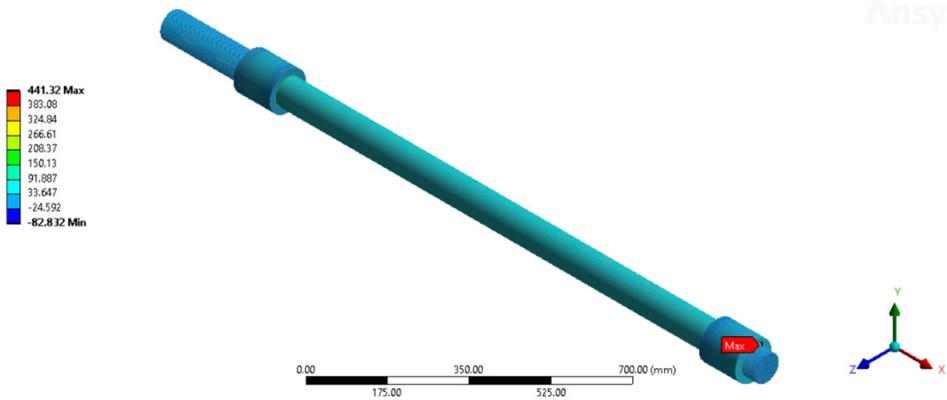


Figura 11.- Esfuerzo Máximo Principal presentado en la barra guía de acuerdo a las condiciones planteadas (unidades en MPa)

Los resultados del análisis permiten entender el comportamiento de la columna guía, mediante éstos se identifican áreas de concentración de esfuerzos, lo que ayuda a determinar los requisitos de seguridad y resistencia necesarios de la columna guía. En la tabla 1 se resumen los resultados:

Resultado	Magnitud		Unidades
	Máx.	Mín.	
Desplazamiento total	0.4827	0	mm
Deformación unitaria Elástica Total	0.0014	1.375 x10 <sup>-6</sup>	mm/mm
Esfuerzo Normal en el eje X	436.71	-207.95	MPa
Esfuerzo Normal en el eje Y	187.16	-86.472	
Esfuerzo Normal en el eje Z	187.16	-87.497	
Esfuerzo Máximo Principal	441.32	-82.832	MPa

Tabla 1.- Resumen de resultados mostrados por el software CAE

## CONCLUSIONES

Una vez terminado el estudio estático de la columna guía de la unidad de cierre de la máquina de inyección de plástico por el programa, se desprenden las siguientes conclusiones:

Los esfuerzos generados por la carga de tensión se localizan en los extremos roscados de la columna y son menores que el esfuerzo de cedencia del material de fabricación (que es de 345 MPa).

Las deformaciones obtenidas son aceptables y no representan un riesgo para la integridad de la columna guía puesto que se encuentran dentro de la zona elástica del material.

La columna o barra guía al momento de la inyección sufre un desplazamiento menor de 1 mm, lo cual es mínimo comparado con su longitud total de 1 700 mm

## TRABAJOS FUTUROS Y LIMITACIONES

Se propone realizar análisis con cargas dinámicas y de fatiga para este elemento a fin de determinar un tiempo de vida útil complementarios como trabajos futuros.

Las limitaciones para esta investigación se centran en las condiciones de frontera y cargas aplicadas, si bien este análisis puede ser replicado en cuanto al procedimiento, los resultados mostrarán una variación significativa incluso si se realiza a máquinas de características similares, quedando así bajo criterio de los responsables de llevarlo a cabo.

## REFERENCIAS

1. Fisher, J.M., Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage, Elsevier, 2a edición, 2013
2. Rosato, D.V., Rosato, D. V., Rosato, M. G., Injection Molding Handbook, Springer Science +Business Media, LLC, 3a edición, 2000.
3. Huang, M.-S., Nian, S.-C., Chen, J.-Y., y Lin, C.-Y., Influence of clamping force on tie-bar elongation, mold separation, and part dimensions in injection molding. *Precision Engineering*, 51, 647-658.
4. Jian-Yu, CH., Jia-Xiang, Z., Ming-Shyan, H., Monitoring, prediction and control of injection molding quality based on tie bar elongation, *Journal of Manufacturing Processes* 46 (2019) 159–169
5. Zhiqiang He, Fugang Zhai, Yin Zhang, Weibo Wang, Dong Li, Ningdi Zhu, Jianbo Ruan, Research on dynamics model of the motion clamping mechanism in injection molding machines addressing inertia and deformation, *Journal of Manufacturing Processes* 119 (2024) 987–1004

# ESTUDIO DE CASOS: OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR

*Fecha de aceptación: 02/09/2024*

### **Marcelo Castelli**

Doctor en Ingeniería Industrial por la Universidad de Navarra, Ingeniero Industrial por la Universidad de Montevideo. Marcelo es director de MCT Ingeniería Ltda, empresa líder en proyectos de eficiencia y ahorro de energía en Uruguay, y a su vez se desempeña como coordinador de proyectos de investigación y desarrollo en la Universidad de Montevideo

### **Martín Garmendía**

Ingeniero Industrial por la Universidad de la República. Es director fundador de MCT Ingeniería Ltda, empresa líder en proyectos de eficiencia y ahorro de energía en Uruguay. Ha sido docente universitario de las disciplinas Energía y Proyecto Final de Carrera en la Universidad de Montevideo

### **Manuel Curiel**

Master of Science por Northeastern University, Boston, USA e Ingeniero Industrial por la Universidad de Montevideo. Es ingeniero en MCT Ingeniería Ltda, empresa líder en proyectos de eficiencia y ahorro de energía en Uruguay

**RESUMEN:** El presente artículo presenta distintos casos prácticos de aprovechamiento de calores residuales de proceso. Se describe la metodología práctica de definición de oportunidades de ahorro, la generación de líneas de base e indicadores de desempeño que permitan evaluar el nivel de ahorro en el tiempo. Se presentan dos ejemplos prácticos en distintos sectores. En cada caso se presenta la metodología de trabajo, la definición de la línea de base de consumo, los indicadores de desempeño desarrollados y su seguimiento, así como también la forma de cálculo de los ahorros. Finalmente, se presentan los ahorros obtenidos, los niveles de inversión realizados y los períodos de repago.

**PALABRAS CLAVE:** recuperación de calor, calor residual, eficiencia energética, servicios energéticos.

## **INTRODUCCIÓN**

Existen diversos factores que definen la ejecución de proyectos dentro de las organizaciones. Desde una metodología elaborada y clara de detección de puntos de mejora, hasta ideas erráticas provenientes de los más distintos ámbitos. Esto sucede tanto en las pequeñas

organizaciones como en las más grandes estructuras. Los proyectos de ahorro y eficiencia energética en general, y el aprovechamiento de calor residual de procesos en particular, no es ajeno a estos enfoques tan dispares. Sin prejuicio de lo que suceda en otros ámbitos, en estos casos si es necesaria la correcta aplicación de una metodología para el abordaje de la problemática planteada, con el fin de viabilizar y llevar a la práctica de forma eficiente lo proyectado, con el fin de lograr de forma sostenida los ahorros proyectados.

En este artículo se presenta una metodología de abordaje de estos proyectos, apoyada en ejemplos prácticos, con el fin de describir de forma clara el proceso de ejecución de estos proyectos, las distintas barreras que existen a la hora de ponerlos en práctica y la forma de medir los resultados de los mismos.

Para esto se utilizarán dos ejemplos de proyectos exitosamente ejecutados, por un lado la implementación de una bomba de calor en un aeropuerto, extrayendo calor del área de free shop del aeropuerto y volcándolo al circuito de agua caliente para acondicionamiento de las distintas áreas del local en media estación e invierno, y por otro lado, el aprovechamiento de energía residual en una industria frigorífica, proveniente del calor vertido a la atmósfera a través del ciclo de refrigeración. Si bien son dos ejemplos de ámbitos muy distintos, la metodología de abordaje es similar.

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **Identificación de proyectos de mejora**

Como se mencionó anteriormente, la identificación de los proyectos de mejora puede tener distintos orígenes, desde un enfoque energético, una de las formas de abordar el problema es a partir de la realización de una auditoría inicial, la cual puede ser global de la planta o instalación a estudio o bien particular para un sistema o conjunto de sistemas aislados.

En los casos que se recogen en el presente artículo, se realiza para el caso de la industria frigorífica un abordaje del sistema de generación de vapor y frío del proceso productivo y en el caso de la instalación del aeropuerto, se estudian en particular los sistemas de frío/calor del edificio.

En cualquier caso, con el fin de generar una línea de base de consumos confiable, es necesario contar con datos precisos respecto a consumos de energía y variables dependientes que afecten a esos consumos.

Este punto suele ser el más complejo de abordar, debido a que se requiere información confiable y de calidad adecuada para definir las líneas de base que permitirán determinar qué proyectos pueden llevarse adelante y cuales se deben descartar.

En los casos de aprovechamiento calores residuales, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Necesidades térmicas de las instalaciones/procesos: esto refiere a qué tipo de calor requiere el proceso, por ejemplo, si necesitamos acondicionar un ambiente en invierno se debe tener en cuenta a qué temperatura se debe acondicionar y qué volumen de aire. Generalmente, si es necesario acondicionar aire a 20-24C, se podrá utilizar agua caliente a 50-55C. Sin embargo, si deseamos utilizar aire caliente para el secado de algún producto a, por ejemplo, 130-140C, seguramente necesitemos generar vapor a 8-10barg con el fin de obtener esas temperaturas de aire de proceso.
2. Fuentes de calor residual: por otro lado, debemos evaluar si es posible utilizar parte de los calores residuales del proceso como fuentes de calor para los sistemas de ahorro. De ser posible esta utilización, se incrementará notoriamente el rendimiento respecto a utilizar únicamente un equipo de mayor eficiencia que el existente. A su vez, se debe estudiar la simultaneidad del calor residual con la necesidad de calor, y, por último, se deben tener en cuenta las ubicaciones de las fuentes de calor y los lugares de uso.

Luego de conocer los consumos de energía de las instalaciones, identificadas las necesidades térmicas de los procesos/instalaciones y las fuentes de calor residuales que podamos utilizar, es posible definir los posibles proyectos de ahorro.

### **Planteo y priorización de proyectos de mejora.**

A la hora de plantear y priorizar los proyectos de mejora, es aconsejable tener en cuenta ciertos puntos:

1. Nivel de ahorro generado por el proyecto.
2. Dificultad de implementación del proyecto.
3. Capacidad de medición de parámetros para cálculo del ahorro generado.
4. Nivel de inversión/financiamiento requerido para la ejecución del proyecto.

La priorización de uno de estos puntos respecto a los otros dependerá de múltiples factores, por lo cual sería incorrecto anteponer uno a otro.

### **Implementación de proyectos y cálculo de ahorros.**

A la hora de implementar los proyectos y posteriormente cuando se deben calcular los ahorros devenidos de las instalaciones realizadas, es deseable (aunque no siempre técnica o económicamente viable), tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Capacidad y facilidad de retorno a la situación previa.

Es bueno contar con la capacidad de retorno del sistema a la situación previa a la implementación del proyecto de ahorro, con el fin de no entorpecer la operativa normal de la instalación por un lado (ante cualquier posible fallo en operación), y no generar rechazo al nuevo sistema por posibles fallas de ajuste en el startup por otro.

## 2. Equipos de respaldo.

También es deseable que existan equipos de respaldo dentro de la nueva instalación, siempre y cuando los períodos de repago no se disparen, que permitan operar de forma eficiente la nueva instalación propuesta.

