

Volumen 4, Número 13 -- Enero -- Marzo -- 2020

ISSN 2523-6784

# Revista de Innovación Sistemática

ECORFAN®

## **ECORFAN-Taiwán**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

## **Revista de Innovación Sistemática,**

Volumen 4, Número 13, Marzo - 2020, es una revista trimestral editada por ECORFAN-Taiwán. Taiwán, Taipei. YongHe, ZhongXin, calle 69. CP: 23445. WEB [http://www.ecorfan.org/taiwan/rj\\_innovacion\\_sistemica.php](http://www.ecorfan.org/taiwan/rj_innovacion_sistemica.php), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Redactor Jefe: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC. ISSN 2523-6784. Responsable de la última actualización de este problema Unidad Informática ECORFAN. Escamilla Bouchán-Imelda, Luna Soto-Vladimir, actualizado al 31 de Marzo de 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual.

# **Revista de Innovación Sistemática**

## **Definición del Research Journal**

### **Objetivos Científicos**

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas de electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas.

ECORFAN-México S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de CONACYT con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales.

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas - Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados - Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación CONACYT.

### **Alcances, Cobertura y Audiencia**

Revista de Innovación Sistemática es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Taiwan, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de electromagnetismo , fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales , diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias de Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-México® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

## **Consejo Editorial**

DE LA ROSA - VARGAS, José Ismael. PhD  
Universidad París XI

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

LÓPEZ - HERNÁNDEZ, Juan Manuel. PhD  
Institut National Polytechnique de Lorraine

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

CENDEJAS - VALDEZ, José Luis. PhD  
Universidad Politécnica de Madrid

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

## **Comité Arbitral**

PURATA - SIFUENTES, Omar Jair. PhD  
Centro Nacional de Metrología

ALCALÁ - RODRÍGUEZ, Janeth Aurelia. PhD  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

GARCÍA - VALDEZ, José Mario. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

AGUILAR - NORIEGA, Leocundo. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Juan Miguel. PhD  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

GONZALEZ - MARRON, David. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

ZAVALA - DE PAZ, Jonny Paul. PhD  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada

URBINA - NAJERA, Argelia Berenice. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ALONSO - CALPEÑO, Mariela J. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Atlixco

FERREIRA - MEDINA, Heberto. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ÁLVAREZ - GUZMÁN, Eduardo. PhD  
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Innovación Sistemática emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.

## **Declaración de Autoría**

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación del Artículo y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-CONACYT- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor (Correo y Teléfono) e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor del Artículo.

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción del Artículo notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

## **Proceso de Arbitraje**

Todos los Artículos se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homólogo de CONACYT para los capítulos de América-Europa-Asia-África y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

## **Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación**

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Electromagnetismo, fuentes de distribución eléctrica, innovación en la ingeniería eléctrica, amplificación de señales, diseño de motores eléctricos, ciencias materiales en las plantas eléctricas, gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos está *Tecnología para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz*, por MARCIAL, Ana Delia & VALLES, Jazmín Edith con adscripción en la Universidad Politécnica Juventino Rosas, como siguiente artículo está *Construcción y control de un puente H a partir de MOSFETS para utilizarlo como inversor en el calentamiento por inducción*, por PÉREZ-PÉREZ, Arnulfo, MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, Jorge Merced, MORENO-REYES, José Miguel y GARCIA-DUARTE, Oscar Enrique con adscripción en la Universidad Politécnica de Juventino Rosas, como siguiente artículo está *Integración y gestión por computadora de sistema automatizado para la ejecución de tarea de pintado* por RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, CARREÓN-MÁRQUEZ, Diego César, RODRÍGUEZ-LOMELÍ, José Alberto y FELICIANO-VELÁZQUEZ, Néstor David con adscripción en la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, como siguiente artículo está *Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones* por LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo, DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto y RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo con adscripción en la Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes y la Universidad de Guadalajara, respectivamente.

## Contenido

	<b>Artículo</b>	<b>Página</b>
	<b>Tecnología para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz</b>	1-7
	MARCIAL, Ana Delia & VALLES, Jazmín Edith <i>Universidad Politécnica Juventino Rosas</i>	
	<b>Construcción y control de un puente H a partir de MOSFETS para utilizarlo como inversor en el calentamiento por inducción</b>	8-13
	PÉREZ-PÉREZ, Arnulfo†, MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, José Merced, MORENO-REYES, José Miguel y GARCIA-DUARTE, Oscar Enrique <i>Universidad Politécnica de Juventino Rosas</i>	
	<b>Integración y gestión por computadora de sistema automatizado para la ejecución de tarea de pintado</b>	14-20
	RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, CARREÓN-MÁRQUEZ, Diego César, RODRÍGUEZ-LOMELÍ, José Alberto y FELICIANO-VELÁZQUEZ, Néstor David <i>Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes</i>	
	<b>Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones</b>	21-26
	LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo, DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto y RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo <i>Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes</i> <i>Universidad de Guadalajara</i>	

## Tecnología para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz

### Technology for conditioning antistatic uniforms used in the automotive industry

MARCIAL, Ana Delia†\* & VALLES, Jazmín Edith

*Universidad Politécnica Juventino Rosas, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Ana Delia, Marcial / ORC ID: 0000-0003-3865-5152

ID 1<sup>er</sup> Coautor: Jazmín Edith, Valles / ORC ID: 0000-0002-6880-2208

DOI: 10.35429/JSI.2020.13.4.1.7

Recibido Enero 10, 2020; Aceptado Marzo 30, 2020

#### Resumen

Como una parte fundamental para poder atender los requerimientos de servicios que el ramo Automotriz demanda, se busca investigar el proceso de Lavado de Uniformes Antiestáticos, como punta de lanza para la incorporación de servicios de primera necesidad para la industria automotriz. Sin lugar a duda, una de las necesidades esenciales de esta industria funge en el uso de Uniformes correctamente diseñados y tratados para su correcta operación en la aplicación, principalmente pintado de autopartes, que salvaguarde los estándares de calidad de los procesos y producto terminado de las empresas operan e impulsan el desarrollo del estado. El presente artículo muestra un análisis sobre el proceso de acondicionamiento, que prolonguen la vida útil de la prenda. Se realizará un análisis aleatorio de la vida útil de las prendas mediante equipos de última generación que miden el contenido de fibra de carbón en las prendas por medio de conductividad. Siendo este un indicador primordial para garantizar la seguridad de los uniformes en las cabinas de pintado del sector automotriz.

#### Abstract

As a fundamental part to be able to comply with the requirements of the services demanded by the automotive branch, it seeks to investigate the process of washing antistatic uniforms, as a spearhead for the incorporation of essential services for the automotive industry. Undoubtedly, one of the essential needs of this industry is based on the use of properly designed and treated uniforms for proper operation in the application, mainly auto parts, which safeguards the quality standards of the processes and the finished product of the Companies that operate and manage state development. This article shows an analysis of the conditioning process, which prolongs the life of the garment. A random analysis of the life of the garments will be carried out using the latest equipment that measures the content of carbon fiber in the garments through conductivity. This is a main indicator to ensure the safety of uniforms in the paint booths of the automotive sector.

#### Acondicionamiento, Proceso, Uniformes antiestáticos

#### Conditioning, Process, Antistatic uniforms

**Citación:** MARCIAL, Ana Delia & VALLES, Jazmín Edith. Tecnología para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz. Revista de Innovación Sistemática. 2020. 4-13:1-7.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: amarcial\_ptc@upjr.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Derivado del alto desarrollo de la industria automotriz dentro del estado de Guanajuato, se presenta una gran oportunidad que el sector automotriz exige en beneficio de la consolidación de negocios dentro de la región, la centralización y desarrollo de empresas proveedoras, deriva en una alta necesidad de compenetrarse en los requerimientos que esta industria tiene en cuanto a desarrollo de tecnologías aplicables al ramo y suministros confiables.

Al realizar una perspectiva de las necesidades presentes y futuras de este mercado, se identifica que un proceso clave en la industria automotriz suele ser el pintado o repintado de partes.

La pintura es un producto que se aplica en distintas superficies, es por tanto un fluido de colores que, al secarse, se convierte en una película sólida que sirve para proteger y decorar el vehículo. Sin embargo, el proceso de pintado requiere de cuidados especiales en su desarrollo, así como de áreas específicas para llevarlos a cabo.

Dentro de la industria automotriz se emplea un Uniforme antiestático (Overol y escafandra) para cabinas de pinturas, estas prendas de vestir que, a consecuencia de su composición del tejido, limita la introducción y desprendimiento de partículas en el interior de un cuarto limpio.

La composición de estas prendas, deben estar conforme al método de prueba para la permeabilidad al aire de telas textiles de acuerdo a la ASTM D737-96.

Otra importante función de estas prendas es que sirven para disipar y aislar los campos electrostáticos los cuales son generados por la fricción entre el cuerpo humano y los materiales con los cuales está compuesta la ropa, evitando así que dichos campos carguen de energía a sus componentes.

Considerando el impacto económico que tiene este segmento en el desarrollo económico del país y de la entidad, así como la importancia de generar conocimiento en este rubro, se realiza el presente documento para investigar la tecnología necesaria para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en las cabinas de pintura de la industria automotriz, como una pieza clave en los servicios de primera necesidad para el sector, como es, el uso de uniformes correctamente tratados para su efectiva operación en las cabinas de pintado de autopartes, que salvaguarde los estándares de calidad de los procesos y producto terminado de las empresas de este giro.

De tal forma la propuesta de la investigación pretende analizar tecnologías conjuntas que se emplean en el acondicionamiento de las prendas consistentes en: medición de flujo y presión de aire en cuarto limpio, medición de partículas para garantizar un ambiente menor a 1000 partículas por m<sup>3</sup> y no mayor a 0.5 micras, medición de la residualidad de partículas en uniformes así como indicadores de limpieza de los mismos, distintos usos de detergentes y limpiadores, siendo esto una matriz de investigación y desarrollo de las mejores alternativas en conjunto. Por tanto, se busca identificar las tecnologías necesarias para el lavado y acondicionamiento de uniformes antiestáticos para la industria automotriz, que garantice estar libre de partículas para su uso seguro en el área de pintado de autopartes.

En la primera parte del documento se presenta una explicación teórica del estado actual de la técnica, incorporando información sobre las tecnologías disponibles en el mercado, así como artículos de investigación, normas aplicables y publicaciones consultadas con la finalidad de generar un diagnóstico del monitoreo tecnológico que contribuya a entender los elementos que intervienen en el acondicionamiento de los uniformes antiestáticos.

En el segundo punto se mencionan los aspectos metodológicos realizados en estudio, el método de investigación que se aplicó, se definen las variables de estudio consideradas, se explica el análisis efectuado, así como el proceso y el plan de muestreo que se llevó a cabo para recolectar datos.

En el tercer apartado se describen los resultados de la investigación. Se establecen los datos obtenidos de los análisis.

La última parte hace referencia a la conclusión una vez analizados los resultados de los indicadores establecidos para garantizar la seguridad de los uniformes en las cabinas de pintado del sector automotriz, con la cual podemos afirmar que para contar con uniformes correctamente tratados en cuanto a lavado se refiere para su garantía de uso, se deben mantener condiciones adecuadas para su tratamiento.

### Revisión de la literatura

Dentro de la industria automotriz se emplea un Uniforme antiestático (Overol y escafandra) para cabinas de pinturas, el cual conforme a las especificaciones establecidas por un fabricante de Uniformes para cuartos limpios para la línea automotriz, están fabricados con tela cuya composición está dada por un 98% poliéster y un 2% fibra de carbono, permitiendo un cambio de carga de 5000 a 50 volts en sólo 0.01 segundos, contando con una barrera de protección contra hongos, bacterias o partículas, tornándolo a su vez cómodo al permitir libertad de movimiento y facilitar la evaporación corporal, la mezcla de sus materiales reducen la probabilidad del desprendimiento de pelusa, permitiendo una cantidad determinada de lavadas establecidas por el fabricante.

En el momento de la fabricación de las prendas antiestáticas, estas son sometidas a métodos de prueba para medir la permeabilidad al aire de las telas de acuerdo con la ASTM D737 – 96, así como sus propiedades electrostáticas.

Para que se pueda tener un correcto manejo en el lavado de uniformes antiestáticos, es de vital importancia considerar la clasificación de los cuartos limpios en función de algunos criterios importantes como sus aplicaciones, de forma que se efectúe el control de partículas, así como las consideraciones y metodología a seguir en el funcionamiento de estos.

