

ISSN 2523-6873

Volumen 3, Número 10 – Abril – Junio - 2019

# Revista de Ingeniería Innovativa



## **ECORFAN-Perú**

### **Editor en Jefe**

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

### **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 Ingeniería Innovativa**, Volumen 3, Número 10, de Abril a Junio 2019, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: [www.ecorfan.org/republicofperu](http://www.ecorfan.org/republicofperu), [revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe: MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD. ISSN 2523-6873. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Junio 2019.

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 Ingeniería Innovativa**

## **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 Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología.

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 Ingeniería Innovativa es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, 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 la Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología con 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 Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® 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**

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

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD  
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD  
Universidad Politécnica de Valencia

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD  
University of South Florida

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

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

LARA - ROSANO, Felipe. PhD  
Universidad de Aachen

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD  
Syracuse University

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD  
Institute of Technology

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD  
Universidad Gestalt

## **Comité Arbitral**

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

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

GONZALEZ - MARRON, David. PhD  
Instituto Tecnológico de Pachuca

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD  
Universidad Autónoma Metropolitana

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

LUGO - DEL ANGEL, Fabiola Erika. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

LICEA - SANDOVAL, Guillermo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

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

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

## **Cesión de Derechos**

El envío de un Artículo a Revista de Ingeniería Innovativa 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 Perú 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 mandara 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 homologo de CONACYT para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa 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 Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

Como primer artículo presentamos, *Inspección mecánico-visual de ampollitas farmacéuticas de vidrio mediante el uso de visión artificial y robótica*, por GARCIA-GUTIEREZ, Felipe De Jesús, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro, BARON- GUADARRAMA, Alma y SANCHEZ-MANCILLA, Luis Fernando, con adscripción en la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, como segundo artículo presentamos, *Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía*, por RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto, con adscripción en la Universidad de Guadalajara, como tercer artículo presentamos, *Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular*, por MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl, con adscripción en el Instituto Tecnológico de la Paz, como último artículo presentamos, *Implementación de un sistema de riego con recuperación de agua proveniente de la climatización en el sector Industrial*, por FUENTES-RUBIO, Yadira Aracely, ESQUEDA-WALLE, Ramiro, DOMÍNGUEZ-CRUZ, René Fernando y SALAZAR-CASTILLO, Yaaresi Milliset, con adscripción en la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Inspección mecánico-visual de ampollitas farmacéuticas de vidrio mediante el uso de visión artificial y robótica</b> GARCIA-GUTIEREZ, Felipe De Jesús, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro, BARON-GUADARRAMA, Alma y SANCHEZ-MANCILLA, Luis Fernando <i>Universidad Tecnológica del Valle de Toluca</i>	1-4
<b>Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía</b> RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto <i>Universidad de Guadalajara</i>	5-17
<b>Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular</b> MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl <i>Instituto Tecnológico de la Paz</i>	18-23
<b>Implementación de un sistema de riego con recuperación de agua proveniente de la climatización en el sector Industrial</b> FUENTES-RUBIO, Yadira Aracely, ESQUEDA-WALLE, Ramiro, DOMÍNGUEZ-CRUZ, René Fernando y SALAZAR-CASTILLO, Yaaresi Milliset <i>Universidad Autónoma de Tamaulipas</i>	24-30

## Inspección mecánico-visual de ampollitas farmacéuticas de vidrio mediante el uso de visión artificial y robótica

### Mechanical-visual inspection of pharmaceutical glass ampoules through the use of artificial and robotic vision

GARCIA-GUTIEREZ, Felipe De Jesús\*†, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro, BARON-GUADARRAMA, Alma y SANCHEZ-MANCILLA, Luis Fernando

*Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, Carretera del Departamento del D.F. km 7.5, Santa María Atarasquillo, Lerma, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Felipe De Jesús, Garcia-Gutierrez* / ORC ID: 0000-0003-4007-9430

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Israel Alejandro, Rojas-Olmedo* / ORC ID: 0000-0003-3501-0084

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Alma, Baron- Guadarrama* / ORC ID: 0000-0001-7898-7448

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Luis Fernando, Sanchez-Mancilla* / ORC ID: 0000-0002-3400-7521

DOI: 10.35429/JOIE.2019.10.3.1.4

Recibido Marzo 27, 2019; Aceptado Junio 30, 2019

#### Resumen

Uno de los problemas que enfrenta actualmente la industria farmacéutica en un proceso automático, es asegurar que mediante una sólo inspección visual tradicional se evalúen las características de las ampollitas de vidrio respecto a su apariencia en el acabado y el color. Además, de que estén libre de defectos como grietas, asperezas, excesos de material y rebabas en el producto terminado. En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de visión artificial automático, confiable y seguro para la inspección mecánica-visual, ordenamiento y empaquetamiento de ampollitas en la industria farmacéutica. Los elementos que componen el sistema son: un robot de la marca Mitsubishi RV-2FB-D, la controladora CR-750D, una cámara COGNEX, una banda transportadora, un motor de corriente directa y una ventosa neumática. Los resultados obtenidos en el proyecto permitieron validar el uso de la visión artificial para verificar dimensionalmente y visualmente ampollitas de color ámbar en un proceso automatizado, así como validar el ordenamiento de ampollitas en una misma posición dentro de su empaque.