## 3. Cálculo de ahorros

De ser posible, y el proyecto lo amerite, es deseable la utilización de un protocolo de medida y verificación para la definición de la línea de base y el cálculo de los ahorros, validado por los distintos involucrados en el proyecto.

## EJEMPLOS DE PROYECTOS IMPLEMENTADOS

### Incorporación de bomba de calor en aeropuerto

Existen instalaciones, las cuales cuentan con necesidades de calor y frío durante todo el año. En estos casos, es una buena práctica, siempre y cuando los niveles de temperatura requeridos lo permitan, la utilización de un equipo tipo bomba de calor, que sea capaz de suministrar el calor (total o parcialmente) y el frío (también total o parcialmente) a la instalación.

El siguiente esquema resume el funcionamiento del sistema en las distintas estaciones, previo a la incorporación de la medida de ahorro;

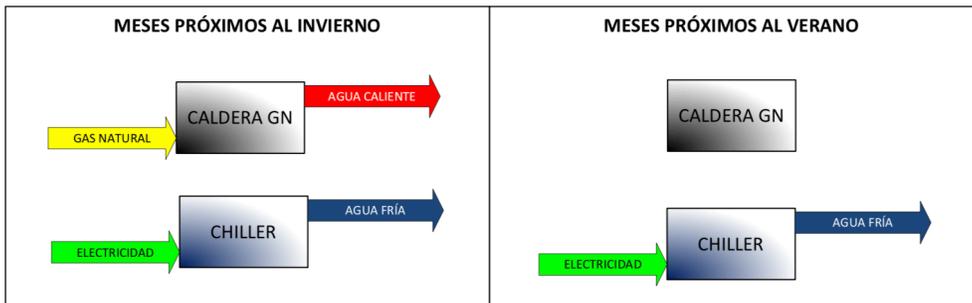


Figura 1. Operación del sistema previo a la ejecución del proyecto.

Para la generación de agua caliente, se utiliza una caldera a gas natural, con las siguientes características:

Potencia térmica: 1.165kW

Eficiencia máxima: 92%

Los consumos de gas natural de dos años se presentan a continuación:

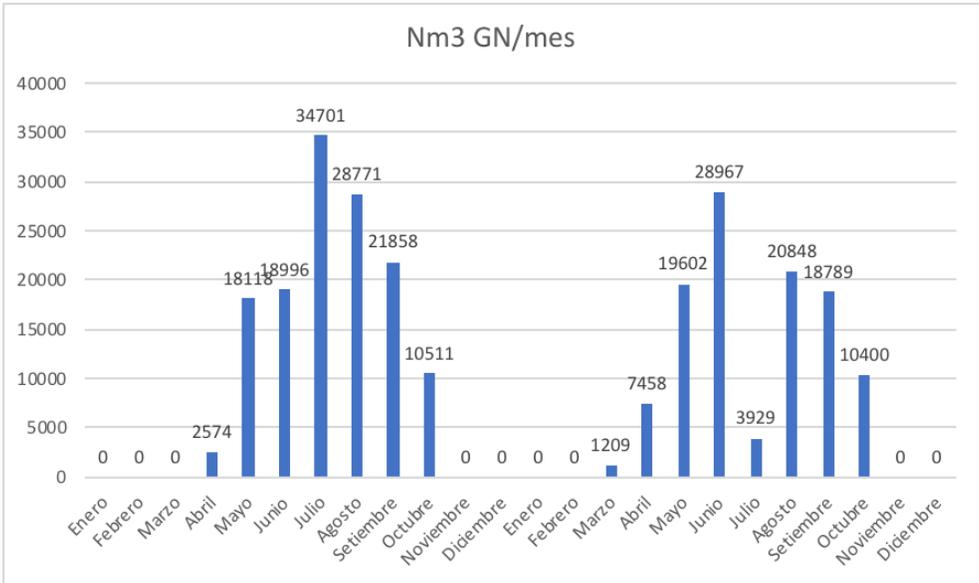


Figura 2. Consumos de gas natural para dos años consecutivos.

Para la generación de agua fría, se cuenta con dos chiller de 750TR de capacidad cada uno.

Con los datos recabados, teniendo en cuenta los costos de gas natural y la eficiencia de generación de agua caliente, se dimensiona el nuevo sistema priorizando la sustitución del sistema de generación de agua caliente.

Por lo tanto, el nuevo esquema de operación es el siguiente:



Figura 3. Esquema de operación luego de la ejecución del proyecto.

De acuerdo a la instalación relevada, las características de los equipos a instalar, de acuerdo a los datos obtenidos del software del fabricante, son las siguientes:

- Cantidad de unidades : 2
- Compresores : 5 reciprocantes / unidad
- Refrigerante : R134a
- Consumo : 133 kW / unidad
- Capacidad de calor : 361 kW / unidad
- Capacidad de frío : 228 kW / unidad

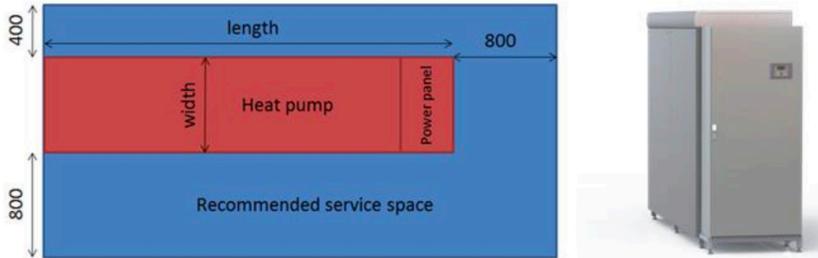


Figura 4. Especificaciones de los equipos a instalar.

En este caso, es de vital importancia tener presente la simultaneidad de operación de los sistemas de frío/calor para una correcta operación del sistema y el balance requerido entre los mismos. Con este fin, se han instalado sistemas redundantes de generación de agua caliente y de simulación de carga térmica del lado frío, con el fin de mejorar las condiciones de operación de las bombas de calor en todo momento.

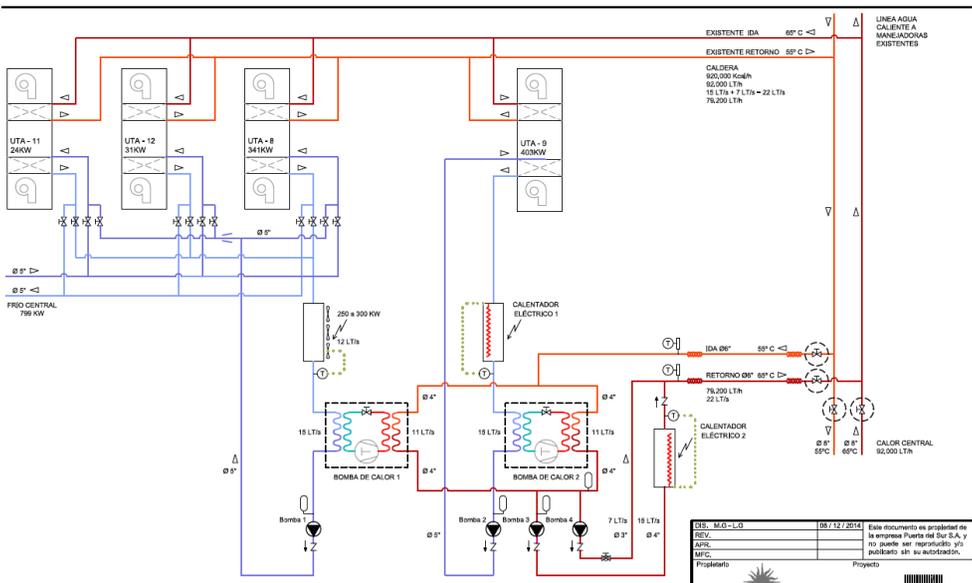


Figura 5. Incorporación de los equipos en la instalación existente.

Tal como se observa en la Figura 5, se ha instalado del lado frío de la bomba de calor 1, un fancoil de 300kW de potencia, con el fin de extraer calor del aire ambiente (colocado en los ductos generales de extracción de aire del edificio) y dos calentadores eléctricos de 300kW cada uno, uno del lado caliente y otro del lado frío de la bomba de calor 2.

Con estas redundancias, se asegura la correcta operación del sistema en todas las horas del año, si bien no maximizando el ahorro en toda condición, si permitiendo mantener las condiciones de confort en todo momento, con distintos niveles de ahorro, en función de los distintos equipos que se encuentren operando de forma simultánea.

En la condición de diseño del sistema, se envía agua fría a las UTAs (Unidades de Tratamiento de Aire) que lo requieren, el retorno de agua fría pasa por los evaporadores de las bombas de calor, generando del otro lado agua caliente, que se envía a todo el circuito de agua caliente del aeropuerto. Si los consumos de frío y calor no se encuentran debidamente equilibrados, los sistemas de apoyo actúan de forma escalonada, con el fin de mantener las condiciones de confort definidas.

Para el cálculo de ahorros del proyecto, se miden los consumos de energía eléctrica de las bombas de calor, los calentadores eléctricos de agua caliente, y el fan coil. A su vez, se miden las temperaturas de entrada y salida de agua fría y caliente de la bomba de calor, y las temperaturas de entrada y salida de agua fría al fan coil.

Para calcular el ahorro de gas natural, se determina el aporte de calor al sistema a partir de las temperaturas de entrada y salida de agua caliente a las bombas de calor y el caudal de agua caliente (el cual es casi constante en el circuito cerrado). Posteriormente, se calcula cuál hubiese sido el gasto de gas natural con el sistema antiguo y su rendimiento, y se le resta el gasto de energía eléctrica, tanto de las bombas de calor como de los calentadores eléctricos.

Por otro lado, para el cálculo del ahorro en el chiller, se toman las temperaturas de entrada y salida del agua fría de la bomba de calor del lado del evaporador, conjuntamente con el caudal de agua fría, restando el calor aportado por el fan coil a partir de los datos de temperatura a la entrada y salida del fancoil. Esto se compara con el rendimiento del chiller (que los meses de invierno a baja carga, cuenta con un COP de 1,7), con el fin de obtener de esta forma el ahorro de energía eléctrica en el sistema de enfriamiento.

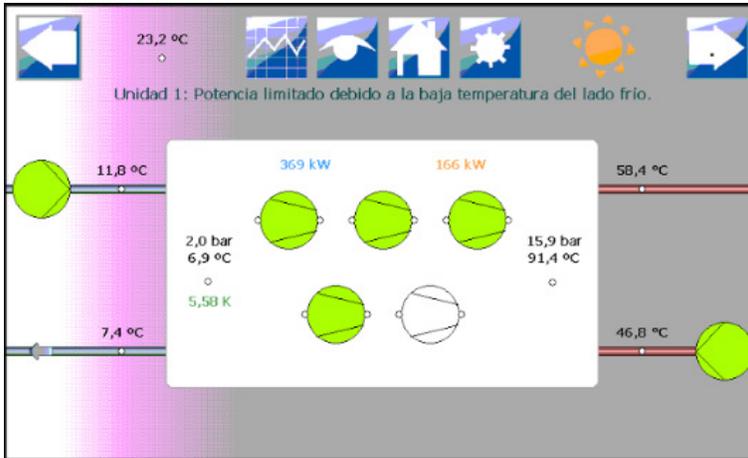


Figura 6. Funcionamiento de los equipos

A partir de la instalación de la bomba de calor se elimina el consumo de 24.500 Nm<sup>3</sup> de gas natural promedio mensual en los meses de uso, sustituyéndolo por 87.000kWh de energía eléctrica. Esto implica un ahorro mensual de promedio de USD 17.800.