Gupta & Kaur (2017) describen la sala limpia como un espacio que minimiza la introducción, la generación y retención de partículas, mediante el suministro de altas cantidades de aire filtrado, donde el personal que labora en el cuarto limpio usa ropa que minimiza la dispersión de partículas y microorganismos, evitando así generar partículas y se puede limpiar fácilmente. Las salas limpias pueden también controlar la temperatura, la humedad, el sonido, la iluminación y la vibración.



**Figura 1** Cuarto limpio con personal que lleva ropa especial para salas limpias

Fuente: Gupta, A., Kaur, M. & Kaur, A. (2017)

Por tanto, un cuarto limpio es el área en la cual se minimiza la introducción, propagación y retención de partículas, por medio de 2 principios: Filtración de aire y presurización del cuarto. Teniendo controladas condiciones como humedad, temperatura, patrones de flujo de aire, presión y movimiento del aire en donde la concentración de partículas sea minimizada la introducción, generación y retención de partículas en el interior del cuarto, evitando así la contaminación de los productos (Castaño & Orozco, 2008).

En términos generales, un "cuarto limpio" es un cuarto cerrado que cuenta con un equipo que controla la cantidad de partículas en el aire al emplear filtros y presión de aire. Para cumplir con los requisitos de un "cuarto limpio", como se define en la norma federal 209E y las normas ISO más recientes, en todos los cuartos limpios no deben exceder el recuento de partículas especificado en la clasificación de cuartos limpios establecida en el ISO 14644-1.

Desde noviembre de 2001, el Estándar Federal 209E ha sido sustituido por la clasificación conforme a ISO 14644-1, donde sus estándares se midieron en metros cúbicos.

El método es sencillo; el número asignado a la clase es la clasificación a la que debe diseñarse la sala. En la nueva norma ISO 14644-1, la clase 3 es la más limpia.

Los cuartos limpios son clasificados de acuerdo con la limpieza del aire, como se indica en la Tabla 1, donde se muestra la clasificación en función del tamaño y la cantidad de partículas.

Clasificación	ISO 14644-1 Cuartos Limpios Estándar						Equivalente FED STD 209E
	Máximo de partículas / m <sup>3</sup>						
	≥0.1µm	≥0.2µm	≥0.3µm	≥0.5µm	≥1µm	≥5µm	
ISO 1	10	2.37	1.02	0.35	0.083	0.0029	
ISO 2	100	23.7	10.2	3.5	0.83	0.029	
ISO 3	1,000	237	102	35	8.3	0.29	Clase 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83	2.9	Clase 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Clase 100
ISO 6	1.0 x 10 <sup>6</sup>	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Clase 1,000
ISO 7	1.0 x 10 <sup>7</sup>	2.37 x 10 <sup>6</sup>	1,020,000	352,000	83,200	2,930	Clase 10,000
ISO 8	1.0 x 10 <sup>8</sup>	2.37 x 10 <sup>7</sup>	1,02 x 10 <sup>7</sup>	3.52 x 10 <sup>6</sup>	832,000	29,300	Clase 100,000
ISO 9	1.0 x 10 <sup>9</sup>	2.37 x 10 <sup>8</sup>	1.02 x 10 <sup>8</sup>	3.52 x 10 <sup>7</sup>	8.32 x 10 <sup>6</sup>	293,000	Apto de la habitación

**Tabla 1** Clasificación de la pureza del aire  
Fuente: Elaboración propia conforme a datos de la norma ISO 14644-1 [Microsoft Excel]

Reyes (2014) agrega que los cuartos limpios se clasifican de acuerdo con la pureza del aire. Existen cuartos limpios de 100 mil, 10 mil, 1 mil, 100, 10 y hasta una partícula por pie cúbico; se clasifican como clase 100 K (ISO 8), 10 K (ISO 7), 1 K (ISO 6), 100 (ISO 5), 10 (ISO 4) y 1 (ISO 3), respectivamente. Considerando que una micra es una centésima del ancho de un cabello humano de tal forma que la partícula más pequeña que puede ser identificada a simple vista es una partícula de 10 micras (Whyte, 2010).

Los cuartos o áreas limpias deben ser capaces de controlar de 0.01 y 0.05 partículas. Es importante recordar que existe una presión positiva dentro de los cuartos limpios, evitando así que ingresen nuevas partículas al área, sin embargo, los microorganismos provienen del personal que se encuentre dentro del área gracias a las células de la piel que desprenden y de otras partículas de los procesos que tengan lugar en la habitación.

Las normas Standard Federal 209 de Estados Unidos de América, la British Standard BS5295 así como la ISO 14644-1, establecen las características bajo las cuales debe operar un cuarto limpio, especificando y valorando los parámetros necesarios, con el objetivo de garantizar la calidad ambiental como: cargas térmicas especiales, condiciones térmicas, cambios de aire por hora, humedad relativa, ocupación en función del horario y la cantidad, requerimiento de aire exterior, vibración permitida, iluminación, control microbiológico, patrón de movimiento del aire, filtros y normas a cumplir, para lograr tener un control de las partículas en las áreas limpias evitando la contaminación del producto. Para el territorio mexicano, la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2015 en su Apéndice A, describe y clasifica los niveles de limpieza dependiendo de las áreas de fabricación, el número máximo permitido de partículas totales por m<sup>3</sup> considerando las condiciones estáticas/dinámicas, así como las partículas viables (UFM), estableciendo para ambas variables una frecuencia de monitoreo de estas. Adicional a ello se establecen parámetros como la presión diferencial y flujo de aire, cambios de aire (mínimos) por hora, temperatura y humedad, así como la vestimenta para trabajar dentro del área, cuyo caso para este trabajo se centrará en la clase ISO 6.

**Metodología**

La presente investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, la recolección de los datos se basó en instrumentos estandarizados, mediante la observación, medición y documentación de mediciones. Se utilizaron instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Se estudiaron las condiciones para el funcionamiento de un cuarto limpio denominado clase 1000, diseñado específicamente para el lavado de prendas antiestáticas usadas en las áreas de pintura de la industria automotriz, garantizando cero defectos en proceso a causa de vestimenta. Se analizan las condiciones generales del área diseñadas inicialmente para dar continuidad a todo el proceso de acondicionamiento.

Se monitorean los resultados de un cuarto limpio (con clase ISO 6) para el lavado de uniformes antiestáticos, para contar con un ambiente que se encuentre libre de impurezas, donde se emplean dispositivos para el monitoreo de la temperatura, la humedad, así como el flujo de aire que circula en el interior del área. Tomando en consideración las normas donde se establecen los parámetros adecuados que influyen en los procesos de eliminación de partículas, apoyado en procedimientos de trabajo, así como validaciones de métodos para efectuar un monitoreo continuo de las condiciones con las que opera el área limpia donde se efectúa el acondicionamiento de los uniformes.

En el conteo de partículas en el área, se aplican los conceptos de validación y clasificación de clase de aire reportado en la ISO 14644, en el muestreo se efectuarán conteos cuando el personal que opera en el área de lavandería se encuentra en descanso y cuando el personal se encuentra ejecutando el proceso de acondicionamiento.

Para garantizar la calidad requerida dentro del proceso de acondicionamiento de uniformes antiestáticos y encontrarse conforme a los requerimientos de las normas aplicables, es importante contar con herramientas que contribuyan a reducir riesgos dentro del proceso a través del establecimiento y aplicación de Buenas Prácticas de Manufactura (Valles, Sánchez, Carrillo, García & Esparza, 2015). Para el acondicionamiento correcto de los uniformes se analizan las condiciones de un cuarto limpio que cuenta con la tecnología especializada a través de una lavandería industrial, para el manejo de uniformes antiestáticos, donde se establecen prácticas de higiene a través de protocolos para la manipulación de éstas prendas, cuya finalidad sea garantizar un uniforme limpio, libre de partículas, sin alterar sus propiedades originales, considerando para ello las condiciones que deben controlarse durante todo este proceso.

## Resultados

Los criterios de aceptación para garantizar que la infraestructura que se emplea para el acondicionamiento de uniformes y se cumple con las condiciones necesarias para operar correctamente deberán estar apegadas a la NOM-059-SSA1-2015.

Identificando áreas críticas como el área de lavado y secado donde se mantendrá un acabado sanitario donde en la terminación de las superficies (paredes, pisos y techos) se evita la acumulación de partículas viables y no viables haciendo más fácil su limpieza.

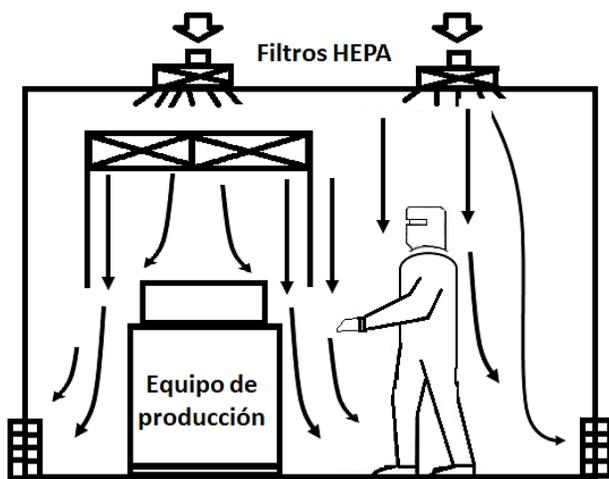
Se establecen protocolos de calificación para demostrar que los equipos, sistemas críticos, instalaciones, personal y proveedores cumplen con los requisitos previamente establecidos, la cual debe ser concluida antes de validar los procesos (ver Tabla 2).

Directrices para la obtención de Salas Limpia Clasificables Cuarto Limpio con Flujo Unidireccional	
Cambios de aire	Realizar medición
Equipo de control y monitoreo	Manómetro de presión diferencial
Filtración del aire	Filtros HEPA de alta eficiencia 99.97% en la retención de partículas de 0.3 $\mu$ , probados y certificados
Intensidad de iluminación	Diseñar a un mínimo de 100 pies candela a nivel de mesa de trabajo, incrementando conforme a necesidades de iluminación. Soportes especiales y las lámparas podrán ser sustituidas desde el interior del área limpia
Piso (Opcional piso elevado)	Piso recubierto con pintura epóxica resistente al polvo y a la grasa
Muros y techos(material)	Se mantendrá un acabado sanitario. Las paredes y el techo podrán ser pintados o recubiertos con material resistente al constante trabajo de limpieza.
Suministro de energía eléctrica	Todos los servicios (canaletas, interruptores, contactos) deberán estar empotrados y al ras de los muros y/o superficies. No deberán estar sobrepuestos. Accesos para servicios y/o mantenimiento deberán ser por el exterior del área limpia o corriente abajo de las áreas críticas
Sistemas de vacío y/o extracción	Extracción para cada acceso o paso de material

**Tabla 2** Características en relación con el diseño y la operación del cuarto limpio

Fuente: elaboración propia [Microsoft Excel]

Se analiza la instalación del sistema de aire del área de Lavado teniendo un flujo de aire unidireccional vertical. El aire entra al cuarto limpio por el techo, a través de filtros HEPA y se expulsa por las rejillas de extracción colocadas en la parte baja de los muros (ver Figura 2).



**Figura 2** Flujo de aire en el cuarto limpio  
Fuente: elaboración propia [CorelDRAW]

Este flujo arrastra la contaminación que se genera en su recorrido, fuera del área limpia de manera rápida y eficaz. Por lo tanto, las partículas generadas en la estación de trabajo son retiradas antes de que puedan adherirse a la superficie. La velocidad del aire está entre 0.3 y 0.45 m/s.

El control de aire contiene un sistema de filtros ventiladores generando un 99.97 por ciento de eficiencia, considerando las fichas técnicas del sistema de filtros HEPA, los cuales son de alta eficiencia para la retención de partículas de  $0.3\mu$  probados y certificados. El objetivo es que los uniformes estén libres de pelusa, polvo u hongos, ya que, si ese uniforme que se emplea en el proceso de pintura automotriz despiden polvo o partículas y éstas a su vez caen sobre la carrocería, al momento de que pasa la pintura va a presentar problemas en la superficie donde se aplique la pintura empleando el overol y la escafandra acondicionada para su uso.

En lo que respecta a instrumentación, se demuestra que la instrumentación del área se encuentra instalada de acuerdo con lo especificado, los dispositivos de medición como manómetros diferenciales, sensores de temperatura y humedad relativa, se encuentran calibrados en función de patrones de referencia, asegurando su trazabilidad con una incertidumbre apropiada. Se mide la eficiencia del equipo de lavado y secado de prendas en función de su carga, considerando por cada ciclo de lavado completo, el consumo de energía eléctrica y de agua.

El control de temperatura y humedad es uno de los factores relevantes que deben monitorearse en el área limpia, debido a que la presencia excesiva de agua en el aire puede contribuir a un crecimiento de bacterias en el ambiente. Considerando la Tabla 3, se presentan los resultados de La temperatura del cuarto limpio cuyo promedio fue de 24.75 °C con una humedad relativa (HR) de 57%.

	Hora de monitoreo	Espacio: cuarto limpio (°C)
Día 1	09:00	21
	15:00	30
Día 2	09:00	21
	15:00	29
Día 3	09:00	21
	15:00	27
Día 4	09:00	22
	15:00	29
Día 5	09:00	21
	15:00	26
Día 6	09:00	22
	15:00	28
	Tem. Prom.	24.75

**Tabla 3** Monitoreo de temperatura  
Fuente: elaboración propia [Microsoft Excel]

## Conclusión

La puesta en marcha de un cuarto limpio requiere un análisis previo para determinar el uso para el cual se pretende generar, de esta forma se podrá determinar la clase de cuarto y las especificaciones de los factores claves que deben de cumplirse. Considerando entonces las variables medidas y las especificaciones de ISO 14644 se pueden establecer condiciones favorables para el correcto acondicionamiento de uniformes antiestáticos.

Es importante tomar en cuenta que se está trabajando con prendas que son propiedad del cliente y lo que se busca es garantizar su correcta funcionalidad, por tanto es primordial establecer herramientas que contribuyan a generar buenas prácticas como protocolos y procedimientos para estandarizar la medición de parámetros claves para su funcionamiento de forma que se puedan establecer acciones para mantener el proceso en control, minimizando riesgos de afectar el proceso de pintura en la industria automotriz, por ello un cuarto limpio con los equipos e instrumentos necesarios para su monitoreo y operación es una forma efectiva de contribuir y sumar la cadena productiva del ramo automotriz.

El estudio de la nanotecnología comprende el trabajar con materiales y estructuras con magnitudes medidas en nanómetros, por ello puede encontrar aplicaciones en materiales, procesos de fabricación y tecnologías empleados para mejorar productos. En este sentido, la nanotecnología aporta un gran número de herramientas y técnicas que permiten mejorar las propiedades de los tejidos, específicamente en la composición de los uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz, a través de modificaciones de su superficie depositando nanomateriales sobre el tejido de las prendas para mejorar sus propiedades antiestáticas, fabricados en tela e hilo antiestático clase 1,000. Empleando al menos un 2% de fibra de carbono extendida por todo el tejido proporcionando una elevada disipación de la carga estática hacia tierra alejando al operario de los peligros en el manejo de disolventes y otros materiales inflamables. Entre los procesos que requieren el empleo de éste tipo de tecnología se encuentra la instalación de equipos electrónicos, el ensamble de componentes eléctrico, cuartos limpios, industria farmacéutica, así como el proceso de pintura de autopartes, entre otros.

## Referencias

ASTM D737-96, *Método de prueba para la permeabilidad al aire de tejidos textiles*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1996, Recuperado de: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D737-96.htm>

Castaño, J. C., & Orozco, C. A. (2008). *Metodología para el diseño de cuartos limpios*. Scientia et Technical, 6.

Gupta, A., Kaur, M. & Kaur, A. (2017). *Novel Food Processing Technologies: Clean Room Technology*. India: Nueva agencia editorial de la India

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México, D.F.: Editorial McGraw Hill.

ISO 14644-1:2015, *Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*

Melo, J. (2009). MUNDO HVAC&R. Recuperado de: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/06/cuartos-limpios/>

NOM-059-SSA1-2015, *Norma Oficial Mexicana para Buenas prácticas de fabricación de medicamentos*.

Reyes, E. (2014). MUNDO HVAC&R. Recuperado de: <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2014/11/cuartos-limpios-en-la-industria-automotriz/>

Valles, J., Sánchez, E., Carrillo, H., García, F. & Esparza, L. (2015) *Aplicación de buenas prácticas de manufactura en una lavandería industrial con tecnología especializada para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos*, (ppm 148-153). Compendio Investigativo de Academia Journals Córdoba 2015: Ciencias, Tecnología, Ingeniería, y Matemáticas, ISBN 978-1-939982-12-4.

Whyte, W. (2010). *Cleanroom Technology. Fundamentals of Design, Testing and Operation*. England: John Wiley & Sons, Ltd.

Sawhney, A. P. S.; Condon, B.; Singh, K. V.; Pang, S. S.; Li, G.; Hui, D. (2008) *Modern Applications of Nanotechnology in Textiles*. Text. Res. J. 731–739.

## Construcción y control de un puente H a partir de MOSFETS para utilizarlo como inversor en el calentamiento por inducción

### Construction and control of an MOSFET'S H bridge to use it as a inverter in induction heating

PÉREZ-PÉREZ, Arnulfo†, MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, José Merced, MORENO-REYES, José Miguel y GARCIA-DUARTE, Oscar Enrique

*Universidad Politécnica de Juventino Rosas. Carrera de Ingeniería en Metalúrgica. Hidalgo 102, Comunidad de Valencia, Juventino Rosas, Gto, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Arnulfo, Pérez-Pérez / ORC ID: 0000-0001-6354-8899, CVU CONACYT ID: 176434

ID 1<sup>er</sup> Coautor: José Merced, Martínez-Vázquez/ ORC ID: 0000-0002-6230-3846, CVU CONACYT ID: 93450

ID 2<sup>do</sup> Coautor: José Miguel, Moreno-Reyes / CVU CONACYT ID: 209863

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Oscar Enrique, Garcia-Duarte / ORC ID: 0000-0002-4781-8438

DOI: 10.35429/JSI.2020.13.4.8.13

Recibido Enero 12, 2020; Aceptado Marzo 30, 2020

#### Resumen

En este trabajo, se construyó y controló un puente H para utilizarlo como variador de frecuencia en el calentamiento por inducción electromagnética. Debido a que para este proceso se requieren distintos valores de frecuencia en función de su diámetro, es necesario ajustar la velocidad de los pulsos para cada caso específico. El puente H se construyó utilizando el MOSFET tipo N, modelo IRF640. Su capacidad de conducción es de 18 Ampere y puede operar a los 200 V. Para su manejo se utilizó el circuito integrado IR2110, el cual puede operar un puente de MOSFETS o de IGBTs que trabaje hasta los 500V. La generación de los pulsos se realizó con la placa Arduino. Como resultado, se logró una frecuencia a la carga de 5 KHz, la cual es suficiente para utilizarla en el calentamiento por inducción de una barra de acero de una pulgada de diámetro.

#### Puente H, MOSFET, Calentamiento por inducción

#### Abstract

In this work, an H bridge was built and controlled to be used as a frequency variator in electromagnetic induction heating. Due different frequency values are required for this process depending on its diameter, it is necessary to adjust the pulse rate for each specific case. The H bridge was built using the N type MOSFET, model IRF640. Its driving capacity is 18 Ampere and it can operate at 200V. For its operation, the integrated circuit IR2110 was used, which can operate a MOSFETS or IGBTs bridge that works up to 500V. Pulse generation was performed with the Arduino board. As a result, a load frequency of 5 KHz was achieved, which is sufficient for use in induction heating of an inch diameter steel bar.

#### H bridge, MOSFET, Induction heating

**Citación:** PÉREZ-PÉREZ, Arnulfo, MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, José Merced, MORENO-REYES, José Miguel y GARCIA-DUARTE, Oscar Enrique. Construcción y control de un puente H a partir de MOSFETS para utilizarlo como inversor en el calentamiento por inducción. Revista de Innovación Sistemática. 2020. 4-13:8-13.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los procesos de calentamiento de metales por el proceso de inducción necesitan de una fuente de energía de corriente alterna a una frecuencia con un valor que está determinado por las características eléctricas y dimensionales de las piezas. Existen muchas maneras de generar las frecuencias solicitadas para el calentamiento por inducción. Una de ellas es a través de un inversor de puente (ya sea medio o completo) y otro puede ser a través de un transformador. Los puentes inversores pueden ser de MOSFETS o de IGBTs que son elementos que pueden trabajar a frecuencias muy altas.

## Objetivo general

Activar un puente H completo de MOSFETS para genera una corriente alterna con la frecuencia de 5 KHz para que pueda ser utilizada en el calentamiento de probetas para ensayos Jominy.

## Metodología

El puente H es un arreglo de cuatro MOSFETS formando dos ramas, en donde llega una corriente directa en la parte superior y mediante la correcta activación en parejas, se puede generar en la parte baja del circuito, una corriente alterna a una frecuencia deseada.

## Determinación de la corriente eléctrica en el MOSFET

La corriente eléctrica que debe manejar el MOSFET está en función de la potencia requerida para calentar una probeta cilíndrica para ensayo Jominy cuyas dimensiones son 25.4 mm de diámetro y una longitud de 101.6 mm [1] y fabricada de acero. La temperatura a la que se debe llevar es de 920°C para asegurar una microestructura austenítica [2]. Para lograr esta temperatura, el calor que se debe agregar se determina mediante la ecuación:

$$H = \rho V [C_s (T_m - T_o)] \quad (1)$$

Donde  $\rho$ =densidad del acero,  $V$ =volumen del material a calentar,  $C_s$  = Calor específico del acero,  $T_m$ =Temperatura final y  $T_o$ = temperatura ambiente [3]. Sustituyendo los datos en (1), el calor  $H$  necesario para la fundición es

$$H = 0.37kg \left[ 473 \frac{J}{Kg * K} (1193.15K - 296.15K) \right]$$

$$H = 156984 J$$

Si se propone un tiempo de calentamiento de 10 minutos, la potencia ( $P_1$ ) requerida se determina dividiendo el calor  $H$  sobre el tiempo:

$$P_1 = \frac{156984 J}{10 \text{ min} \cdot \frac{60 s}{1 \text{ min}}} = 261.6W$$

También se calculan las pérdidas de calor por radiación en la pieza mediante la ecuación (2):

$$P_2 = \varepsilon \sigma S T_s^4 \quad (2)$$

Donde  $\varepsilon$  es la emisividad del acero (0.8 adimensional),  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ),  $S$  el área de la superficie emisora y  $T$  la temperatura del cuerpo emisor. Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene el siguiente resultado.

$$P_2 = (0.8)(5.67 \times 10^{-8})(0.009)(1193.15^4)$$

$$P_2 = 827 W$$

Al sumar la potencia  $P_1$  y la potencia  $P_2$ , se obtiene la potencia total.

$$P_T = P_1 + P_2 = 261.6W + 827W = 1088.6 W \quad (3)$$

Y la corriente que se requiere en el inductor y que pasará por el MOSFET se determina por la ecuación (4), proponiendo un voltaje de alimentación de 110V

$$P = VI \quad (4)$$

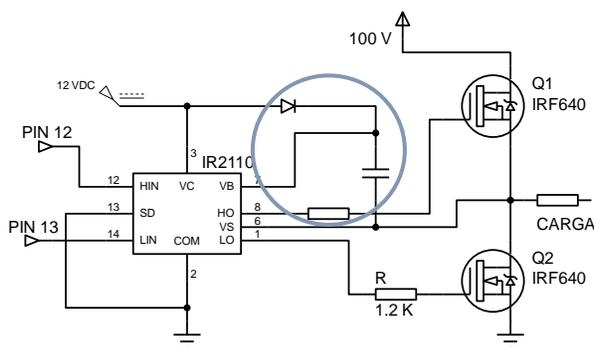
$$I = 1088.6/110 = 9.9A$$

Este resultado es importante, ya que permitió determinar las características eléctricas que debe tener el MOSFET que fue utilizado en el circuito.

## Diseño del manejador de compuerta para el MOSFET

El MOSFET que se propuso para este trabajo es el IRF640 de canal N debido a su alta capacidad de corriente en el drenador (18 A) y al voltaje que puede manejar (máximo 200V).

Existen diversas formas de manejar la compuerta de un MOSFET pero para este trabajo se eligió utilizar el circuito integrado IR2110. Su correcto funcionamiento depende de un adecuado cálculo del circuito Bootstrap, el cual está compuesto de una resistencia  $R_B$ , un diodo y un capacitor  $C_B$  (Figura 1).