Por otro lado, el uso de las bombas de calor permite el apagado del chiller en los meses del invierno), repercutiendo en un ahorro de energía eléctrica de USD16.500 mensuales. Considerando ambos aspectos, el ahorro total es de USD 190.000 anuales

El costo de las bombas de calor con sus periféricos e instalación ha ascendido a un total de USD 447.000. En las condiciones anteriores el repago simple de la inversión es de 2,4 años

## Recuperación de calor en Industria Frigorífica

En la totalidad de las industrias frigoríficas, se vierte a la atmósfera el calor extraído de la carne a través de un ciclo de refrigeración.

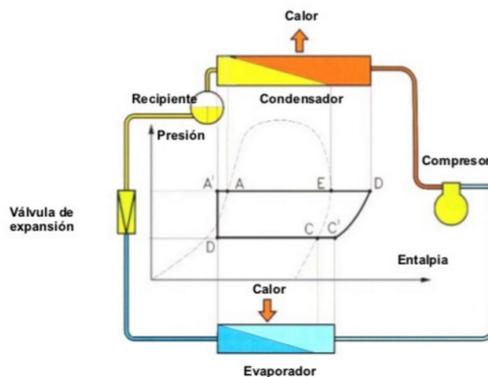


Figura 7. Ciclo de frío convencional

Por otro lado, se utiliza vapor para el calentamiento de agua, a través de una caldera e intercambiador.

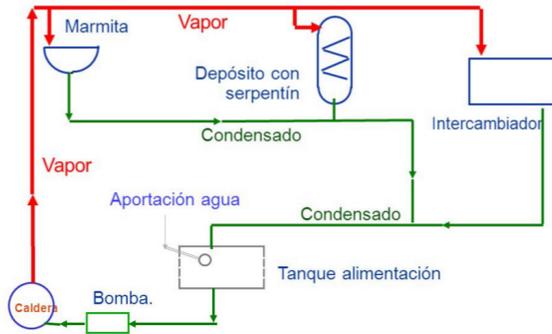


Figura 8. Generación de agua caliente a partir de vapor

En este caso de estudio en particular, los consumos de leña para generación de vapor ascienden a 20ton/día, con un costo asociado de USD 70/ton de leña, y un rendimiento del sistema generador de vapor/intercambiador de calor, del 82%, lo que implica un costo del millón de kCal, de USD 43/MkCal.

Existe un potencial de ahorro importante, a partir de conjugar los dos sistemas, con el fin de utilizar el calor volcado al ambiente por los condensadores, para el calentamiento de agua en un equipo de mucha mayor eficiencia (bomba de calor) que el utilizado actualmente para la generación de agua caliente:

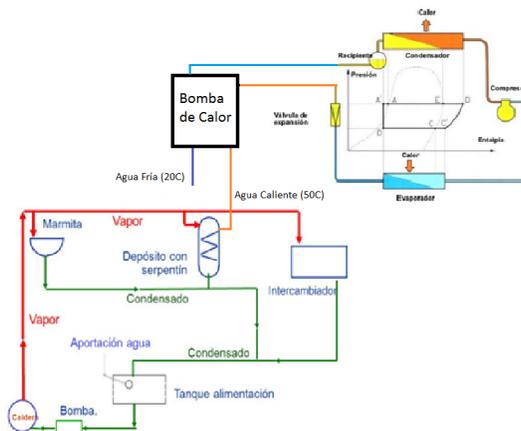


Figura 9. Combinación de ambos procesos.

Si bien la energía eléctrica que alimenta la bomba de calor tiene un costo mayor que la leña utilizada en la caldera (comparando los costos de los energéticos únicamente), la diferencia de rendimientos entre la caldera (80-85%) con intercambiador (85-90%) y la bomba de calor (650-700%) hacen que exista un significativo ahorro en los costos de calentamiento de agua.

El alto rendimiento del sistema planteado se debe en parte a que la fuente de suministro de calor para la bomba de calor (los condensadores de la instalación de frío) es medianamente constante a lo largo del año, y el calor requerido por el evaporador de la bomba de calor, es del orden del 15-20% de la capacidad de los condensadores del sistema de refrigeración. Esto permite, no solo trabajar al nuevo sistema en un punto de óptimo rendimiento en casi cualquier condición, sino también permite darle holgura al sistema de refrigeración central en los momentos de mayor demanda, permitiendo trabajar con una menor presión de condensación.

En este caso, la medición de ahorros es realizada con un contador de calorías, a partir de la sonorización de las temperaturas de entrada y salida del agua caliente, así como el caudal del agua que circula por la bomba de calor.

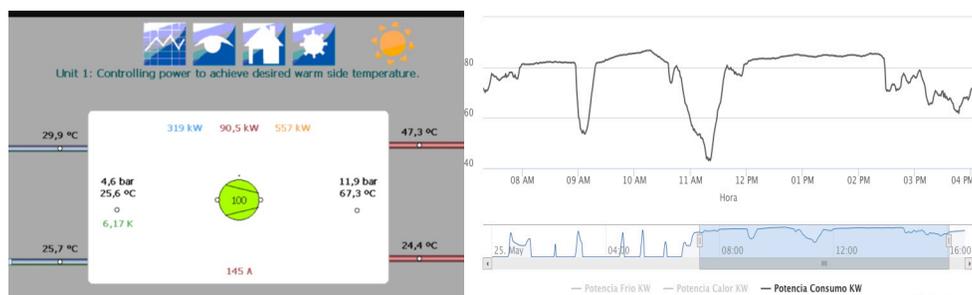


Figura 10. Medición de generación de calor y consumo de energía.

A partir de estos datos, el millón de kCal de agua caliente, ascienden a un costo de USD 17/MkCal, lo cual se traduce, para un gasto mensual de aproximadamente 500tons de leña, en un ahorro monetario de aproximadamente USD 17.500 mensuales.

A su vez, existen beneficios adicionales a partir de la implementación de este proyecto, como ser: disminución de la demanda de vapor del generador, ahorro de costos operativos en el generador de vapor, ahorro de energía eléctrica en los condensadores de frío, así como también de agua y productos químicos para su tratamiento, y ahorro de energía eléctrica en los compresores de frío por disminución de la presión de condensación (teniendo en cuenta que se debe manejar un mínimo de presión de condensación, de la cual no se deben bajar).

Sin tener en cuenta los beneficios adicionales mencionados anteriormente, para una inversión total del proyecto llave en mano de USD 250.000 aproximadamente, se obtiene un período de repago simple de 16 meses.

## CONCLUSIONES

Es posible concluir a partir de lo expuesto en el presente artículo, que, si bien suele existir un potencial de ahorro importante en lo referente a sistemas de recuperación de calor, y la aplicación de los mismos es posible en muy diversos ámbitos, es necesario contar con estudios previos de factibilidad, con el fin de determinar con la mayor certeza posible, el potencial de ahorro del proyecto en función de las necesidades de calor de cada instalación. Posteriormente, es deseable contar con sistemas redundantes, o de apoyo, que permitan continuar la operación normal de las instalaciones, aunque existan fallos en los nuevos sistemas. Por último, el cálculo de ahorros debe poder adecuarse a las distintas realidades y variaciones de operación de las instalaciones, pudiendo apoyarse en protocolos de medición debidamente ratificados por todas las partes, con el fin de obtener resultados certeros.

## CAPÍTULO 5

# EL MERCADO DE EQUIPOS DE DEPÓSITO DE CAPAS DELGADAS Y SUS PERSPECTIVAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL.

*Fecha de aceptación: 02/09/2024*

**Ricardo Alberto Rodríguez Carvajal**

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato  
Dirección de la División de Investigación y Postgrado, de la Secretaría Académica, de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato, Purísima del Rincón, Guanajuato, México

**José Luz Nicacio González Cervantes**

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato

**Paula Concepción Isiordia-Lachica**

Universidad de Guanajuato, Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato

**Pedro Luis López de Alba**

Dirección de la División de Investigación y Postgrado, de la Secretaría Académica, de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato, Purísima del Rincón, Guanajuato, México

**RESUMEN:** El mercado de equipos de depósito de capas delgadas está experimentando un rápido crecimiento impulsado por la adopción de energías renovables y la miniaturización de componentes en diversas industrias. Este estudio examina la evolución del mercado internacional de tecnologías de recubrimiento de capas delgadas, destacando el Recubrimiento de Capa Atómica (ALD) por su eficiencia y escalabilidad. A través del análisis de datos de múltiples industrias, incluyendo semiconductores, dispositivos médicos y aplicaciones solares, se identifican las tendencias clave y las regiones con mayor crecimiento, como Asia Pacífico y América del Norte. La investigación revela que la innovación continua en materiales precursores y métodos avanzados como el ALD mejorado con plasma (PEALD) está transformando la industria, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. A pesar de los desafíos, las perspectivas indican un crecimiento sostenido y una adopción creciente de estas tecnologías a nivel global, impulsando la competitividad y el desarrollo tecnológico en el sector.

## LA INDUSTRIA Y SUS TENDENCIAS

La creciente preocupación por el cambio climático y el calentamiento global ha alentado a los gobiernos de todo el mundo a utilizar fuentes de energía renovables y ecológicas. En países como Alemania, India, Estados Unidos y el Reino Unido, los gobiernos han estado proporcionando incentivos fiscales y esquemas para impulsar el uso de energía renovable. Los subsidios ofrecidos por el gobierno han alentado el crecimiento de la industria de la energía solar. Esta industria requiere el uso de MEMS (sistemas microelectromecánicos), los materiales de película delgada ofrecen sus propiedades de eficiencia y confiabilidad para la miniaturización de elementos, esta es una de las razones por las que la industria de los MEMS utiliza cada vez más este tipo de microcomponentes.

La miniaturización de componentes es uno de los avances tecnológicos que gana una proporción mayor de mercado cada año en el sector de la electrónica global. En los últimos años, la introducción de materiales porosos como, Hf (Si)O (óxidos de silicio y ácido fluorhídrico), SiOC (oxicarburo de silicio), AlO (óxido de aluminio), ZrO (óxido de zirconio), LaO (Óxido de lantano) y SiC (Carburo de silicio) han dado como resultado una mayor eficiencia y estabilidad de los sustratos. Otros factores que están impulsando el mercado incluyen la creciente demanda de aplicaciones actuales y emergentes, como las celdas solares sensibilizadas con colorantes, la mejora de la eficiencia y el desarrollo tecnológico. Sin embargo, se espera que el alto costo de inversión en I + D limite su aplicación en varias industrias, por lo tanto, muchas empresas de fabricación prefieran la técnica de Recubrimiento de capa atómica (ALD por sus siglas en inglés) para producir componentes más pequeños con un costo comparativamente bajo.

La industria mundial de depósitos por vapor está creciendo rápidamente y el vapor químico (CVD) representa una parte significativa. Otras tecnologías incluyen la epitaxia, el vapor físico (PVD) y la Recubrimiento de capas atómicas. Sin embargo, la tecnología madura y escalable industrialmente para diferentes funciones de los sistemas ALD dan como resultado un alto rendimiento para los depósitos con altas tasas de producción y un desperdicio mínimo, siendo un factor importante para su adopción por diferentes sectores industriales.

El tamaño del mercado global de ALD se valoró en USD 1,090 millones en 2018. Se espera que esta tecnología sea impulsada por el crecimiento de la industria de la electrónica y las soluciones de semiconductores, particularmente en Asia Pacífico y América del Norte. Este desarrollo tecnológico es un equipo que integra las herramientas disponibles para la síntesis de materiales de nanotecnología cuyo proceso es clave en la fabricación de dispositivos semiconductores.

En la fabricación de semiconductores se utilizan varios instrumentos de recubrimiento como electrodos de cobre, pilas de compuertas de alta constante dieléctricas (alto K) y capas de cobre. Se espera que la creciente demanda de componentes electrónicos en

la industria automotriz aumente la demanda de semiconductores y, por lo tanto, afecte directamente al mercado de los equipos de recubrimiento de capas atómicas de manera positiva.

La tecnología está presente en casi todos los productos de alta gama en industrias como la del automóvil y otros transportes, los dispositivos portátiles de control de la salud y la energía solar fotovoltaica. ALD es una tecnología destacada para reducir el costo de fabricación de productos electrónicos avanzados. ALD fabrica el brillo y la longevidad de los LED y las capas ópticas de precisión para diversas aplicaciones específicas. En tecnología médica, la vida útil de varios equipos de implantes médicos se ve reforzada por recubrimientos ALD bio-sintetizados.

El depósito de capas atómicas se considera uno de los métodos de fabricación de Recubrimiento superior a otros para producir películas delgadas y conformadas, ya que permite hacerlo a escalas industriales. Actualmente existen equipos en el mercado que son utilizados por industrias de diferentes sectores.

## PERSPECTIVA DE MERCADO RELACIONADAS CON EL PRODUCTO

Se espera que los recubrimientos con óxido de aluminio por ALD siga siendo el tipo de segmento de producto más grande para 2025. Este segmento fue valorado en USD 328,2 millones en 2018.

Se prevé que la demanda de película de óxido de aluminio (AIO) que utiliza esta técnica de Recubrimiento aumente en la penetración industrial debido a la abundancia del aluminio. Se sabe que la película de óxido de aluminio contiene barreras de permeación efectivas debido a la morfología y uniformidad sin poros de la alúmina. Este tipo de película tiene amplia aplicación en la industria de la tecnología debido a sus excelentes características tales como: estabilidad a numerosos sustratos, fácil disponibilidad de material precursor y precios óptimos del metal base.

Los desarrollos tecnológicos en los materiales precursores y sustratos es una tendencia importante para la industria. Uno de ellos es la Recubrimiento de capa atómica mejorada con plasma (PEALD) considerada como la categoría de más rápido crecimiento. El interés en el PEALD consiste en que es un habilitador clave de dispositivos lógicos y memoria a nano escala debido a que permite un mayor control del espesor y conformidad de partículas superior.

La investigación de la tecnología relacionada con la **nucleación mejorada** ha dado como resultado la Recubrimiento sobre **partículas y polímeros**. Este tipo de tecnología tiene una participación más pequeña del mercado general debido a los altos costos de capital y las aplicaciones específicas. Por ejemplo, ALD en polímeros mitiga numerosos desafíos relacionados con los polímeros espaciales. Sin embargo, reduce la tasa de erosión de los átomos de oxígeno y el ultravioleta al vacío (VUV) de los polímeros en las naves espaciales.

## Perspectivas de la Aplicación

Las principales áreas de aplicación de la Recubrimiento de capas atómicas son:

- **Semiconductores.** En 2018 el sector de mayor aplicación fue el de los semiconductores, pues representó más del 40% de los ingresos totales para esta industria. La tendencia que se observa es la transición de la tecnología de semiconductores y el impulso de componentes miniaturizados. La necesidad de nuevas dimensiones y una alta durabilidad en los componentes
- **Electrónica.** Tanto en los de circuito integrado como en componentes generales y en dispositivos de almacenamiento de datos
- **Dispositivos de energía solar.** Conformación de celdas de combustible y revestimiento de celdas solares
- **Equipamiento médico.** Dispositivos de diagnóstico y bio-recubrimientos

A continuación, en la Ilustración 1 se muestra las aplicaciones generales de la técnica de ALD.

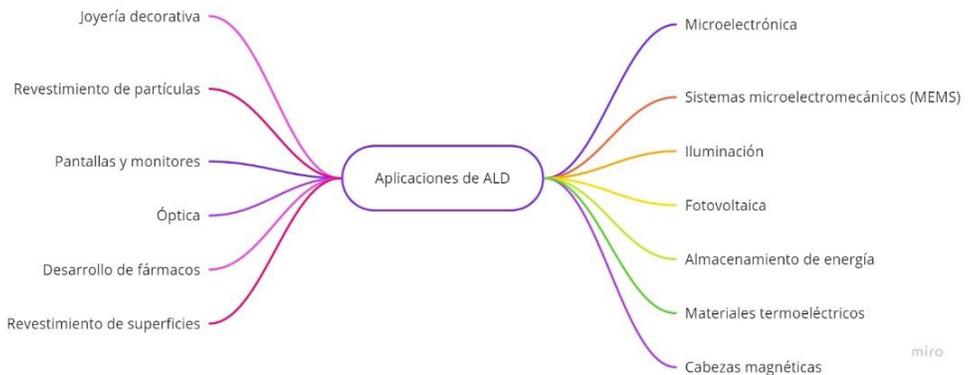


Ilustración 1 Aplicaciones generales de la técnica de ALD

Fuente: (Engineering, 2021).

Actualmente las cambiantes preferencias de los consumidores y las iniciativas gubernamentales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han dado como resultado un rápido crecimiento del sector solar. Se espera que los dispositivos solares sean el sector de aplicaciones de más rápido crecimiento.

El alto crecimiento de la industria de la energía solar se debe principalmente al aumento de las instalaciones fotovoltaicas en economías como China, EE. UU., Japón, India, Polonia y el Reino Unido debido a las preocupaciones crecientes con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero. A nivel geográfico como India y Japón son mercados solares ideales debido a la alta insolación y la energía comparativamente más alta y los bajos costos de electrificación.

## PERSPECTIVAS REGIONALES

Asia Pacífico fue la región dominante en 2018 con ingresos estimados en más de USD 504 millones para el mismo año. Dentro de esta región se observa una alta demanda debido al rápido crecimiento de las industrias de uso final (los semiconductores, la electrónica, la industria de equipos médicos y el sector solar), ha llevado a Asia Pacífico a lograr la máxima participación de mercado.

La base de fabricación de productos electrónicos profundamente arraigada en Corea del Sur, China y Taiwán ha llevado a una mayor demanda de tecnologías de Recubrimiento. La proliferación de la fabricación de productos electrónicos, la tremenda modernización y las economías en crecimiento, junto con el aumento del gasto en electrónica de consumo, han respaldado el crecimiento de esta región.

Algunos de los países asiáticos ofrecen oportunidades lucrativas para los participantes de la industria debido al aumento de la capacidad de la energía solar fotovoltaica. China, India, Japón, Indonesia, Corea del Sur y Taiwán han liderado el crecimiento de ALD debido a la floreciente fabricación e instalaciones de paneles solares.

El mercado de ALD de América del Norte siguió a Asia Pacífico en 2018 en términos de capitalización de mercado. Estados Unidos y Canadá son los principales contribuyentes al crecimiento del mercado regional. Estados Unidos emergió como pionero y se estima que crecerá a una tasa compuesta anual del 12.2% durante los próximos ocho años. El motor de crecimiento clave para el mercado de América del Norte incluye el apoyo regulatorio gubernamental productivo para alentar la inversión privada a nivel nacional, que probablemente sea un factor importante para la creciente industria de semiconductores y electrónica de consumo de la región.

## EMPRESAS CLAVE EN LA INDUSTRIA

Algunas de las principales empresas han llevado a cabo actualizaciones tecnológicas recurrentes y lanzamientos de productos para fabricar películas conformadas de calidad superior y ganar sostenibilidad en el sector. Estos aspectos son trabajados por las empresas en relación con la demanda de los consumidores y la dinámica de la industria.

El mercado global de recubrimiento de capas atómicas hereda una intensa competencia entre los principales actores internacionales. Los avances tecnológicos y los lanzamientos de productos innovadores son los aspectos principales que contribuyen a la competencia. En Tabla 1 se muestran las empresas clave de la industria, su país de origen y el enlace a su web principal.

Empresa	País	Enlace web
Lam Research Corporation	Estados Unidos	<a href="https://www.lamresearch.com/">https://www.lamresearch.com/</a>
ASM International NV	Países Bajos	<a href="https://www.asm.com/">https://www.asm.com/</a>
Applied Materials Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.appliedmaterials.com/">https://www.appliedmaterials.com/</a>
Aixtron SE	Alemania	<a href="https://www.aixtron.com/en">https://www.aixtron.com/en</a>
Adeka Corporation	Japón	<a href="https://www.adeka.co.jp/en/">https://www.adeka.co.jp/en/</a>
Tokyo Electron Limited	Japón	<a href="https://www.tel.com/">https://www.tel.com/</a>
Denton Vacuum LLC	Estados Unidos	<a href="https://www.dentonvacuum.com/">https://www.dentonvacuum.com/</a>
Kurt J. Lesker Company	Estados Unidos	<a href="https://www.lesker.com/">https://www.lesker.com/</a>
Beneq Oy	Finlandia	<a href="https://beneq.com/">https://beneq.com/</a>
Veeco Instruments	Estados Unidos	<a href="https://www.veeco.com/">https://www.veeco.com/</a>
Canon Anelva Corporation	Japón	<a href="https://www.canon-anelva.co.jp/english/">https://www.canon-anelva.co.jp/english/</a>
Picosun Oy	Finlandia	<a href="https://www.picosun.com/">https://www.picosun.com/</a>
Entegris Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.entegris.com/en/home.html">https://www.entegris.com/en/home.html</a>
ALD NanoSolutions, Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.forgenano.com/">https://www.forgenano.com/</a>

Tabla 1 Empresas clave en la industria del ALD, Elaboración propia.

Fuente: (Market Watch Inc, 2021a).

## DESARROLLOS RECIENTES DE LA TECNOLOGÍA DEL ALD

En noviembre de 2019, los ingenieros químicos de la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) en suiza, desarrollaron un nuevo método para la Recubrimiento de capas atómicas, una técnica comúnmente utilizada en microelectrónica de alta calidad. El nuevo método se puede utilizar en materiales con superficies más grandes de manera mucho más económica que los enfoques actuales, al tiempo que se conserva la calidad y la eficiencia. Utilizando ALD en fase líquida, los científicos pueden producir materiales indistinguibles de los fabricados en fase gaseosa, con equipos mucho más baratos y sin exceso de precursores. Este nuevo paso tiene el potencial de reducir el tiempo y los costos necesarios para completar la tarea, lo que genera importantes beneficios para las empresas y los consumidores (EPFL, 2021).

En noviembre de 2019, la NASA decidió utilizar las técnicas de Recubrimiento de capa atómica (ALD) para resolver, el problema del polvo lunar que acelera el daño en la electrónica de los equipos y aparatos, lo que lleva a detener la misión antes de tiempo. La NASA trabaja en un recubrimiento avanzado que evite que el peligroso polvo lunar se adhiera a los trajes de los astronautas y sus equipos. El polvo lunar está formado por granos ultra-diminutos, formados por millones de años de impactos de meteoritos que aplastaron y derritieron rocas repetidamente, creando pequeños fragmentos de vidrio y fragmentos minerales. No solo pueden viajar a velocidades de huracán, sino que también se adhieren a todo tipo de superficies, no solo por sus bordes irregulares, sino también por su carga electrostática. El equipo planea construir un reactor u horno para aumentar

el rendimiento del pigmento que mitiga la carga, que luego aplicarían al material del traje espacial para realizar pruebas. Esto demuestra la eficiencia y diversidad de aplicaciones del ALD al mundo (NASA, 2021).