**Figura 1** Circuito Bootstrap para IR2110, compuesto de un capacitor, una resistencia y un diodo  
Fuente: elaboración propia [ISIS]

El capacitor para el circuito Bootstrap es el resultado de dividir la carga del capacitor sobre la variación del voltaje que se manifiesta en el mismo [3], como se observa en la ecuación (5).

$$C_B = \frac{Q_T}{\Delta V_B} \quad (5)$$

Y la carga total  $Q_T$  se relaciona con las características del MOSFET de acuerdo a la ecuación (6)

$$Q_T = Q_G + Q_{SL} + I_l \frac{D_{H,max}}{f} \quad (6)$$

Donde los términos utilizados se muestran en la tabla 1 y corresponden a las características propias del MOSFET IRF640. Sustituyendo los datos en la ecuación (6), la carga total resulta:

$$Q_T = 70 \times 10^{-9} + 3 \times 10^{-9} + 200 \times 10^{-6} \frac{0.5}{5 \times 10^3}$$

$$Q_T = 93 \text{ nC}$$

Parámetro	Símbolo	Valor
Carga total a la compuerta	$Q_G$	70 nC
Carga interna requerida	$Q_{SL}$	3 nC
Corrientes de fuga presentes en la compuerta	$I_l$	200 uA
Ancho de pulso en el MOSFET superior	$D_{H,max}$	50%
Frecuencia de operación	$f$	5000 Hz
Voltaje compuerta a fuente	$V_{DSS}$	200V
Corriente continua del drenador	$I_D$	18A
Resistencia del drenador a la fuente en estado encendido	$R_{DS(on)}$	0.18Ω
Voltaje de la compuerta a la carga del MOSFET	$V_{GS}$	20V
Voltaje umbral de la compuerta a la fuente	$V_{GS(TH)}$	4V
Transductancia inversa	$g_{fs}$	6.7 S
Capacitancia de entrada	$C_{iss}$	1300pF
Capacitancia de transferencia inversa	$C_{rss}=C_{GD}$	130 pF

**Tabla 1** Parámetros del IRF640

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de [5]

La ecuación (7) es la que se utiliza para determinar el voltaje al que será sometido el capacitor del Bootstrap

$$\Delta V_B = V_{DD} - V_f - V_{GS,min} \quad (7)$$

Donde  $V_{DD}$  es el voltaje lógico suministrado por la fuente al IR2110,  $V_f$  es el voltaje de caída en el diodo Bootstrap modelo IR4007 y equivale a 0.6V. El valor  $V_{GS,min}$  corresponde al voltaje mínimo en la compuerta del MOSFET para que se mantenga encendido y es de 10V

$$\Delta V_B = 12 - 0.6 - 10 = 1.4 \text{ V}$$

Con estos resultados, se aplicó la ecuación (5) para determinar el valor del capacitor Bootstrap.

$$C_B = \frac{93 \text{ nC}}{1.4 \text{ V}} = 66.4 \text{ nF}$$

Debido a que no existen capacitores electrolíticos con esa capacidad, se seleccionó el de mínimo valor que corresponde al de 0.1 uF a 100 V.

La resistencia Bootstrap se relaciona por la ecuación (8)

$$D_{L,min} > 4R_B C_B f_s \quad (8)$$

Aquí  $D_{Lmin}$  es el valor de la duración (50%) del ciclo del MOSFET inferior y  $f_s$  es la frecuencia de operación del circuito. Al sustituir los datos que se tienen, la resistencia que resulta es

$$R_B < \frac{0.5}{4 * 0.1 \times 10^{-6} * 5 \times 10^3} = 250 \Omega$$

Dados los valores comerciales existentes, se selecciona una resistencia con valor de 270Ω.

Se deben agregar resistencias a la compuerta de los MOSFET durante el apagado y el encendido. Para el encendido se calcula con la ecuación (9):

$$R_{g(ON)H,L} = R_{tot} \cdot R_{DRV} \tag{9}$$

Donde  $R_{tot}$  es la resistencia total desde la compuerta del MOSFET hasta la fuente que opera el circuito IR2110 y  $R_{DRV}$  es la resistencia de la compuerta. Ambos valores se determinan por las ecuaciones (10) y (11) respectivamente [4]:

$$R_{tot} = \frac{V_{DD} + V_{GS}}{\left[ \frac{Q_{GS} + Q_{GD}}{\left( \frac{0.02}{f} \right)} \right]} \tag{10}$$

Los valores para las variables son el voltaje  $V_{DD}$  de la fuente con un valor de 12V y los demás datos se obtienen de la tabla 1.

$$R_{tot} = \frac{12 + 10}{\left[ \frac{13 \times 10^{-9} + 39 \times 10^{-9}}{\left( \frac{0.02}{5000} \right)} \right]} = 1692 \Omega$$

$$R_{DVR} = \frac{V_{DD}}{1.5 \left[ \frac{Q_G}{\left( \frac{0.02}{f} \right)} \right]} \tag{11}$$

$$R_{DVR} = \frac{12}{1.5 \left[ \frac{70 \times 10^{-9}}{\left( \frac{0.02}{5000} \right)} \right]} = 457 \Omega$$

$$R_{g(ON)H,L} = 1692 \cdot 457 = 1235 \Omega$$

Teniendo el resultado del valor de la resistencia que debe ir a la compuerta de los MOSFET para lograr el encendido, se selecciona una resistencia comercial de 1.2 kΩ.

También se debe determinar una resistencia de apagado para el MOSFET superior e inferior mediante la ecuación 12

$$R_G \leq \left[ \frac{V_{GS(TH)}}{\left[ \frac{Q_{GS} + Q_{GD}}{\left( \frac{0.02}{f} \right)} \right]} \right] - \left[ \frac{V_{DD}}{\left[ \frac{1.5 Q_G}{\left( \frac{0.02}{f} \right)} \right]} \right] \tag{12}$$

Sustituyendo datos que se obtuvieron de la hoja técnica del MOSFET IRF640 de Vishay [5]:

$$R_G \leq \left[ \frac{4}{\left[ \frac{13 \times 10^{-9} + 39 \times 10^{-9}}{\left( \frac{0.02}{5000} \right)} \right]} \right] - \left[ \frac{12}{\left[ \frac{1.5 \cdot 70 \times 10^{-9}}{\left( \frac{0.02}{5000} \right)} \right]} \right] = -4263.74 \Omega$$

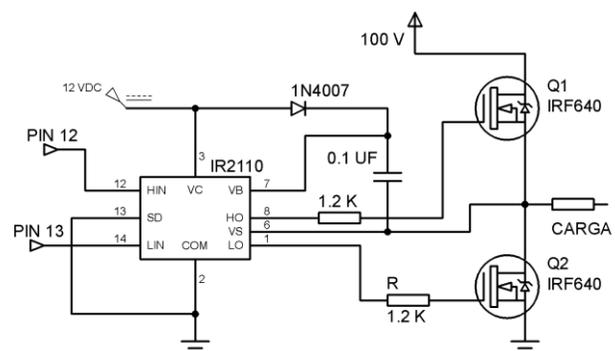
Ya que el valor es negativo, no se utilizará resistencia de apagado en la compuerta de los MOSFET.

### Programación de los pulsos

El elemento que se utilizó para generar los pulsos de activación del circuito fue la placa de Arduino, la cual es sencilla de programar y solo se pusieron en alto y bajo los pines 12 y 13 con periodos de tiempo de 50 uso para lograr la frecuencia de 5 KHz.

### Resultados

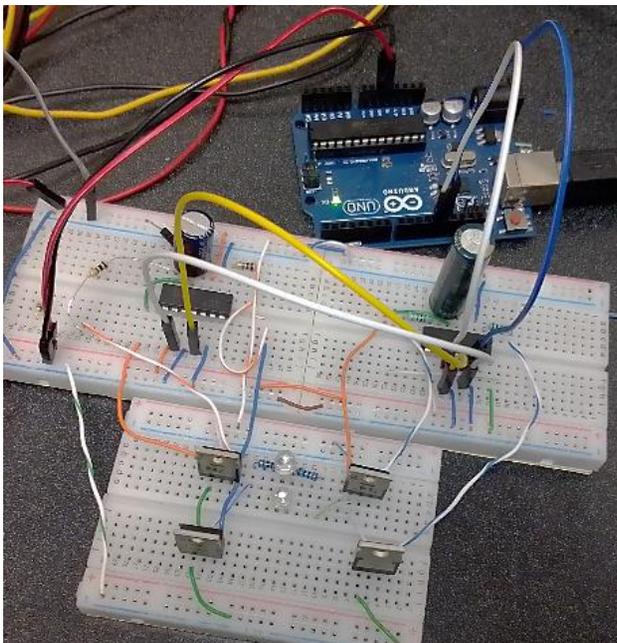
La figura 2 muestra la rama izquierda del circuito para generar una señal eléctrica a 5 KHz para calentamiento por inducción. Se muestran las características de los elementos eléctricos que se utilizaron para construir el circuito eléctrico, mismos que fueron calculados como se muestra en el desarrollo de este documento.



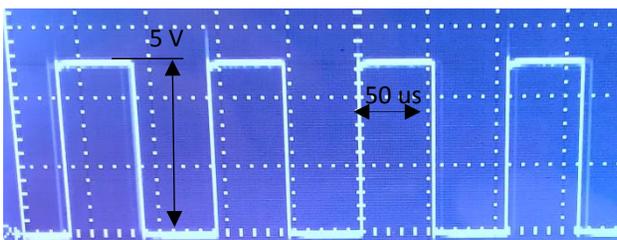
**Figura 2** Parte izquierda de un circuito inversor para utilizarse en el calentamiento por inducción  
Fuente: elaboración propia [ISIS]

Una vez desarrollado el circuito con el software ISIS y que se simuló, se compraron los elementos requeridos y se montaron en una protoboard (Figura 3). Para detectar su funcionamiento se colocaron leds en la carga y se alimentó el circuito con 12 volts y se programó la placa de Arduino para generar frecuencias de 10 Hz. Visualmente, se cercioro del encendido y apagado de los leds durante los tiempos programados.

Posteriormente se programó la placa de Arduino a la frecuencia requerida de 5000 Hz. Ya que no es posible observar esta frecuencia de funcionamiento a simple vista, se utilizó el osciloscopio DE LORENZO, como se muestra en la figura 4, para observar la señal de salida en las terminales digitales 12 y 13 de Arduino.



**Figura 3** Circuito de puente H construido. El control se realizó con una placa de Arduino uno  
Fuente: elaboración propia



**Figura 4** Señales de salida de la placa Arduino en el pin 13 para obtener una frecuencia de 5 kHz  
Fuente: elaboración propia

Como se observa, la señal que se programa (50  $\mu$ s en encendido y 50  $\mu$ s en apagado) es la que corresponde en el osciloscopio.

## Conclusiones

En este trabajo, fue posible la activación de los MOSFETs IRF640 de un puente H, mediante el diseño de un manejador de compuerta con el circuito integrado IR2110, mismo que incluye un circuito Bootstrap.

El cálculo de los elementos que forman el circuito Bootstrap se realizó cuidadosamente en función de la frecuencia a manejar para que el puente H tenga un correcto funcionamiento.

La placa Arduino fue útil en la generación de pulsos de entrada para el IR2110 logrando una frecuencia de 5KHz, misma que podría ser útil para utilizarla en el calentamiento por inducción de probetas para ensayo Jominy.

## Referencias

- [1] E. Lopez MARTINEZ, J. B. Hernandez Morales, G. Solorio Diaz, H. J Vergara Hernandez, O. Vazquez Gomez y P. Garnica González. (10 de Mayo 2013). Predicción del perfil de dureza en probetas jominy de aceros de medio y bajo carbono. Revista mexicana de ingeniería química, 12, 609-619.
- [2] William D. Callister, Jr. Fundamentals of materials Science and Engineering. An interactive e-text. Fifth edition. USA 2001
- [3] Mikel. P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna. McGrawHill. Mexico 2008.
- [4] Edwin Fabricio Enríquez Gutiérrez. (2018). Analisis y estudio de la eficiencia del convertidor buck síncrono bajo diferentes técnicas de gate driver y red snubber. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- [5] Fairchild Semiconductor Corporation. (18/12/14). *Design and application guide of bootstrap circuit for high-voltage gate-drive IC.* (AN-6076). Aurora, Colorado, USA. <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AN-6076.pdf>
- [6] Vishay intertechnology. (01/01/2019). IRF640, SiHF640. (S15-2667-REV.

- [7] Fredy Antonio Bolívar-Guerrero, Nelson L Diaz, Jhon Fredy Bayona Navarro. (2020). Diseño e implementación de un controlador digital tipo PID con pre-compensación para un Boost PFC de medio puente. Revista UIS Ingenierías, Vol 19, No 1., 179-192.
- [8] Jyoti M. Kharade, Vidya M. Patil, Onkar A. Bhadule, Shubhangi S. Patil, Sujit S. Jadhav. (2017). Comparison of Cascaded H-bridge Multilevel Inverter Topologies with THD Analysis. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol 6, No 9, 3324-3330. 29/06/2020, De <http://www.ijirset.com/> Base de datos.