Recientemente, en septiembre pasado, se ha encontrado un nuevo método de Recubrimiento de MnO<sub>2</sub> como una variante de la Recubrimiento de Capa Atómica, que es más eficiente que el normal. Se publicó en ACS Chemistry of Materials y se inspiró en un proyecto de ciencia infantil de la reacción Redox. Se llama Recubrimiento de capa redox y es un método rápido y barato para aplicar películas delgadas de MnO<sub>2</sub> en sustratos nanoestructurados con una precisión cercana a una monocapa, compitiendo con la Recubrimiento de capa atómica (ALD) de última generación. En el nuevo método, la cantidad de MnO<sub>2</sub> recién formado se limitó a una monocapa mediante el uso de alcohol propargílico acuoso, un alcohol insaturado que puede quimisorberse fuertemente en varios sustratos, lo que permite la reducción de su cantidad a una monocapa para la posterior reacción con KMnO<sub>4</sub>. Por tanto, el método consiste en ciclos repetidos de adsorción de alcohol propargílico de superficie limitada y su posterior oxidación con permanganato de potasio acuoso, formando una cantidad controlable de MnO<sub>2</sub> sobre el sustrato en cada ciclo. Tiene el potencial de reducir el tiempo y el costo del proceso, haciéndolo más rentable para todos (Nanowerk, 2021).

En el año 2018 la empresa Plasma-Therm LLC ubicada en St Petersburg, Florida, EE. UU Dedicada a la fabricación de equipos de grabado, Recubrimiento y empaquetado por plasma enfocada a los sectores de semiconductores y nanotecnología adquirió la empresa de Recubrimiento de plasma KOBUS de Montbonnot, Francia, que utiliza el método FAST (Fast Atomic Sequential Technology), una alternativa a la Recubrimiento de capa atómica (ALD) donde se requieren películas gruesas y conformadas. El método FAST se encuentra con un intermedio entre el ADL y la Recubrimiento química de vapor (CVD), utiliza un reactor patentado de CVD combinado con la capacidad de pulsación. Este desarrollo puede realizar recubrimientos como el método de ALD, pero su diferencia es que puede generar capas más gruesas y conformadas. Esto implica una barrera, respecto a las aplicaciones en el mercado para el ALD (ASM International, 2021).

En julio de 2019, el fabricante estadounidense de chips Applied Materials Inc acordó comprar su par japonés Kokusai Electric por \$ 2.2 mil millones de KKR & Co Inc, ya que, apuesta por la creciente demanda de chips de memoria utilizados en centros de datos, teléfonos 5G y dispositivos con tecnología de inteligencia artificial. La intención de esta compra fue realmente para que Applied Materials obtuviera una tecnología ALD de vanguardia. Este ha sido un gran paso para impulsar la demanda de ALD y ayudar a que su mercado crezca en los próximos años (Reuters, 2021).

En julio de 2018, el fabricante de equipos para fabricación de semiconductores Applied Materials fue seleccionado por DARPA para trabajar con ARM Ltd. y la firma de investigación Symetrix Corp. para desarrollar un interruptor de inteligencia artificial que

funciona como una neurona y la sinapsis del cerebro humano, basado en la tecnología de memoria RAM de electrones correlacionados (CeRAM). Se pensó que ARM es un licenciataria principal de la tecnología CeRAM de Symetrix y que Applied Materials ha estado explorando la Recubrimiento de capas atómicas con las diversas combinaciones de materiales que pueden mostrar el efecto de electrones correlacionados. Esta asignación resultó ser beneficiosa para las empresas junto con el mercado ALD (Applied Materials, 2021b).

En septiembre de 2019, investigadores del Laboratorio Nacional Argonne del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) hicieron un descubrimiento fundamental al tomar una técnica desarrollada originalmente para la industria de semiconductores y usarla como una forma de recubrir materiales nucleares. Esta técnica, denominada Recubrimiento de la capa atómica (ALD), forma la base de nuevos métodos para proteger los combustibles y materiales nucleares de la exposición directa al entorno hostil del reactor. Este descubrimiento abre un nuevo mercado y una oportunidad para que el mercado ALD crezca, mientras ayuda a los gobiernos y consumidores (PHYS, 2021).

En febrero de 2020, se descubrió que la Recubrimiento de la capa atómica (ALD) tuvo un gran efecto en las maderas y, finalmente, fue útil para salvarlas de los hongos que causaban la pudrición de la madera en ambientes húmedos. Se descubrió que eran más beneficiosos que el tratamiento a presión, que se usaba de antemano para mantener la madera segura y alejada de los hongos y la podredumbre. Este descubrimiento abre un nuevo mercado para ALD y también un nuevo punto de generación de ingresos (The American Ceramic Society, 2021).

En la Ilustración 2 se observa el Beneq P1500, dado a conocer el 3 de septiembre de 2021 por la empresa Beneq, lo nombraron como “el Reactor más grande de ALD en el mundo”, pues tiene una cámara de vacío con un ancho de 170 cm, este equipo permite el recubrimiento ALD de vidrio fotovoltaico, vidrio de pantalla de generación 4-5 y películas ópticas en espejos astronómicos de área amplia de hasta 1300 x 2400 mm de tamaño.



Ilustración 2 Equipo P1500 de la empresa Beneq  
 Fuente: (BALD Engineering AB (@jv3sund) / Twitter, 2021)

### CADENA DE SUMINISTRO DE LA TECNOLOGÍA DE ALD

En la Ilustración 3 se observa la cadena de proveeduría global de los equipos ALD, establecida como una tecnología habilitadora clave, pues los equipos de ALD se han convertido en una tecnología esencial para la fabricación de prácticamente todos los dispositivos semiconductores de vanguardia.

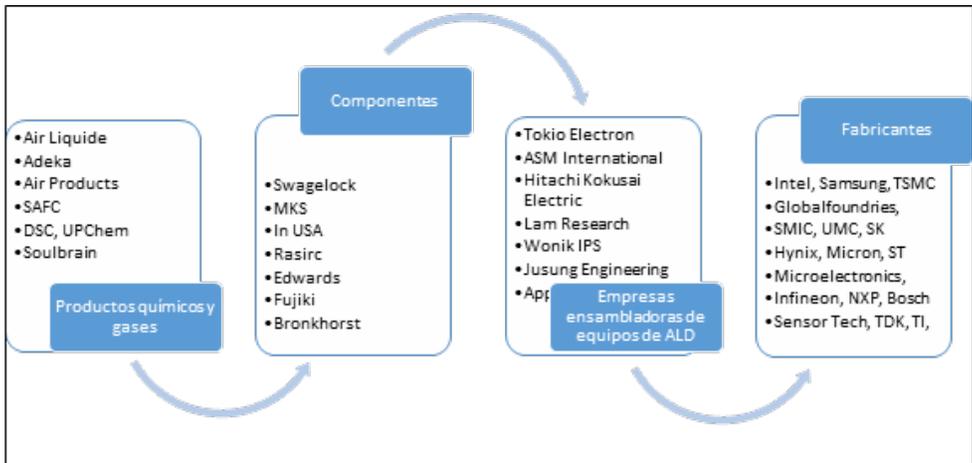


Ilustración 3 Cadena de suministro de la tecnología de ALD  
 Fuente: (Sundqvist et al., 2016)

## EQUIPOS DE ALD A NIVEL INTERNACIONAL

A continuación, en la Tabla 2 y la Ilustración 4 se observan las principales compañías a nivel mundial que tuvieron una mayor penetración en el mercado de los equipos de ALD en el año 2017, las empresas con mayor posicionamiento son: Tokio electron, ASM international e Hitachi Kokusai Electric, pues entre las 3 empresas suman más del 50% del mercado de equipos de ALD.

Estimación del mercado de equipos de ALD en 2017	
Empresa	Porcentaje de Participación
Tokio Electron	25%
ASM International	24%
Hitachi Kokusai Electric	16%
Lam Research	11%
Wonik IPS	7%
Jusung Engineering	5%
Applied Materials	3%
Otros	9%

Tabla 2 Mercado de equipos de ALD en el 2017, Elaboración propia.

Fuente: (Sundqvist, 2021).

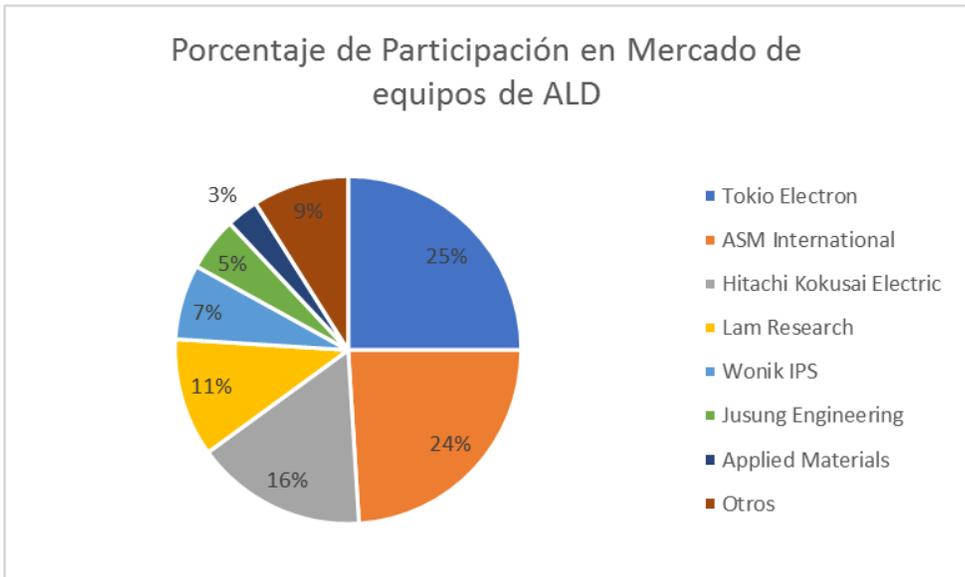


Ilustración 4 Participación de mercado de las principales empresas productoras de equipos de ALD en 2017

Fuente:(Sundqvist, 2021).

## TAMAÑO DE MERCADO DE TECNOLOGÍAS DE CAPA DELGADA

En el mercado global, existen diversas soluciones para realizar recubrimientos de capa delgada. A continuación, se muestran indagaciones sobre el tamaño de mercado de cada uno de ellos.

En la siguiente Tabla 3 en la columna izquierda se observan los nombres de las principales tecnologías utilizadas para la elaboración de capas delgadas en la columna derecha se observa el tamaño de mercado en USD según el año en que se realizó la estimación.

Tecnología	Tamaño de mercado Mundial
ALD (Atomic layer deposition) Recubrimiento de capa atómica	USD 8,380 millones en 2020
PVD (Physical Vapor Deposition) Recubrimiento físico de vapor	USD 25,500 millones en 2020
CVD (Chemical vapor deposition) Recubrimiento químico de vapor	USD 20,810 millones en 2016
Epitaxy (Recubrimiento epitaxial)	USD 845.76 millones en 2019
Spin-on (materiales enrosables)	USD 4887.07 millones en 2020
ECD	ND

Tabla 3 Tamaño de mercado de las tecnologías de capa delgada, Elaboración propia,

Fuente: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

En la Ilustración 5, se observa de manera ilustrativa el tamaño de mercado de las tecnologías de capa fina, tomado de la Tabla 3.

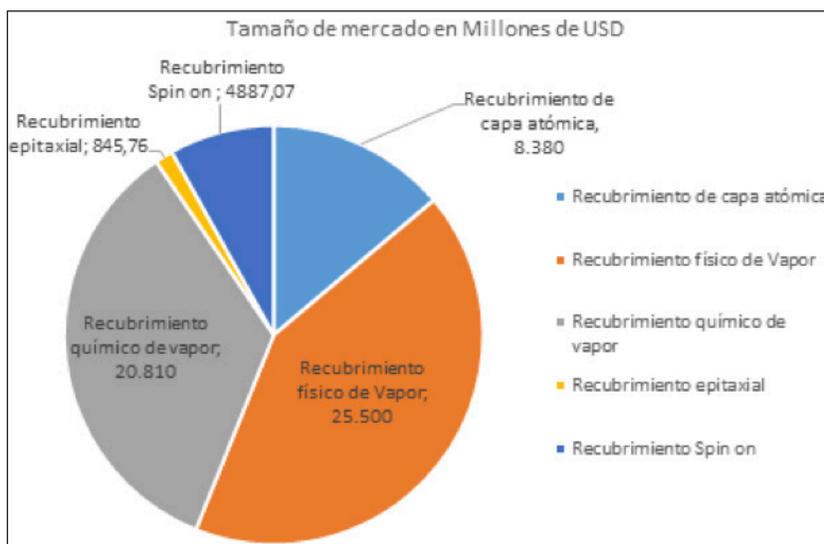


Ilustración 5 Tamaño de mercado de las tecnologías de Recubrimiento de capa fina, Elaboración propia

Fuentes: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

## TAMAÑO DE MERCADO DE LAS TECNOLOGÍAS DERIVADAS DE CVD

A continuación, Tabla 4 se observan el tamaño de mercado de algunas de las tecnologías derivadas del CVD únicamente se logró encontrar el tamaño de mercado del recubrimiento químico de plasma.

Tecnología	Tecnología derivada	Tamaño de mercado
CVD	PECVD (Recubrimiento químico de vapor mejorada con plasma)	USD 3157.99 millones en 2019
	LPCVD (Recubrimiento químico de vapor a baja presión)	ND
	APCVD (Recubrimiento químico de vapor a presión atmosférica)	ND
	Batch CVD difusión (Recubrimiento químico por lotes de difusión)	ND

Tabla 4 Tamaño de mercado de las tecnologías derivadas de la Recubrimiento química de vapor, Elaboración propia.

Fuente: (GII Research, 2021)

A continuación, en la **Tabla 5** se muestra un comparativo de aplicaciones más comunes para las tecnologías de capa delgada, en la columna izquierda se observa el nombre y en las columnas de la derecha las aplicaciones de las tecnologías. Se marcó con una “x” las aplicaciones que tiene la tecnología.

Tecnología	Sistemas electromecánicos (MEMS)	Almacenamiento de Datos	Energía solar	Herramientas de corte	Equipamiento médico	Joyería	Óptica	Fármacos	Pantallas y monitores	Nanotecnología
ALD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PVD	X	X	X	X	X					
CVD	X	X	X	X	X		X			
Epitaxi	X									X
Spin-on	X	X							X	

Tabla 5 Tecnologías de capa delgada y sus principales aplicaciones; Elaboración propia.

Fuentes: (Market Watch Inc, 2021a), (BCC Research, 2021), (Grand View Research, 2021), (Research and Markets, 2021a), (Market Watch Inc, 2021b).

## EMPRESAS CLAVE DE EN LA INDUSTRIA DEL PVD

En la **Tabla 6** se muestra la información de las principales empresas que generar desarrollos tecnológicos y servicios relacionados con la tecnología de recubrimiento físico de vapor, en la columna central se encuentra el país de origen de las empresas y en la columna derecha se muestra el enlace a su web principal.

Empresas clave de PVD	País de origen	Enlace web
Advanced Energy Industries, Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.advancedenergy.com/">https://www.advancedenergy.com/</a>
AJA International, Inc.	Estados unidos	<a href="https://www.ajaint.com/">https://www.ajaint.com/</a>
Angstrom Engineering, Inc.	Canadá	<a href="https://angstromengineering.com/">https://angstromengineering.com/</a>
Applied Materials, Inc.	Estados Unidos	<a href="https://www.appliedmaterials.com/">https://www.appliedmaterials.com/</a>
ASM International N.V.	Países Bajos	<a href="https://www.asm.com/">https://www.asm.com/</a>
HEF USA	Estados unidos	<a href="https://www.hefusa.net/">https://www.hefusa.net/</a>
IHI Corp	Japón	<a href="https://www.ihico.jp/en/">https://www.ihico.jp/en/</a>
Kurt J. Lesker Co	Estados unidos	<a href="https://www.lesker.com/">https://www.lesker.com/</a>
Lam Research Corp	Estados unidos	<a href="https://www.lamresearch.com/">https://www.lamresearch.com/</a>
Mustang Vacuum Systems	Estados unidos	<a href="https://www.mustangvac.com/">https://www.mustangvac.com/</a>
Oerlikon Balzers	Liechtenstein (tiene sucursal en México)	<a href="https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/">https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/</a>
Plasma-Therm	Estados unidos	<a href="http://www.plasma-therm.com/about.html">http://www.plasma-therm.com/about.html</a>
PLATIT AG	Suiza	<a href="https://www.platit.com/en/">https://www.platit.com/en/</a>
Praxair S.T. Technology, Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.praxairsurfacetechologies.com/en">https://www.praxairsurfacetechologies.com/en</a>
Richter Precision, Inc.	Estados unidos	<a href="https://www.richterprecision.com/">https://www.richterprecision.com/</a>
Semicore Equipment, Inc	Estados unidos	<a href="http://www.semicore.com/">http://www.semicore.com/</a>
Singulus Technologies AG	Alemania	<a href="https://www.singulus.com/en.html">https://www.singulus.com/en.html</a>
Tanury Industries	Estados unidos	<a href="https://tanury.com/">https://tanury.com/</a>
Tokyo Electron, Ltd.	Japón	<a href="https://www.tel.com/">https://www.tel.com/</a>
ULVAC, Inc	Japón	<a href="https://www.ulvac.co.jp/">https://www.ulvac.co.jp/</a>
Veeco Instruments, Inc	Estados unidos	<a href="https://www.veeco.com/">https://www.veeco.com/</a>

Tabla 6 información básica de las empresas de PVD., Elaboración propia.

Fuente: (Research and Markets, 2021b)

## EMPRESAS CLAVE EN LA INDUSTRIA DE CVD

En la Tabla 7 se muestran las empresas clave en la industria de recubrimiento químico de vapor, en el centro de la tabla se observa el país de origen de las empresas y en la columna derecha se muestran los enlaces web de las empresas.

Empresas de CVD	País de origen	Enlace web
Veeco Instruments, Inc.	Estados Unidos	<a href="https://www.veeco.com/">https://www.veeco.com/</a>
Ulvac, Inc.	Japón	<a href="https://www.ulvac.co.jp/">https://www.ulvac.co.jp/</a>
IHI Corporation	Estados Unidos	<a href="https://www.hefusa.net/">https://www.hefusa.net/</a>
Applied Materials, Inc.	Estados Unidos	<a href="https://www.appliedmaterials.com/">https://www.appliedmaterials.com/</a>
Tokyo Electron Limited	Japón	<a href="https://www.tel.com/">https://www.tel.com/</a>
Adeka Corporation	Japón	<a href="https://www.adeka.co.jp/en/">https://www.adeka.co.jp/en/</a>
CVD Equipment Corporation	Estados Unidos	<a href="https://www.cvdequipment.com/">https://www.cvdequipment.com/</a>
Lam Research Corporation	Estados Unidos	<a href="https://www.lamresearch.com/">https://www.lamresearch.com/</a>
Richter Precision Inc	Estados Unidos	<a href="https://www.richterprecision.com/">https://www.richterprecision.com/</a>
Plasma-Therm	Estados Unidos	<a href="http://www.plasma-therm.com/about.html">http://www.plasma-therm.com/about.html</a>
ASM International	Países Bajos	<a href="https://www.asm.com/">https://www.asm.com/</a>
AIXTRON	Alemania	<a href="https://www.aixtron.com/en">https://www.aixtron.com/en</a>
Dynavac	Estados Unidos	<a href="https://dynavac.com/">https://dynavac.com/</a>
Mustang Vacuum Systems	Estados Unidos	<a href="https://www.mustangvac.com/">https://www.mustangvac.com/</a>
Oxford Instruments	Reino Unido	<a href="https://www.oxinst.com/">https://www.oxinst.com/</a>
Intevac, Inc.	Estados Unidos	<a href="https://www.intevac.com/">https://www.intevac.com/</a>
Oerlikon Balzers	Liechtenstein (tiene sucursal en México)	<a href="https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/">https://www.oerlikon.com/balzers/mx/es-mx/</a>

Tabla 7 Información básica de las empresas de CVD, Elaboración propia

Fuente: (Market Watch, 2021). *Empresas Clave en la industria de recubrimiento Epitaxial*

En la Tabla 8, se muestra la información relacionada con los países de origen y las páginas web de las principales empresas a nivel mundial que trabajan con la tecnología de recubrimiento epitaxial.

<b>Empresas de Epitaxy (Recubrimiento epitaxial)</b>	<b>País de origen</b>	<b>Enlace web</b>
AIXTRON	Alemania	<a href="https://www.aixtron.com/en">https://www.aixtron.com/en</a>
Siltronic AG	Alemania	<a href="https://www.siltronic.com/en/">https://www.siltronic.com/en/</a>
II-IV Incorporated	Estados unidos	<a href="https://ii-vi.com/">https://ii-vi.com/</a>
CREE inc	Estados unidos	<a href="https://cree-led.com/">https://cree-led.com/</a>
Epistar Corporation	Taiwán	<a href="https://www.epistar.com/EpistarEn/prodInfo">https://www.epistar.com/EpistarEn/prodInfo</a>
Global communication Semiconductors	Estados unidos	<a href="http://www.gcsincorp.com/">http://www.gcsincorp.com/</a>
Intelligent epitaxy Technology	Estados Unidos	<a href="https://intelliepi.com/">https://intelliepi.com/</a>
International Quantum Epitaxy plc	Reino Unido	<a href="https://www.iqep.com/">https://www.iqep.com/</a>
Masimo semiconductor, inc.	Estados unidos	<a href="https://www.masimosemiconductor.com/">https://www.masimosemiconductor.com/</a>
Nichia Corporation	Japón	<a href="http://www.nichia.co.jp/">http://www.nichia.co.jp/</a>
Sumitomo electronic industries	Japón	<a href="https://sumitomoelectric.com/">https://sumitomoelectric.com/</a>
SVM	Estados unidos	<a href="https://svmi.com/">https://svmi.com/</a>
ASM International	Países Bajos	<a href="https://www.asm.com/">https://www.asm.com/</a>
Infineon	Alemania	<a href="https://www.infineon.com/">https://www.infineon.com/</a>
SVT Associates	Estados unidos	<a href="https://www.svta.com/">https://www.svta.com/</a>
Applied Materials	Estados unidos	<a href="https://www.appliedmaterials.com/">https://www.appliedmaterials.com/</a>
CSD Epitaxy	Estados unidos	<a href="http://www.csd-epi.com/">http://www.csd-epi.com/</a>
MKS Instruments	Estados unidos	<a href="https://www.mksinst.com/">https://www.mksinst.com/</a>
Tokyo Electron Ltd	Japón	<a href="https://www.tel.com/">https://www.tel.com/</a>
k-Space Associates Inc.	Estados unidos	<a href="https://k-space.com/">https://k-space.com/</a>
Epiluvac	Suecia	<a href="https://epiluvac.com/">https://epiluvac.com/</a>
LPE	Italia	<a href="http://www.lpe-epi.com/">http://www.lpe-epi.com/</a>

Tabla 8 Información básica de las empresas de empresas de recubrimiento epitaxial. , Elaboración propia

Fuentes: (Allied Market Research, 2021; Research and Markets, 2021a).