## Integración y gestión por computadora de sistema automatizado para la ejecución de tarea de pintado

### Integration and management by computer of automated system for the performance of painting task

RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo†\*, CARREÓN-MÁRQUEZ, Diego César, RODRÍGUEZ-LOMELÍ, José Alberto y FELICIANO-VELÁZQUEZ, Néstor David

*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Martín Eduardo, Rodríguez-Franco* / **ORC ID:** 0000-0002-6804-4777, **Researcher ID Thomson:** T-1539-2018, **CVU CONACYT ID:** 660892

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Diego César, Carreón-Márquez* / **ORC ID:** 0000-0002-6465-7293, **OPEN ID:** 102596840636946943822, **CVU CONACYT ID:** 1047983

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *José Alberto, Rodríguez-Lomelí* / **ORC ID:** 0000-0003-3897-150X, **OPEN ID:** 109058887617333264393, **CVU CONACYT ID:** 1047920

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Néstor David, Feliciano-Velázquez* / **ORC ID:** 0000-0001-7060-641X, **OPEN ID:** 101253670055995094901, **CVU CONACYT ID:** 1048629

**DOI:** 10.35429/JSI.2020.13.4.14.20

Recibido Enero 18, 2020; Aceptado Marzo 31, 2020

#### Resumen

Este trabajo expone la implementación de un robot en configuración angular para el desempeño de la tarea de pintado de superficies; a partir del acondicionamiento de una herramienta de aspersión en su efector final. El monitoreo y control del robot son realizados mediante la integración de un sistema de regulación articular, basado en la resolución cinemática correspondiente, en comunicación con una interfaz por computadora, desarrollada a partir del software LabVIEW. Se contempla una operación de inspección de producto finalizado, cuya función recae sobre un sistema de visión adicionado a la misma interfaz de gestión. La propuesta de una trayectoria en el efector final que siga la forma exterior del objeto a pintar en combinación con el control de giro de una mesa giratoria, sobre la cual tal objeto permanece durante el proceso, ha permitido describir una mínima cantidad de ejecuciones de la secuencia de pintado para cubrir la totalidad de su superficie; arrojando resultados positivos. Se concluye en la conveniencia de esta implementación con orientación industrial, al conjuntar conocimientos teórico-prácticos esenciales en Ingeniería.

**Tarea de pintado, Sistema robótico, Sistema de visión por computadora**

#### Abstract

This paper exposes the implementation of a robot in angular configuration for the performance of surface painting task, since the conditioning of a spraying tool in its end effector. Robot monitoring and control are executed by integrating a joint regulation system, based on the corresponding kinematic resolution, in communication with a computer interface, developed from LabVIEW software. A finished product inspection operation is contemplated, whose function is performed by a vision system added to the same management interface. The proposal of a trajectory in the end effector that imitates the external shape of the object to be painted in combination with the rotation control of a rotating table, on which such object remains during the process, has allowed to describe a minimum quantity of executions of the painted sequence to cover its entire surface; showing positive results. It is concluded in the convenience of this implementation with industrial orientation, by combining theoretical and practical knowledge essential in Engineering.

**Painting task, Robotic system, Computer vision system**

**Citación:** RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, CARREÓN-MÁRQUEZ, Diego César, RODRÍGUEZ-LOMELÍ, José Alberto y FELICIANO-VELÁZQUEZ, Néstor David. Integración y gestión por computadora de sistema automatizado para la ejecución de tarea de pintado. Revista de Innovación Sistemática. 2020. 4-13:14-20.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: martin.rodriguez@utna.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Desde una perspectiva funcional, la pintura no únicamente dota al elemento sobre el cual se aplica, de una apariencia estética o con calidad a la vista, sino también brinda protección mecánica ante la corrosión y las condiciones del clima (Giamperi, et al., 2020) (Zhang, et al., 2016). En la actualidad, la técnica más empleada en la ejecución del proceso de pintura industrial, y en específico, automotriz, es la deposición y el curado. El primer proceso produce una capa muy uniforme en la superficie del objeto intervenido (Ju, et al., 2013), mientras el segundo proceso provee la adhesión permanente de la pintura mediante la aplicación de calor (Akafuah, et al., 2016). Ambos procesos son ejecutados dentro de ambientes cuyas condiciones son altamente controladas.

Necesidades emergentes de los procesos de pintura industrial apuntan a la reducción en el consumo de energía empleada (Giamperi, et al., 2020), la minimización en la emisión de partículas contaminantes (Rivera & Reyes-Carrillo, 2014) y el aumento en la eficiencia del proceso de transferencia y adhesión (Schulz, 2013), principalmente; un reto digno para la planeación de procesos inteligentes dentro de las denominadas “fabricas digitales”. Este término ha sido acuñado para referirse a procesos altamente automatizados y gestionados en forma remota, desde dispositivos móviles con acceso a Internet (Endregaard, 2002). La particularidad de tal despliegue de tecnología en los procesos industriales, promovida por la Industria 4.0, es efficientar su desempeño, optimizar el uso de recursos y conocer, en todo momento, la condición del mismo (Bysko, Krystek & Bysko, 2020).

Las características expuestas con anterioridad hacen del análisis a este tipo de procesos, una aplicación interesante desde el punto de vista académico y de investigación, a partir del cual, sea posible sintetizar y proponer metodologías que provean una mejora en su consecución y en el aprovechamiento de los elementos empleados.

## Antecedentes

La constante transformación industrial ha llevado a la innovación y optimización de los múltiples procesos ejecutados dentro de una empresa; un área clave en éstos, tal como es la manufactura, se ha visto envuelta en una actualización (Endregaard, 2002). Es así, que en hoy en día, la constitución de adecuados sistemas mecánicos que brindan sustento a un implemento, son un elemento dentro de un gran conjunto que implica una interacción con otras disciplinas tales como la electrónica, la computación y el control; lo que permite otorgar autonomía a sus funciones y el principio de la integración de máquinas inteligentes.

El área de pintado no es la excepción dentro de esta transformación, puesto que la aplicación de la robótica ha sido determinante para alcanzar estándares de calidad que originalmente eran impensables, adecuando los métodos empleados para la ejecución de una tarea rápida, limpia y de muy alta precisión (Pendar & Páscoa, 2019) (Zhang, et al., 2020), razón del presente estudio. Desde el punto de vista tecnológico, es necesario comprender un proceso para realizar alguna mejora en el mismo. Por lo cual, se ha despertado la curiosidad para analizar detalles de la operación de pintura industrial, con la finalidad de adaptar la teoría abordada durante la formación profesional en Mecatrónica para simular su acción, y de ser posible, orientar esfuerzos en focalizar áreas de oportunidad.

## Características del prototipo físico

Se parte del desarrollo y la implementación de un prototipo físico que consta de un robot en configuración angular con tres grados de libertad, en cuyo efector final fue adaptado un aplicador presurizado de pintura, como se muestra en la figura 1. Además, de adaptar una mesa rotatoria a este conjunto, con la finalidad de otorgar uniformidad en la aplicación de pintura sobre el objeto intervenido, en este caso piezas de barro, al rotar un determinado valor en grados proporcional a la cobertura alcanzada por la pintura al ser esparcida.



**Figura 1** Prototipo físico  
Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar, que los actuadores empleados para dotar de accionamiento a los sistemas móviles fueron motores de corriente directa, en el caso de las articulaciones del robot; mientras que para la mesa rotatoria se empleó un motor a pasos. El tipo de actuador adaptado al robot permitió la posterior implementación de sistemas de control en lazo cerrado para asegurar el posicionamiento preciso de éste en una localización espacial especificada por el usuario.

Mientras que, para la mesa, en la cual no era necesaria una alta precisión en la posición alcanzada, únicamente resultó necesario preservar una cantidad similar en el avance que la misma iba teniendo al ejecutar su rotación, por tanto, se optó por el motor a pasos al brindar tales características de desempeño.

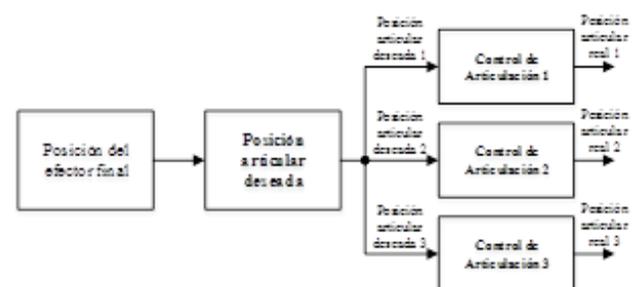
### Sistemas de control articular

Con la finalidad de cubrir la tarea de control tanto del robot como de la mesa giratoria empleada, fueron desarrollados controladores que llevaron la gestión de movimiento de cada articulación en el caso del primero y de la rotación de la segunda.

Cabe mencionar, que la aplicación de tales controladores principió con el uso de dispositivos analógicos como lo son amplificadores operacionales, mismos que luego fueron sustituidos por tarjetas electrónicas que, a través de la programación de un algoritmo de control, constituyeron un medio digital para el control de los sistemas mencionados.

Técnicas de control basadas en la suma de las acciones proporcional integral derivativa (PID) fueron consideradas para lograr un grado de manipulación adecuado del robot en su conjunto, lo cual es posible a través de la valoración de señales de referencia dadas para el posicionamiento de cada articulación en una localización espacial específica, así como la retroalimentación de las señales reales pertinentes que constataron el valor de tal ubicación.

De esta manera, un controlador PID promueve la mejora en la respuesta del sistema al cual sea aplicado, al disminuir el tiempo de elevación mediante la acción proporcional, reducir el tiempo de asentamiento y la magnitud del sobre impulso que pueda hacerse presente por medio de la acción derivativa y eliminar el error, a través de la acción integral (Somwanshi, Bundele, Kumar, & Parashar, 2019). La sinergia entre sistemas articulares del robot y las señales que permiten su funcionamiento se presentan en la figura 2.



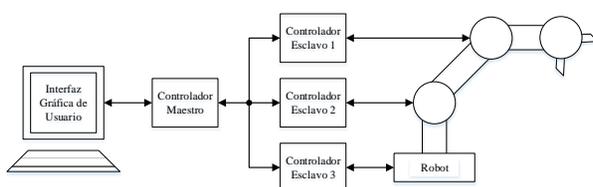
**Figura 2** Flujo de control para el robot  
Fuente: elaboración propia [Microsoft Visio]

El funcionamiento adecuado de los controladores empleados sólo fue posible, al aplicar metodologías de sintonización tales como la curva de reacción de Ziegler-Nichols, cuya respuesta fue mejorada por acción de algoritmos computacionales, programados en tarjetas electrónicas empleadas, los cuales propiciaron un desempeño apropiado. La señal de control deducida para cada articulación era destinada hacia una etapa de potencia independiente, cuya función es la adaptación de la corriente necesaria para efectuar una modificación en el comportamiento de cada actuador, según fuera requerido dada la posición espacial solicitada en el efector final.

## Sistema de comunicación

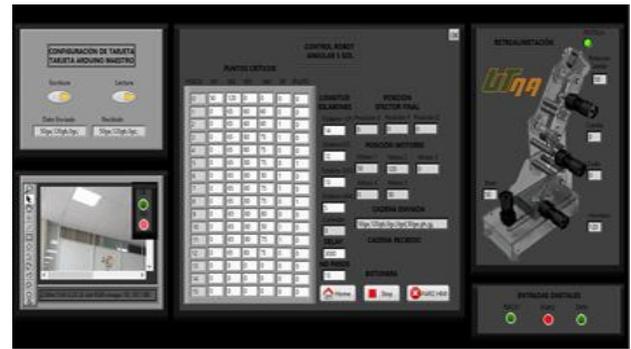
Las tarjetas controladoras, además de contener la programación para la regulación del posicionamiento de cada motor, también fueron dotadas para establecer comunicación con una interfaz gráfica integrada dentro de una aplicación por computadora, en este caso, un instrumento virtual desarrollado en el software LabVIEW. Asimismo, fue necesaria la conformación de una red para la gestión de la información entre los dispositivos empleados, adoptando una comunicación de tipo Maestro/Eslavo entre tarjetas controladoras, según se presenta en la figura 3.

Esta arquitectura cumpliría las funciones de distribuir la información proveniente de la interfaz por computadora y de concentración de los datos procedentes de cada sistema de control independiente, para realizar su retroalimentación hacia la misma interfaz.



**Figura 3** Estructura del sistema de comunicación  
Fuente: elaboración propia [Microsoft Visio]

A partir de la constitución de tal utilidad de control y monitoreo, fue posible el envío de las consignas de movimiento a cada uno de los actuadores de una manera coordinada. Lo anterior, puesto que, por el tipo de tarea a ejecutar, fue necesaria la descripción de un desplazamiento simultáneo de los motores al ejercer una rutina de pintura. Asimismo, la interfaz implementada cuenta con elementos que permiten visualizar, en una forma muy acercada al tiempo real, la evolución que va teniendo el movimiento articular, lo cual brinda certeza durante la ejecución de la tarea desarrollada, según se expone en la figura 4.



**Figura 4** Interfaz de gestión en LabVIEW  
Fuente: elaboración propia [LabVIEW]

## Generación de trayectorias

El movimiento simultáneo de actuadores fue logrado a través de un proceso de planeación de trayectorias robóticas que cubrieran desplazamientos para mantener el extremo del aplicador de pintura siempre a la misma distancia, o una distancia regular muy aproximada, del elemento a pintar; esto con la finalidad de ejecutar una operación de pintado lo más uniforme posible.

Por lo cual, fue necesaria la adecuación de las trayectorias propuestas a las formas disruptivas de la geometría del objeto a pintar; siendo previamente caracterizadas algunas dimensiones del objeto, para realizar una propuesta de desplazamientos que buscara además cubrir la mayor área con pintura en la menor cantidad de movimientos posibles, como se muestra en la figura 5.

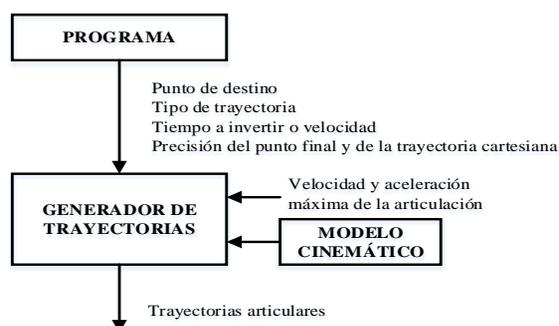


**Figura 5** Trayectoria propuesta para el proceso de pintura  
Fuente: elaboración propia

Para lograr la descripción de trayectorias, fue necesario el empleo de interpoladores generados por la misma interfaz de control, en combinación con el análisis de la cinemática inversa de la configuración robótica implementada, según se expresa en la figura 6.

En conjunto, tal análisis llevó a la deducción de las coordenadas cartesianas del efector final (en los ejes X, Y, Z) dado un movimiento específico de cada actuador, para buscar el posicionamiento requerido del aplicador de pintura en todo momento.

Para lograr tal cometido, se tuvieron que delegar adecuadamente las funciones realizadas directamente por cada controlador de articulación y aquellas emprendidas por la interfaz gráfica de gestión, respecto al control ejercido sobre el robot.



**Figura 6** Relación entre el modelo cinemático y la generación de las trayectorias  
Fuente: Barrientos, et al., 2007

### Sistema de inspección por computadora

La adaptación de un sistema de visión por computadora (figura 7), el cual fungió como elemento para la gestión en la calidad del objeto procesado, permitió identificar si éste contaba con las características adecuadas de cobertura de superficie propias, después de la ejecución de la operación de pintado, o sería necesaria la aplicación de nuevas capas.

Para lograr tal función, a la interfaz para la gestión del sistema por computadora le fue acondicionado el uso de una cámara USB, cuya acción se centró en la identificación del color de la pieza antes y después de ser procesada, para diferenciar el estatus de la misma, y ejercer el proceso de pintura en caso de que el objeto no hubiese sido intervenido, o cesar su acción, una vez revestida con pintura la totalidad de la superficie del objeto.



**Figura 7** Interfaz para inspección del proceso de pintura  
Fuente: elaboración propia [LabVIEW]

Realizándose la activación del proceso de pintura al ser detectada, por el sistema de visión, una pieza cuyo color original o base no coincidiera con aquel determinado para la presentación final del objeto intervenido. Fue en este punto que, en búsqueda de lograr los objetivos de uniformidad, limpieza y precisión en el proceso de pintura, se realizó la adaptación de la mesa rotatoria sobre la cual descansaba el objeto intervenido durante su procesamiento, según se aprecia en la figura 8. Tal mesa gira para permitir que el robot describa siempre un mismo tipo de trayectoria, de una manera repetida, hasta alcanzar la cobertura total de la pieza con pintura.



**Figura 8** Mesa giratoria con pieza  
Fuente: elaboración propia

### Resultados de operación del sistema

El empleo de un robot en configuración angular, para la ejecución de la tarea de pintado, ha provisto el posicionamiento de la herramienta de aplicación de pintura en puntos estratégicos que llevan a imitar la forma exterior del objeto intervenido. Lo anterior ha sido posible mediante el empleo del análisis cinemático respectivo, y a partir de éste, la propuesta de trayectorias para el ciclo de operación.

Es así, que la herramienta es conducida desde una posición de reposo hacia una posición de inicio de operación, en la cual el aplicador de pintura es activado, para describir el contorno exterior del objeto procesado, llegando a un punto de finalización de la operación, para retornar a tal herramienta a su posición de reposo, en espera de una nueva ejecución.

Tal condición ha significado la propuesta y preservación de una distancia apropiada entre ambos elementos: aplicador y objeto, con la finalidad de otorgar una relación adecuada entre la pintura esparcida y aquella captada en la superficie. Una ventaja de este proceder ha sido la mitigación de la acumulación de exceso de pintura en áreas con cierta concavidad, tal como el cuello del objeto como se muestra en la figura 9, lo que lleve al desperdicio de ésta y posibles afectaciones sobre la mesa giratoria.

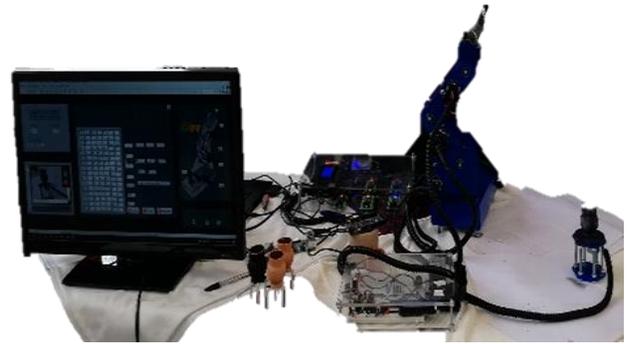


**Figura 9** Aplicador en función y cuello del objeto  
Fuente: elaboración propia

Es de resaltarse, la acción del sistema de visión por computadora integrado para el correcto desempeño de la operación de pintado. Puesto que, la función del prototipo no iniciaba sino a partir de la detección de pieza que requiriera ser sometida a tal operación. Por lo cual, para arrancar el proceso no bastaba con energizar el prototipo, ni presionar el botón de arranque dispuesto, sino que el sistema de visión detectará pieza presente sobre la mesa rotatoria, y por supuesto, esta pieza fuera del color original.

Cabe mencionar, que, una vez finalizado un ciclo de operación de pintado, si se decidía dejar a la pieza procesada sobre la mesa giratoria, su detección por parte del sistema de visión no provocaría el reinicio de tal operación; esto como efecto del color detectado en su superficie.

Por lo cual, la función del prototipo sería reiniciada hasta que la pieza procesada fuera retirada de la mesa giratoria y en su lugar, fuera colocada una pieza sin procesamiento previo. El conjunto del prototipo implementado y en funcionamiento se aprecia en la figura 10.



**Figura 10** Conjunto de prototipo e interfaz en operación  
Fuente: elaboración propia

## Conclusiones

El desarrollo de la presente aplicación constata su pertinencia como un elemento de estudio en cual convergen múltiples disciplinas de la ingeniería, por lo cual, su esencia mecatrónica es totalmente innegable. Asimismo, la orientación hacia la comprensión de un proceso industrial poco explorado desde la perspectiva académica y de investigación, como es pintura, convirtió a esta tarea en un reto para los ejecutantes, al buscar empaparse de los elementos requeridos para llevar al estudio y posterior implementación de un prototipo funcional que conjuntase las características básicas de tal proceso.

Finalmente, es posible adicionar más conocimiento en la optimización de los comportamientos alcanzados durante la fase de pruebas, con lo cual sea posible la obtención de un modelo con grandes similitudes al proceso real y que brinde al estudiante de Mecatrónica una noción básica de las implicaciones del conocimiento adquirido para con dicha área, como una opción para su ejercicio profesional.

## Referencias

- Akafuah, N. K., et al. (2016). Evolution of the automotive body coating process– a review. *Coatings*. 1-22.
- Barrientos, A., et al. (2007). *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGraw-Hill.

Bysko, S., Krystek, J., & Bysko, S. (2020). Automotive paint shop 4.0. *Computers & Industrial Engineering*. 1-13.

Endregaard, E. A. (2002). Paint robotics—improving automotive painting performance. *Metal Finishing*. 8-13.

Giamperi, A., et al. (2020). A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. *Applied Energy*. 1-29.

Ju, F., et al. (2013). Modeling quality propagation in automotive paint shops: an application study. *IFAC Proceedings Volumes*. 1890-1895.

Pendar, M.-R., & Páscoa, J. C. (2019). Numerical modeling of electrostatic spray painting transfer processes in rotary bell cup for automotive painting. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 1-26.

Rivera, J., & Reyes-Carrillo, T. (2014). A framework for environmental and energy analysis of the automobile painting process. *Procedia CIRP*. 171-175.

Schulz, D. (2013). Painting trends in the automotive industry. *Metal Finishing*. 38-40.

Somwanshi, D., Bundele, M., Kumar, G., & Parashar, G. (2019). Comparison of fuzzy PID and PID controller for speed control of DC motor using LabVIEW. *Procedia Computer Science*. 252-260.

Zhang, B., et al. (2020). Accurate dynamic modeling and control parameters design of an industrial hybrid spray-painting robot. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 1-13.

Zhang, N., et al. (2016). Characterization of automotive paint by optical coherence tomography. *Forensic Science International*. 239-244.

## Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones

### Demodulation of fringes pattern using different configurations

LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola†\*, JARA-RUÍZ, Ricardo, DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto y RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo

*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, Aguascalientes, Estación Rincón, Rincón de Romos, Aguascalientes, 20400 México.*

*Universidad de Guadalajara, Lagos de Moreno, Jalisco, 47460, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Yadira Fabiola, López-Álvarez* / **ORC ID:** 0000-0002-9041-1908, **Researcher ID Thomson:** T-1555-2018, **CVU CONACYT ID:** 375952

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ricardo, Jara-Ruiz* / **ORC ID:** 0000-0001-7725-4138, **Researcher ID Thomson:** T-1532-2018, **CVU CONACYT ID:** 630276

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Sergio, Delgado-Guerrero* / **ORC ID:** 0000-0003-2521-5887, **Researcher ID Thomson:** V-1747-2018, **CVU CONACYT ID:** 240475

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Martín Eduardo, Rodríguez-Franco* / **ORC ID:** 0000-0002-6804-4777, **Researcher ID Thomson:** T-1539-2018, **CVU CONACYT ID:** 660892

**DOI:** 10.35429/JSI.2020.13.4.21.26

Recibido Enero 18, 2020; Aceptado Marzo 31, 2020

#### Resumen

Las técnicas de no contacto para el análisis de deformaciones en superficies ha tenido gran auge y aceptación en diversos sectores de la ciencia. Cuando un haz de luz con características de coherencia temporal y espacial irradia sobre una superficie ópticamente rugosa, presenta una distribución aleatoria de la intensidad, dando lugar al fenómeno denominado moteado (speckle); dicho fenómeno es una representación de puntos brillantes y oscuros formados por la distribución al azar de dicha luz, esta distribución de patrones de speckle superpuestos generan franjas de interferencia, siempre que se tenga una diferencia de fase entre ellos, las cuales, dan información sobre el estado de deformación que sufre el material que es analizado. Este trabajo tiene como objetivo dar a conocer el procedimiento que se sigue para el análisis de deformaciones en materiales utilizando técnicas interferométricas. Se presentan diferentes configuraciones de franjas de interferencia, y se describe el procedimiento para su demodulación.

**Franjas de interferencia, Demodulación, Patrón de speckle**

#### Abstract

Non-contact techniques for the analysis of deformations on surfaces has had great boom and acceptance in various sectors of science. When a beam of light with characteristics of temporal and spatial coherence radiates about optically rough surface, it presents a random distribution of intensity, giving rise to the phenomenon called speckle; said phenomenon is a representation of bright and dark dots formed by the random distribution of said coherent light, this distribution of overlapping speckle patterns generate interference fringes, its fringes are presented when in second pattern fringes has phase difference between them, which, give information about the state of deformation suffered by the material that is analyzed. This work reports the procedure that is followed for the analysis of deformations in materials using interferometric techniques. Different configurations of interference fringes are presented, and the procedure for their demodulation is described.