## **EMPRESAS CLAVE DE LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTO TIPO SPIN-ON**

En la Tabla 9, se muestran las principales empresas que realizan la Recubrimiento tipo spin on, en la columna central se muestra el país de origen de las empresas y en la columna derecha se observa el enlace a sus páginas web.

Empresas de Spin-on	País de origen	Enlace web
Samsung SDI	Corea del sur	<a href="https://www.samsungdi.com/">https://www.samsungdi.com/</a>
JSR	Japón	<a href="https://www.jsr.co.jp/jsr_e/">https://www.jsr.co.jp/jsr_e/</a>
Nissan Chemical Industries	Japón	<a href="https://www.nissanchem.co.jp/eng/">https://www.nissanchem.co.jp/eng/</a>
Shin-Etsu MicroSi	Estados unidos	<a href="https://www.microsi.com/">https://www.microsi.com/</a>
YCCHEM	Taiwán	<a href="http://www.ycchem.com.tw/">http://www.ycchem.com.tw/</a>

Tabla 9 Información básica de las empresas de recubrimiento tipo spin on, Elaboración propia.

Fuente: (Market Intellix LLP, 2021).

## EQUIPOS DE RECUBRIMIENTO DISPONIBLES EN EL MERCADO

### Equipos de Recubrimiento de Capa Atómica

En las Tabla 10 se han agrupado descripciones e imágenes de equipos de ALD, disponibles en el mercado. En la columna izquierda se muestra la empresa fabricante, en la columna media se observa una imagen del equipo y en la columna derecha se muestran algunas características de los equipos.

Empresa	Imagen de los equipos	Descripciones/observaciones
Tokyo Electron Limited		Tamaño de la oblea 300mm Oblea por cámara / sistema 6 a 12 obleas / 2 cámaras de proceso Reactor tipo Térmico y Plasma Características Cobertura de alto paso, película de alta calidad, alto rendimiento, Controlabilidad del estrés, daño plasmático bajo Proceso SiO <sub>2</sub> , SiN, alto-k Sustratos Si, SOI
		TELINDY PLUS™ Tamaño de la oblea (mm) 300 Proceso ALD térmico, LPCVD, oxidación / recocido Reactor Térmico Temperatura del proceso RT-1100C

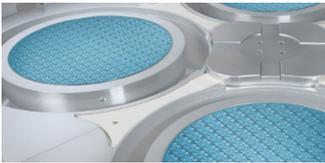
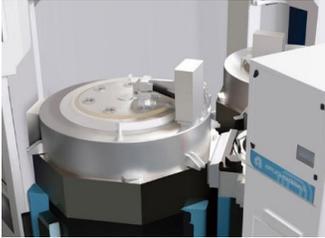
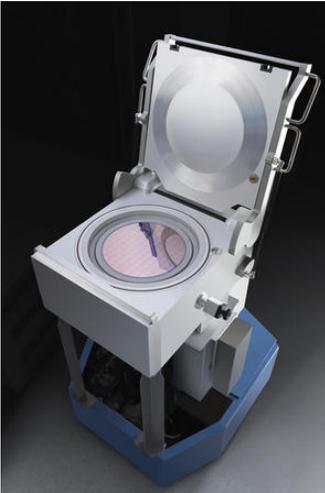
Empresa	Imagen de los equipos	Descripciones/observaciones
Lam Research Corporation		<p>Familia de productos Striker Striker® Striker® FE ciclos rápidos de ALD Aplicación de propiedades mecánicas y eléctricas ajustables de la película dentro de un amplio rango de temperaturas Revestimientos de conformación herméticos y sin daños Películas de alta selectividad y baja tasa de grabado en húmedo</p>
		<p>Familia de productos ALTUS Punto de referencia de la película de tungsteno (W). Capa de nucleación formada utilizando el proceso ALD y llenado de CVD in situ habilitado por la arquitectura patentada de Recubrimiento secuencial multi-estación (MSSD). Películas delgadas de W usando ALD para reducir el espesor y alterar el crecimiento de grano de relleno masivo de CVD. Relleno W bajo en flúor y bajo estrés para 3D NAND y DRAM avanzados. Películas de espesor reducido (en relación con la barrera convencional) mediante el uso de ALD.</p>
Applied Materials Inc		<p>OLYMPIA™ ALD Equipo de proceso continuo. Fabricación de DRAM, 3D NAND y FinFET lógico. El sistema ALD de Applied Olympia™ para la Recubrimiento autónoma de películas dieléctricas aborda el importante desafío de obtener películas ALD de alta calidad a las bajas temperaturas de Recubrimiento necesarias para fabricar dispositivos planos y 3D.</p>
		<p>CENTURA® ISPRINT™ ALD/CVD SSW  Ofrece relleno de huecos CVD W de abajo hacia arriba generando un producto libre de huecos y uniones. Optimiza el volumen de W, creando características más robustas y ayudando a mejorar el rendimiento.</p>

Tabla 10 Equipos de ALD disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (Applied Materials, 2021a; Lam Research, 2021; Tokyo Electron Ltd., 2021).

## APARATOS DE RECUBRIMIENTO FÍSICO DE VAPOR (PVD)

En la Tabla 11, se encuentra agrupada la información referente a equipos de PVD. En la columna izquierda se muestra la empresa fabricante, en la columna media se observa una imagen del equipo y en la columna derecha se encuentran las características de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
AJA International, Inc.		<p>Sistemas de evaporación E-Beam                      Rango de precios: USD 140,000 - 650,000                      Estilo de caja y cámaras cilíndricas                      Versiones HV y UHV disponibles                      Opciones de bloqueo de carga y casete                      Fuentes de rayos-e rotativas o lineales                      Polipasto integrado o puerta con bisagras                      Simple, multicapa o co-evaporación                      Corredera lineal para pistola electrónica disponible                      Soportes de sustrato planetarios, calentados y enfriados</p>
		<p>SISTEMAS DE EVAPORACIÓN TÉRMICA SERIE ATC-T                      Rango de precios: USD 80,000 - 650,000                      Cámaras estilo caja o cilíndricas                      Versiones HV y UHV disponibles                      Matriz de fuente térmica en portaobjetos disponible                      Opciones de bloqueo de carga y casete                      Blindaje refrigerado por agua según sea necesario                      Polipasto integrado o puerta con bisagras</p>
Angstrom Engineering, Inc.		<p>Plataforma de Recubrimiento física de vapor de Covap                      Cámara de concha de almeja rectangular para una excelente accesibilidad                      Los materiales y sustratos se pueden cargar con facilidad incluso en una guantera                      La plataforma de Recubrimiento física de vapor de Covap proporciona un acceso sin obstáculos para quitar el blindaje, limpiar y preparar el sistema para la siguiente ejecución                      Listo para la integración de la guantera                      Huella del sistema compacto de 600 mm x 1000 mm                      Elija entre 2 o 4 configuraciones de fuente                      Control avanzado multicapa basado en recetas Secuencial o co-Recubrimiento                      Los accesorios admiten sustratos de hasta 100 mm x 100 mm                      Entrenamiento completo del sistema incluido                      Sensores QCM cuidadosamente aislados para garantizar que no haya interferencias del material fuente adyacente                      Alto vacío proporcionado por bomba turbomolecular                      Garantía de 2 años con el equipo de soporte más receptivo de la industria</p>

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
		<p>PLATAFORMA DE RECUBRIMIENTO FÍSICA DE VAPOR NEXDEP Sputtering RF, DC, DC pulsado, HIPIMS y reactivo. Se encuentran disponibles cátodos circulares, lineales y cilíndricos. Evaporación térmica Puede utilizar una amplia gama de filamentos y calentadores de crisol. Evaporación por haz de electrones Procesamiento de haces de iones y plasma</p>
Applied Materials, Inc.		<p>PIKA™ PVD El sistema Applied Pika PVD es la herramienta PVD de una sola oblea más pequeña y rápida de la industria actual, diseñada para I + D de alto rendimiento y producción de bajo volumen a bajo costo de propiedad. El sistema compacto (1657 mm x 755 mm x 1822 mm) incorpora módulos de Recubrimiento de degasificación, limpieza previa y pulverización catódica con una cámara de transferencia robótica de alto vacío y automatización completa de casete a casete. Ha demostrado una alta confiabilidad, con más del 92% de tiempo de actividad.</p>
		<p>TOPAZ™ PVD El sistema Topaz PVD sirve en sustratos de hasta 600 mm x 600 mm. La demanda de componentes electrónicos de menor costo y mayor rendimiento está motivando a la industria a realizar la transición de WLP (empaquetado a nivel de oblea) a PLP (empaquetado a nivel panel).</p>
		<p>Los costos de capital normalizados para PLP son menos de la mitad que los de los formatos de nivel de oblea.</p>

Tabla 11 Equipos de PDV disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (AJA International, 2021; Angstrom Engineering, 2021; Applied Materials, 2021c).

## EQUIPOS DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO DE VAPOR

En la Tabla 12, se muestran equipos recubrimiento químico de vapor, en la columna izquierda se observa en nombre de la empresa fabricante, al centro se observa una imagen de los equipos y en la columna izquierda se encuentran la descripción de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
<p>Veeco Instruments, Inc.</p>		<p>Sistemas Lumina As/P MOCVD para aplicaciones fotónica                      Uniformidad excelente y bajos defectos en producción continua.                      Control térmico uniforme                      Capaz de depositar capas epitaxiales de As / P de alta calidad en obleas de hasta veinte centímetros de diámetro                      Diseñado para dispositivos de próxima generación.                      Detección 3D                      Comunicación de datos de alta velocidad                      Láseres emisores de bordes                      Comunicaciones ópticas avanzadas                      Fotónica de silicio                      Mini y MicroLED                      Pantallas de televisión 4K y 8K                      Teléfonos inteligentes                      Dispositivos portátiles                      AR / VR (Realidad aumentada / Realidad virtual)</p>
		<p>Sistemas Propel MOCVD                      reactor de oblea único de fabricación de alto volumen                      Para obleas de 150 y 200 mm                      6 cámaras de procesamiento</p>

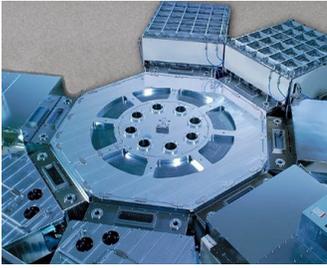
Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
Ulvac, Inc.		<p>Serie CMD Sistemas de CVD de plasma de un solo sustrato Recubrimiento de películas de óxido de silicio y nitruro utilizando SiH<sub>4</sub> o TEOS. Una fuente de alimentación de alta frecuencia (27,12 MHz) permite la Recubrimiento de película de alta calidad.</p>
		<p>CME-200E / 400 Sistema PE-CVD tipo clúster Película de alta calidad que utiliza precursores de SiH<sub>4</sub>: SiO<sub>2</sub>, SiN<sub>x</sub>, SiON, a-Si, también para el proceso TEOS para películas de SiO<sub>2</sub> amaño de sustrato de hasta 200 x 200 mm para CME-200E, máx. 300 x 400 mm para CME-400</p>
CVD Equipment Corporation		<p>Sistemas de APCVD CVDgCoat™ Se utilizan para cultivar películas epitaxiales de Si, compuesto semiconductores, SiO<sub>2</sub>, revestimientos antirreflejos (AR) y transparentes Recubrimientos de óxido conductor (TCO) Proceso de acabado de superficies, herramientas y turbinas.</p>
		<p>CVD de lecho fluidizado (FBCVD) se utiliza para recubrir polvos o partículas diseñado para permitir la inyección de un gas fluidizante Los gases penetrarán a través del polvo y reaccionarán para formar películas delgadas. o nanomateriales en todas las superficies del polvo</p>

Tabla 12 Equipos de CVD disponibles en el mercado, Elaboración propia

Fuentes: (CVD Equipment Corporation, 2021; ULVAC Inc., 2021; Veeco, 2021).