**Interference Fringe, Demodulation, Pattern speckle**

**Citación:** LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo, DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto y RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo. Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones. Revista de Innovación Sistemática. 2020. 4-13:21-26.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: yadira.lopez@utna.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

### Origen del patrón de speckle

Cuando un haz de luz con características de coherencia temporal y espacial irradia sobre una superficie ópticamente rugosa, presenta una distribución aleatoria de la intensidad, dando lugar al fenómeno denominado moteado “*speckle*” (Rastogi, 2001); dicho fenómeno es una representación de puntos brillantes y oscuros. Esta intensidad es determinada por la suma coherente de las contribuciones de las amplitudes complejas, considerando que la superficie de estudio es rugosa comparada con la longitud de onda; a nivel microscópico una superficie mostrará una distribución al azar de las contribuciones de amplitud de las diferencias de fase en un punto de observación P. Como consecuencia de esto, la suma coherente de cada una de las amplitudes tanto oscuras como brillantes, dependerán de cuantas fases lleguen a pasar por el punto P (Rastogi, 2001). La metrología de speckle es una importante aportación en las técnicas de medición óptica, las recientes aplicaciones de esta técnica abarcan la mecánica experimental, ingeniería, medicina, entre otras ciencias (Sjoedahi, 1997), utiliza la correlación de la distribución de los puntos brillantes y oscuros llamados speckle formados en el espacio (Sjoedahi, 1997), dicho patrón de speckle es portador de gran información sobre la deformación de un objeto o los cambios de fase de un speckle en específico (Rastogi, 2001), (Johnson, 1998).

### Interferometría

Las técnicas de metrología óptica como la fotografía de speckle y la interferometría involucran técnicas fotográficas y el fenómeno de interferencia presente en el patrón de speckle, que es en sí, el resultado de interferencias múltiples de los mismos speckle. La diferencia principal entre estas dos técnicas es que para la fotografía de speckle, las imágenes adquiridas de la superficie difusora deben estar correlacionadas, sin embargo, si se forman franjas como resultado de la interacción de un par de patrones de speckle antes y después de la deformación de un objeto se le denomina interferometría de speckle; estas franjas son generadas al tomar el producto de estos dos patrones representando los contornos de los cambios de fase causados por la deformación del objeto.

La interferencia es entonces, la superposición coherente de un frente de onda en un punto dado; si dos campos tienen amplitudes complejas  $A_1$  y  $A_2$  y de intensidad  $I_1$  e  $I_2$  respectivamente, el resultado de esta superposición de los patrones de speckle producen un campo que es usualmente otro patrón de moteado y puede ser representado mediante:

$$\begin{aligned} I &= |A_1 + A_2|^2 \\ I &= |A_1|^2 + |A_2|^2 + A_1 A_2^* + A_1^* A_2 \\ I_T &= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

Donde  $\phi_1$  y  $\phi_2$  son las fases de las amplitudes complejas de los speckles individuales, esta diferencia de fases muestra la evolución mediante franjas de interferencia (Rastogi, 2001). Dentro de la interferometría son estudiados estos cambios de fase dependientes directamente de la aplicación, geometría, parámetros físicos, del grosor o del índice de refracción del objeto observado.

### Deformación inducida

Ya que las técnicas de metrología óptica involucran el estudio de cambios en distintos objetos, la deformación se puede presentar en las coordenadas  $(x, y)$ , mostrando una geometría distinta en cada caso, ya sea horizontal, vertical, circular o con alguna otra configuración.

### Demodulación de franjas de interferencia

Los métodos de demodulación convencionales utilizan Transformada de Fourier, esto para franjas abiertas  $(x, y)$ , (Muñoz, 2016), (Quan, 2010), incluso se ha utilizado transformada Wavelet (Bailic, 2019) y Hilbert (Trusiak, 2018). La distribución de la intensidad obtenida de un patrón de franjas dada por la Eq. (1), contiene la fase que se desea obtener  $\phi(x, y)$  y representa la variable física que está siendo estimada, para determinar este valor se utiliza la Transformada de Fourier, donde se localiza el centro del espectro Fourier  $\tilde{a}(u, v)$ ,  $C(u + t, v)$  y  $C^*(u - t, v)$ , son funciones conjugadas complejas que contienen la demodulación y la información de la fase en el dominio frecuencia (Takeda, 1982), (Muñoz, 2011).

$$\begin{aligned} \tilde{I}(u, v) &= F\{I(u, y)\} \\ \tilde{I}(u, v) &= \tilde{a}(u, v) + C(u + t, v) + C^*(u - t, v) \end{aligned} \quad (2)$$

Usando filtros paso banda y paso alto es posible obtener la información contenida en los términos  $C(u + t, v)$  y  $C^*(u - t, v)$ , y mediante la función  $\tan^{-1}$  obtener la fase envuelta (Muñoz, 2011).

$$\phi_w(x, y) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{imag}(F^{-1}(\tilde{I}(u,v)))}{\text{real}(F^{-1}(\tilde{I}(u,v)))} \right\} \quad (3)$$

Sin embargo, demodular franjas, en especial con una geometría circular y además que presenten ruido de interferencia, hacen de la demodulación un proceso en el que no es posible aplicar los métodos convencionales como Takeda, expuesto anteriormente.

Se han propuesto diversas metodologías para la demodulación de franjas de interferencia circulares, desde filtros parciales sobre el espectro de Fourier (Kreis, 1986). Kemao y Soon, exponen la demodulación guiada por frecuencia (Kemao, 2007), sin embargo, al resultado de la fase envuelta es necesario aplicarle algoritmos para determinar la deformación que es inducida al objeto, mediante la construcción de una imagen con características similares al interferograma original, usando ajuste de polinomios (Cuevas, 2002), (Mancilla, 2007), también se trabaja en métodos de partición de la imagen y superpuestas ligeramente (Toledo, 2008), (Cuevas, 2006), este método es capaz de demodular franjas con ruido y cerradas, sin necesidad de la aplicación de otro método para desenvolver.

La demodulación de un patrón de franjas puede estar estimado por dos variables, la primera relaciona la similitud que existe entre el interferograma obtenido de una medición física y el creado genéticamente, así como el ajuste entre la primera y segunda derivada de la función (Jiménez, 2012). En la actualidad se han utilizado métodos de algoritmos genéticos, métodos paramétricos, heurísticos como PSO (Particle Swarm Optimization) (da-Silva, 2014), (Kennedy, 1995), entre muchos otros, atendiendo a las características propias de cada interferograma.

### Motivación del trabajo

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar información sobre el proceso que se sigue en la demodulación de franjas de interferencia.

Surge la necesidad debido a que en la literatura es difícil determinar qué proceso es el más conveniente de utilizar para cada geometría. También, busca que alumnos de Física, Mecánica y Mecatrónica comprendan el proceso de la metrología óptica.

### Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron dos patrones de speckle según se indica en la Eq. (1), con deformación en las coordenadas  $(x, y)$  y con geometría circular según la ecuación  $x^2 + y^2$ . Para la demodulación de las primeras se utilizó la transformada de Fourier directa e inversa y para la demodulación de franjas cerradas se explica el proceso que es más adecuado.

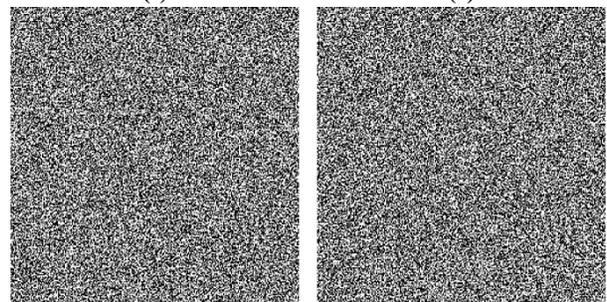
### Proceso de demodulación

1. Asignar valores a  $x = i, y = j$ , del tamaño de una imagen  $256 \times 256$ .
2. Declarar la variable de la deformación, esta determinará el cambio en la geometría de las franjas  $\phi_2 = 2\pi * x, y, x^2 + y^2$ , etc.
3. Aplicar la Eq. (1), considerando dos intensidades, una de referencia y otra con deformación.

$$I_1(i, j) = 127 + 128 * \cos \phi_1$$

$$I_2(i, j) = 127 + 128 * \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

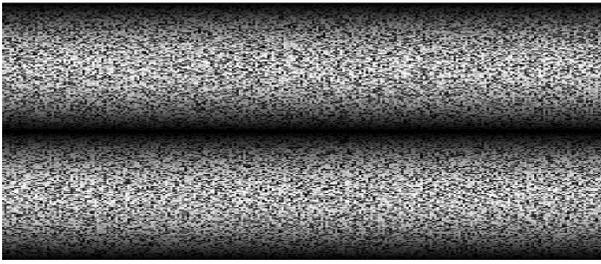
(a)
(b)



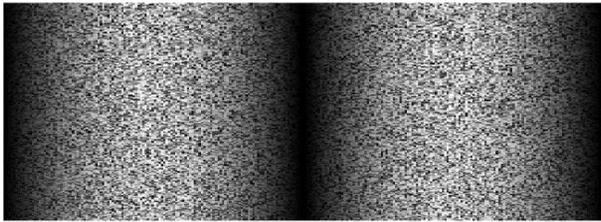
**Figura 1** Patrones de speckle (a) referencia  $I_1(i, j)$ , (b)deformado  $I_2(i, j)$

Fuente: elaboración propia [Matlab]

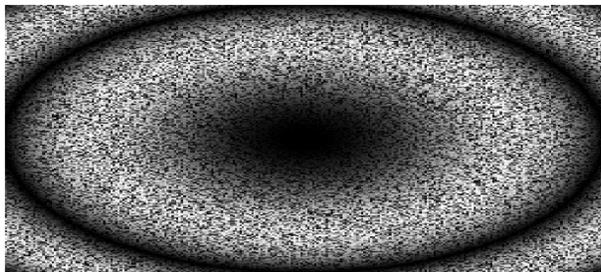
4. Ya que la interferometría es el resultado de la diferencia entre dos estados de intensidad.  $I_T = I_1 - I_2$ .



**Figura 2** Franjas de interferencia con deformación el eje x  
Fuente: elaboración propia [Matlab]



**Figura 3** Franjas de interferencia con deformación en el eje y  
Fuente: elaboración propia [Matlab]



**Figura 4** Franjas de interferencia con deformación en el eje  $(x^2+y^2)$   
Fuente: elaboración propia [Matlab]

Para la demodulación de las franjas con geometría horizontal y vertical, resultantes del paso 4, se utiliza la Transformada de Fourier directa e inversa. Mientras que para la demodulación de las franjas cerradas o circulares es necesario crear un interferograma artificial con las características del interferograma original, se puede determinar la fase envuelta del interferograma utilizando una aproximación en los valores del interferograma, sin embargo, el error en la demodulación puede aumentar.

**Demodulación de franjas de interferencia**

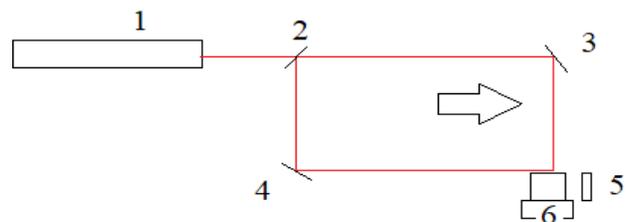
Obtener la trasformada de Fourier de cada interferogramas.

1. Crear filtro gaussiano y multiplicarlo por la trasformada del interferograma, paso 1.
2. Obtener la trasformada inversa de Fourier y aplicar la Eq. 3.

3. Para el caso de las franjas circulares, se aplican filtros basa banda en las coordenadas  $(x, y)$ .
4. Se determina la trasformada de Fourier directa e inversa de cada interferograma con filtrado en  $(x, y)$ , del paso 3 y se aplica la Eq. (3) a cada uno.
5. Se obtiene un interferograma sumando los obtenidos en el paso 4, con coordenadas en  $(x, y)$ .
6. A partir del interferograma anterior, se multiplica por la parte real e imaginaria del interferograma creado genéticamente, aplicándose la Eq. (3).

**Desarrollo experimental**

Para obtener patrón de franjas, se utilizó un interferómetro Mach Zehnder, construido con una fuente de luz coherente a 632.8 nm. Las imágenes se obtuvieron usando una cámara CCD XC-77, una computadora para procesar los datos.