## APARATOS DE RECUBRIMIENTO EPITAXIAL

En la Tabla 13, se muestran algunos equipos para el recubrimiento epitaxial, en la columna izquierda se observa en nombre de la empresa fabricante, al centro se observa una imagen de los equipos y en la columna izquierda se encuentran la descripción de los equipos.

Empresa	Fotografía del equipo	Descripciones/observaciones
LPE		<p>REACTOR EPITAXIAL DE CARBURO DE SILICIO PE106</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reactor de epitaxia de una sola oblea de 150 mm</li> <li>- Calentamiento inductivo de pared caliente</li> <li>- Sistema de inyección de gas de tres zonas</li> <li>- Bloqueo de carga para purga inerte entre corridas.</li> </ul>
Epiluvac		<p>Epiluvac ER3-C1</p> <p>Reactores de epitaxia CVD para SiC y GaN Hasta 200 mm (8") de diámetro de oblea. Excelente uniformidad a través de la topología de pared caliente. Control de flujo de gas dinámico avanzado para una tasa de crecimiento óptima y uniformidad de dopaje. Excelente perfil de temperatura con múltiples zonas de calentamiento. Sin cuarzo y destinado a procesos clorados. La carga / descarga de obleas calientes en una atmósfera inerte limpia minimiza la contaminación de partículas y extiende la vida útil de las piezas de grafito. Diseño modular Transporte de obleas entre los reactores en un ambiente controlado. Hasta 1800 ° C. Adecuado para producción e I + D de bajo / medio volumen.</p>
CSD Epitaxy		<p>EpiPro 5000</p> <p>Diversos tamaños</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>100 mm 35 obleas / carga por cámara</li> <li>125 mm 24 obleas / carga por cámara</li> <li>150 mm 18 obleas / carga por cámara</li> <li>200 mm 8 obleas / carga por cámara</li> </ul> <p>Tiene un doble reactor</p>

Tabla 13 Equipos de recubrimiento epitaxial disponibles en el mercado, Elaboración propia.

Fuentes: (CSD Epitaxy, 2021; Epiluvac, 2021; LPE, 2021)

## CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue analizar las perspectivas y tendencias del mercado internacional de equipos de depósito de capas delgadas, con un enfoque particular en la adopción de tecnologías avanzadas como el Recubrimiento de Capa Atómica (ALD). A través del análisis de datos de diversas industrias, se identificaron las regiones con mayor crecimiento, como Asia Pacífico y América del Norte, y se destacaron las innovaciones en materiales y métodos que están transformando la industria.

Los hallazgos indican que, aunque existen desafíos significativos, la industria está bien posicionada para un crecimiento sostenido, impulsado por la demanda de recubrimientos avanzados en sectores clave como la electrónica, la energía solar y los dispositivos médicos. La adopción de técnicas como el ALD mejorado con plasma (PEALD) está aumentando la eficiencia y reduciendo costos, lo que refuerza la competitividad del mercado.

Una observación clave del estudio es que la continua innovación en materiales precursores y métodos de recubrimiento es esencial para mantener el crecimiento y la competitividad de la industria. Además, las políticas gubernamentales y la creciente preocupación por el cambio climático están impulsando la adopción de energías renovables, lo que a su vez aumenta la demanda de tecnologías de recubrimiento avanzadas.

Este estudio proporciona una guía valiosa para las empresas que buscan adoptar o mejorar sus tecnologías de recubrimiento de capas delgadas. También destaca la importancia de la innovación y la adaptación continua para mantenerse competitivos en un mercado en rápida evolución. A pesar de las limitaciones del estudio, como la disponibilidad de datos específicos y el enfoque en ciertas regiones, las conclusiones subrayan la necesidad de investigaciones futuras para explorar cómo las nuevas tecnologías y métodos pueden seguir transformando la industria de los recubrimientos de capas delgadas.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones empíricas se centren en cómo las empresas pueden mejorar la eficiencia y la rentabilidad a través de la adopción de nuevas tecnologías y prácticas, y cómo pueden superar los desafíos asociados con la implementación de estas innovaciones.

## REFERENCIAS

*CVD Production Systems for Industrial Coatings powered by.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from [www.cvdequipment.com](http://www.cvdequipment.com)

*PVD Market Size Worth \$30.3 Billion By 2027 | CAGR: 6.1%.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

*Physical Vapor Deposition Market Size | PVD Industry Report 2027.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/physical-vapor-deposition-pvd-market>

*Global Spin on Materials Market Market: Industry Analysis & Outlook.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketintellix.com/report/global-spin-on-materials-market-50004>

*Spin sur le marché des matériaux de rapport est en plein essor Les dernières tendances dans le monde.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketreportsinsights.com/industry-forecast/spin-on-materials-industry-83874>

*Spin-on Materials Market Report | Global Forecast To 2028.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://industrygrowthisights.com/report/spin-on-materials-market/>

*Electrochemical Deposition (ECD) Market Report – Research, Industry Analysis Reports and Market Demands.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.reportsandmarkets.com/reports/global-electrochemical-deposition-eed-market-4340491>

*Global Electrochemical Deposition Ecd Market – Market Reports World.* (n.d.). Retrieved September 11, 2021, from <https://www.marketreportsworld.com/global-electrochemical-deposition-eed-market-18842697>

*Electrochemical Deposition (ECD) Market Recent Trends.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.openpr.com/news/2359032/electrochemical-deposition-eed-market-recent-trends>

*Global Electrochemical Deposition Ecd Market – Industry Reports.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.businessgrowthreports.com/global-electrochemical-deposition-eed-market-18842697>

*Chemical Vapor Deposition (CVD) Market Size, Share 2021 By Worldwide Industry Demand, Regional Overview, Trends Evaluation, Top Manufacture, Business Growth Strategies and Forecast to 2024 with CAGR of 7.92% | Says Precision Reports - MarketWatch.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.marketwatch.com/press-release/chemical-vapor-deposition-cvd-market-size-share-2021-by-worldwide-industry-demand-regional-overview-trends-evaluation-top-manufacture-business-growth-strategies-and-forecast-to-2024-with-cagr-of-792-says-precision-reports-2021-07-20>

*Epitaxial Wafer Market For Compound Semiconductor | Analysis - 2027.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.alliedmarketresearch.com/epitaxial-wafer-market-A06819>

*Global Spin on Materials Market Market: Industry Analysis & Outlook.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.marketintellix.com/report/global-spin-on-materials-market-50004>

*Chemical Vapor Deposition Market Size | CVD Industry Report, 2025.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chemical-vapor-deposition-cvd-market>

BCC Research. (2021). *Physical Vapor Deposition (PVD) Market Growth Analysis Report.* <https://www.bccresearch.com/market-research/manufacturing/physical-vapor-deposition-markets-report.html>

Research and markets. (20119). *Global Physical Vapor Deposition (PVD) Market 2019-2025.* <https://www.researchandmarkets.com/reports/4893904/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

*Epitaxy Deposition Market - Forecasts from 2021 to 2026.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.researchandmarkets.com/reports/5350965/epitaxy-deposition-market-forecasts-from-2021>

*Global Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) Systems Market Professional Survey Report 2020 - GII.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.giiresearch.com/report/qyr967978-global-plasma-enhanced-chemical-vapor-deposition.html>

*Global Physical Vapor Deposition (PVD) Market 2019-2025.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.researchandmarkets.com/reports/4893904/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

*PVD Market Size Worth \$30.3 Billion By 2027 | CAGR: 6.1%.* (n.d.). Retrieved September 10, 2021, from <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-physical-vapor-deposition-pvd-market>

Sundqvist, J. (2021). *ALD/CVD applications, equipment and precursors in high volume.* [https://www.slideshare.net/JonasSundqvist/aldcvd-applications-equipment-and-precursors-in-high-volume-manufacturing?qid=c05212de-b0a2-4204-af03-2993c1bbc857&v=&b=&from\\_search=2](https://www.slideshare.net/JonasSundqvist/aldcvd-applications-equipment-and-precursors-in-high-volume-manufacturing?qid=c05212de-b0a2-4204-af03-2993c1bbc857&v=&b=&from_search=2)

*BALD Engineering AB (@jv3sund) / Twitter.* (2021). <https://twitter.com/jv3sund/status/1433794259681955842/photo/1>

Engineering, B. (2021). *Aplicaciones ALD.* <http://www.blog.baldengineering.com/p/ald-applications.html>

**MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE:** Graduada en Ingeniería Civil por la Universidad Paranaense. Especialista en Gestión de Proyectos y Obras de Edificaciones (UEM - Universidad Estatal de Maringá). Máster en Ingeniería Urbana (UEM) y Doctora en Ingeniería Civil por la (UEL - Universidad Estatal de Londrina) trabajando con temas relacionados con el confort térmico de una edificación, más precisamente con la adición de materiales de cambio de fase en morteros. Actualmente es docente del Departamento de Tecnología (DTC) en los cursos de Ingeniería Civil y Tecnología de la Construcción Civil (UEM) en el Campus de Umuarama, impartiendo asignaturas de Confort Térmico, Hidrología, Hidráulica I, Laboratorio de Hidráulica I y II, Materiales de Construcción, Gestión de Obras, entre otras. Participa en proyectos de investigación y contribuye al desarrollo de los respectivos cursos.

**JOÃO HENRIQUE DE FREITAS:** Graduado por la Universidad Estatal de Maringá (UEM) en 2015, donde desarrolló su trabajo de fin de grado en el área de geotecnia, estudiando la relación entre el índice de penetración estática y dinámica con el módulo de resiliencia. Actualmente, es profesor en el curso de Ingeniería Civil de la UEM, donde desarrolla proyectos. Completó su Maestría en el Programa de Posgrado en Ingeniería Civil (PCV) de la UEM, con una investigación sobre el comportamiento de capas realizadas con suelo-cemento, suelo-cemento y polvo de piedra, y suelo-fibra de PET, utilizando pruebas de carga en placa. Actualmente, está cursando el Doctorado en el Programa de Posgrado en Ingeniería Civil (PCV) de la UEM, enfocándose en el estudio del refuerzo de suelos colapsables con la inserción de micro pilotes de suelo-cemento auto compactante.

## A

- Aguas residuales 1, 8
- Altavoz inteligente 15
- Análisis estático 18, 19
- Asistente 11, 12, 13, 14, 15, 16
- Asistente de voz 11, 12, 13, 14, 15, 16
- Automatización 11, 12, 13, 56

## B

- Biorremediación 1, 7, 9

## C

- Calor residual 26, 27, 28
- Caña de azúcar 1, 3, 10
- Cromo (VI) 1, 3, 4, 7, 8, 10

## E

- Eficiencia energética 26, 27
- Esfuerzos 18, 20, 22, 24

## I

- Innovación continua 37

## M

- Máquina de inyección 17, 18, 19, 20, 24

## O

- Óxido de aluminio 38, 39

## R

- Recubrimiento de Capa Atómica (ALD) 37, 38, 39, 42, 43, 47, 53, 60
- Recuperación de calor 26, 33, 36

## S

- Semiconductores 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 58
- Servicios energéticos 26
- Sistema 2, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 53, 54, 55, 56, 58, 59

## V

- Voz 11, 12, 13, 14, 15, 16

# INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# INGENIERÍAS EN PERSPECTIVA

ciencia, tecnología e innovación

3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)