**Figura 5** Interferómetro Mach Zehnder para obtener franjas de interferencia (1) Laser He-Ne, (2) Divisor de haz, (3), M1, (4) M2, (5) M3 y (6) CCD, la flecha indica una deformación en uno de los brazos del interferómetro  
Fuente: elaboración propia

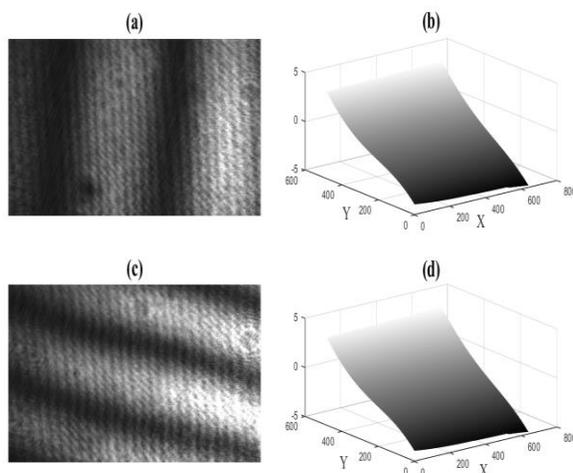
**Resultados**

Para la demostración del proceso de demodulación se introdujeron deformaciones en  $(x, y)$ , y  $(x^2+y^2)$ . La Figura 6, muestra (a) deformación en  $x$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia con deformación en  $x$ , (c) deformación en  $y$ , (d) mapa de fase de la deformación en  $y$ .

Cuando se presentan franjas de interferencia, ya sean horizontales y verticales, en general el mapa de fase característico se presenta con un plano, cuando este plano muestra curvaturas, significa que las franjas tomadas por el sistema de la Figura 5, tiene pequeños desplazamientos.

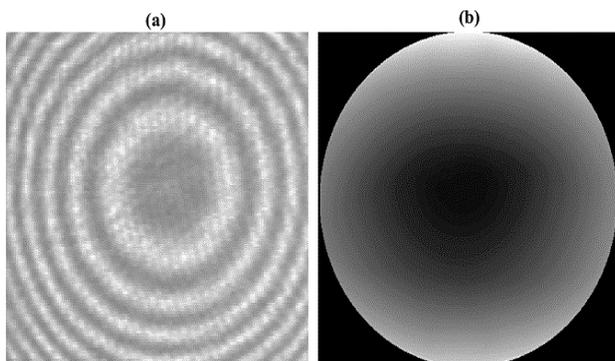
La Figura 7, muestra las franjas de interferencia circulares, en correspondencia con las obtenidas en la Figura 4. Se muestra, también, el mapa de fase obtenido con el proceso de demodulación descrito con anterioridad.

En este caso, es importante el método que se utilice para determinar las características del interferograma creado genéticamente, ya que los errores en la demodulación del interferograma se pueden ver en el centro del mapa de fase, Figura 7 (b).



**Figura 6** Franjas de interferencia, con deformación (a) deformación en  $y$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $x$ , (a) deformación en  $y$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $y$

Fuente: elaboración propia [Matlab]



**Figura 7** Demodulación del patrón de franjas circular, (a) franjas de interferencia con deformación  $(x^2+y^2)$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $(x^2+y^2)$

Fuente: elaboración propia [Matlab]

## Conclusión

En este trabajo se muestran y describen las técnicas de demodulación de franjas de interferencia con diferentes configuraciones, para obtener los interferogramas se introdujo una deformación en el sistema óptico, tomando los ejes  $(x, y)$ ,  $(x^2+y^2)$ . Se demostró que el mapa de fase para los interferogramas con deformación en los ejes  $(x, y)$ , se presenta de manera lineal; para el caso del interferograma circular el mapa de fase muestra un comportamiento de parábola. Para el caso de la demodulación del interferograma circular se considera un solo interferograma genético, para demodular los interferogramas experimentales, sin embargo, el uso de un interferograma genético para cada medición disminuirá los errores en las mediciones.

## Referencias

Bailich M., et al. (2019) “Multidirectional wavelet-based fringe analysis for surface diagnosis by optical profilometry”, *Procedia Comput. Sci.* 148, 627–636.

Cuevas F., Sossa J. and Servin M. (2002). “A parametric method applied to phase recovery from a fringe pattern based on a genetic algorithm,” *Opt. Commun.* 203, 213–223.

Cuevas F.J., Mendoza F., Servin M. and Sossa J. H. (2006). “Window fringe pattern demodulation by multi-functional fitting using a genetic algorithm,” *Opt. Commun.* 261(2), 231–239.

Da- Silva Maciel and. Albertazzi A. G. (2014). “Swarm-based algorithm for phase unwrapping,” *Appl. Optics* 53(24), 5502–5509.

Jiménez J., et al. (2012). “Demodulation of interferograms based on particle swarm optimization,” *Polibits*, 45(1), 83-92.

Kemao Q. and Soon S. H. (2007). “Sequential demodulation of a single fringe pattern guided by local frequencies,” *Opt. Lett.* 32(2), 127–129.

Kennedy J., and Eberhart R. (1995). “Particle Swarm Optimization” *R. Proc IEEE Int Conf Neural Netw*, 4, 1942–1948.

Kreis T., (1986). “Digital holographic interference-phase measurement using the Fourier transform method”, *J. Opt. Soc. Am. A.* 3(6), 847–855.

Mancilla E., et al. (2007). “Demodulation of Interferograms of Closed Fringes by Zernike Polynomials using a technique of Soft Computing,” *Eng. Lett.* 15, 99–104.

Muñoz, J., et al. (2016). Digital Processing, Techniques for Fringe Analysis, pp11.

Muñoz.J., et al. (2011). “Phase recovery from a single interferogram with closed fringes by phase unwrapping,” *Appl. Opt.* 50, 22–27.

Peder Johnson. (1998). Dual-beam Digital Speckle Photography, *Strain Field Measurements in Aerospace Applications.*

Quan C., Niu H. and Tay C.J. (2010). “An improved windowed Fourier transform for fringe demodulation”, *Opt. Laser Technol.* 42(1), 126–131

Rastogi P.K. (2001). Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques.

Sjoedahi Mikael, Synnergren Per, Johnson Peder. (1997). Applications of digital speckle photography in experimental mechanics, PIE 3098, *Optical Inspection and Micromasurement I.*

Takeda M., Ina H. and Kobayashi S. (1982). “Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry,” *J. Opt. Soc. Am.* 72 (1), 156–160.

Toledo L. and Cuevas F. J. (2008). “Optical Metrology by Fringe Processing on Independent Windows Using a Genetic Algorithm,” *Exp. Mech.* 48(4), 559–569.

Trusiak M., Styk A. and Patorski K. (2018) “Hilbert–Huang transform based advanced Bessel fringe generation and demodulation for full-field vibration studies of specular reflection micro-objects”, *Opt. Lasers Eng.* 110, 100–112.

**[Título en Times New Roman y Negritas No. 14 en Español e Inglés]**

Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1<sup>er</sup> Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2<sup>do</sup> Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3<sup>er</sup> Coautor

*Institución de Afiliación del Autor incluyendo dependencia (en Times New Roman No.10 y Cursiva)*

International Identification of Science – Technology an Innovation.

ID 1<sup>er</sup> Autor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Autor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 1<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 1<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 2<sup>do</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 2<sup>do</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

ID 3<sup>er</sup> Coautor: (ORC ID - Researcher ID Thomson, arXiv Author ID - PubMed Autor ID - Open ID) y CVU 3<sup>er</sup> Coautor: (Becario-PNPC o SNI-CONACYT) (No.10 Times New Roman)

(Indicar Fecha de Envío: Mes, Día, Año); Aceptado (Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

---

**Resumen (En Español, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Español)**

**Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)**

Objetivos  
Metodología  
Contribución

**Indicar 3 palabras clave en Times New Roman y Negritas No. 10 (En Inglés)**

---

**Citación:** Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†\*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Innovación Sistemática. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

\* Correspondencia del Autor (ejemplo@ejemplo.org)

† Investigador contribuyendo como primer autor

**Introducción**

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del Artículo

**Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente**

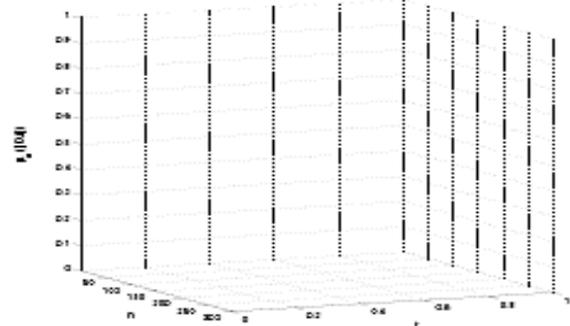
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

**Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables**

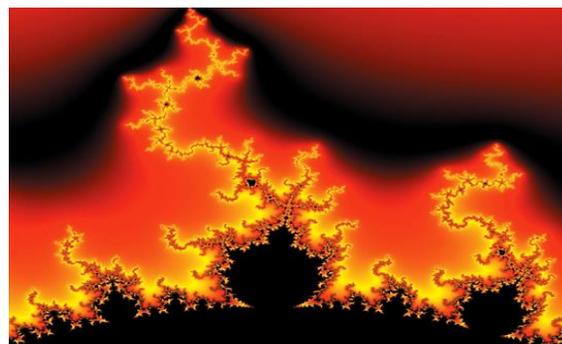
En el *contenido del Artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



**Gráfico 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



**Figura 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


**Tabla 1** Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

Cada Artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Título secuencial.

**Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:**

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

**Metodología a desarrollar**

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

**Resultados**

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

**Anexos**

Tablas y fuentes adecuadas.

## **Conclusiones**

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

## **Referencias**

Utilizar sistema APA. No deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del Artículo.

Utilizar Alfabeto Romano, todas las referencias que ha utilizado deben estar en el Alfabeto romano, incluso si usted ha citado un Artículo, libro en cualquiera de los idiomas oficiales de la Organización de las Naciones Unidas (Inglés, Francés, Alemán, Chino, Ruso, Portugués, Italiano, Español, Árabe), debe escribir la referencia en escritura romana y no en cualquiera de los idiomas oficiales.

## **Ficha Técnica**

Cada Artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## **Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:**

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Originalidad del Autor y Coautores

-Firma Autógrafa en Color Azul del Formato de Aceptación del Autor y Coautores

## **Reserva a la Política Editorial**

Revista de Innovación Sistemática se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar los Artículos a la Política Editorial del Research Journal. Una vez aceptado el Artículo en su versión final, el Research Journal enviará al autor las pruebas para su revisión. ECORFAN® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación del Artículo.

## **Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales**

### **Declaración de Originalidad y carácter inédito del Artículo, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución**

La Dirección de ECORFAN-México, S.C reivindica a los Autores de Artículos que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes del Artículo deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia del Artículo propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título del Artículo:

- El envío de un Artículo a Revista de Innovación Sistemática emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Artículo, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en este Artículo ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en el Artículo, así como las teorías y los datos procedentes de otros Artículos previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Artículo se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding Taiwan considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

## Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-México, S.C en su Holding Taiwan para su Revista de Innovación Sistemática, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada del Artículo y la puesta a disposición del Artículo en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título del Artículo:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

## Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

### Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre Artículos enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa.

### Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio al Artículo el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

### Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los Artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los Artículos que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter el Artículo a evaluación.

### **Responsabilidades de los Autores**

Los Autores deben garantizar que sus Artículos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Artículos definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del Artículo presentado a arbitraje.

### **Servicios de Información**

#### **Indización - Bases y Repositorios**

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

#### **Política Editorial y Administración**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: [contact@ecorfan.org](mailto:contact@ecorfan.org) [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

## **ECORFAN®**

### **Editor en Jefe**

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

### **Directora Ejecutiva**

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

### **Director Editorial**

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

### **Diseñador Web**

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

### **Diagramador Web**

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

### **Asistente Editorial**

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

### **Traductor**

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

### **Filóloga**

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

### **Publicidad y Patrocinio**

(ECORFAN® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

### **Licencias del Sitio**

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. [financingprograms@ecorfan.org](mailto:financingprograms@ecorfan.org)

### **Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista de Innovación Sistemática

“Tecnología para el acondicionamiento de uniformes antiestáticos empleados en la industria automotriz”

**MARCIAL, Ana Delia & VALLES, Jazmín Edith**  
*Universidad Politécnica Juventino Rosas*

“Construcción y control de un puente H a partir de MOSFETS para utilizarlo como inversor en el calentamiento por inducción”

**PÉREZ-PÉREZ, Arnulfo, MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, Jorge Merced, MORENO-REYES, José Miguel y GARCIA-DUARTE, Oscar Enrique**  
*Universidad Politécnica de Juventino Rosas*

“Integración y gestión por computadora de sistema automatizado para la ejecución de tarea de pintado”

**RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo, CARREÓN-MÁRQUEZ, Diego César, RODRÍGUEZ-LOMELÍ, José Alberto y FELICIANO-VELÁZQUEZ, Néstor David**  
*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes*

“Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones”

**LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola, JARA-RUÍZ, Ricardo, DELGADO-GUERRERO, Sergio Humberto y RODRÍGUEZ-FRANCO, Martín Eduardo**  
*Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes*  
*Universidad de Guadalajara*