**Robot Mitsubishi RV-2FB-D, Vision artificial, Camara Cognex, Ampollitas**

#### Abstract

One of the problems currently faced by the pharmaceutical industry in an automatic process, is to ensure that by means of a single traditional inspection system, the characteristics of the glass ampoules are evaluated with respect to their appearance in the finish and the color. In addition to being free of defects such as cracks, roughness, excess material and burrs in the finished product. In the present work, a prototype of automatic artificial vision was developed, reliable and safe for the mechanical-visual inspection, ordering and packaging of ampoules in the pharmaceutical industry. The elements that make up the system are: a robot of the brand Mitsubishi RV-2FB-D, the controller CR-750D, a camera COGNEX model ISM 1100-C11, a conveyor belt, a direct current (DC) motor and a vacuum suction cups, the latter responsible for taking the ampule. The results obtained in the project allowed to validate the use of artificial vision to visually and visually verify amber-colored ampoules in an automated process, as well as to validate the ordering of ampoules in the same position inside their packaging.

**Robot Mitsubishi RV-2FB-D, Artificial vision, Cognex Camera, Ampule**

**Citación:** GARCIA-GUTIEREZ, Felipe De Jesús, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro, BARON- GUADARRAMA, Alma y SANCHEZ-MANCILLA, Luis Fernando. Inspección mecánico-visual de ampollitas farmacéuticas de vidrio mediante el uso de visión artificial y robótica. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-10: 1-4

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: felipe.garcia@utvtol.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

En aplicaciones industriales el acabado superficial y las dimensiones de las piezas fabricadas son importantes para determinar su calidad debido a que estas se ensamblan con otras partes y tienen que acoplarse perfectamente. Las exigencias de fabricación de piezas de alta precisión y de calidad ha provocado que la industria en México cambie sus procesos de fabricación, de procesos manuales/semi-automáticos a procesos automatizados, y certifiquen sus procesos de fabricación contra la norma ISO 9000, requisito indispensable para exportar sus productos. Actualmente una forma de asegurar la calidad en el acabado de las ampollas en la industria farmacéutica es a través de la inspección de las cotas críticas de la pieza y de los aspectos visuales importantes del acabado de la pieza, mediante el uso de algoritmos de visión artificial.

## Sistema de Visión Artificial (SVA)

La visión artificial es la captación de imágenes en línea mediante cámaras y su posterior tratamiento a través de técnicas de procesamiento avanzadas, permitiendo así poder intervenir sobre un proceso (modificación de variables del mismo) o producto (detección de unidades defectuosas), para el control de calidad y seguridad de toda la producción [1]. El funcionamiento de un SVA se describe en cuatro pasos: El primero es la toma de imagen, el segundo el análisis de la imagen, el tercero envío de resultados y finalmente la toma de decisiones.

La inspección mecánico-visual de ampollas farmacéuticas desarrollado en este trabajo se realizó de la siguiente manera, primero las piezas (ampollas) arriban a la banda transportadora posteriormente el sensor detecta la pieza y envía una señal de disparo para posicionar al Robot Industrial Mitsubishi por encima del área de captura de la cámara COGNEX, ésta adquiere la imagen de la ampolla, los algoritmos del software se ejecutan en el sistema de visión realizando el procesamiento de la imagen y/o análisis de la imagen, sobre la imagen adquirida, la cámara envía una señal para posicionar el robot por encima de la ampolla en buen estado, para posteriormente toma la pieza mediante una ventosa neumática, redireccional y la deposita en su empaque.

## Diseño del prototipo

El prototipo estará conformado por el Robot RV-2FB-D de Mitsubishi, la controladora CR-750D, una cámara de la marca COGNEX modelo ISM 1100-C11, una banda transportadora, un motor de corriente directa (CD) de la marca Baldor y una ventosa neumática, esta última encargada de tomar la ampolla (ver figura 1). El software utilizado es In-Sight Explorer de COGNEX™, Melfa-Vision de MITSUBISHI™ y RT Toolbox de MITSUBISHI.

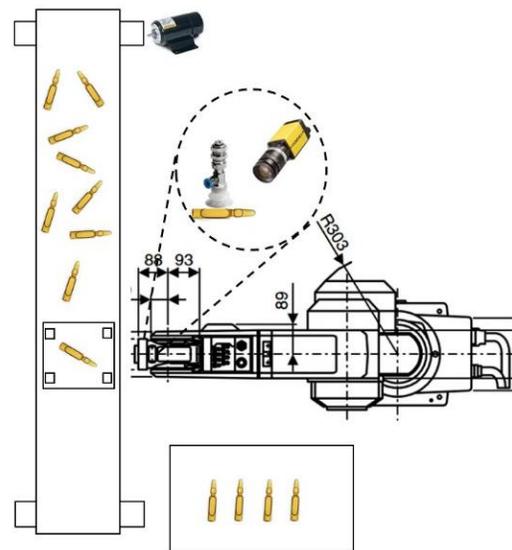


Figura 1 Diagrama esquemático del sistema

## Configuración y programación

Para llevar a cabo la inspección mecánico-visual automática de ampollas farmacéuticas, se usó la cámara marca COGNEX. La metodología que siguió fue la siguiente: Se configuraron los parámetros de la cámara y se calibró para la detección del área efectiva de detección, se sincronizó el robot con la cámara, para que esta última enviara la posición al robot, se programó una secuencia de posiciones para llevar la ampolla en buen estado detectada para a su empaque.

## Resultados

En la figura 2 se observa la integración de todos los elementos utilizados montados sobre una estructura de aluminio que limita el área de trabajo. Por otra parte, en la figura 3 se muestra con mayor detalle como se acoplo la cámara COGNEX, y la ventosa neumática al robot. La función de la ventosa es tomar la ampolla después de su detección.



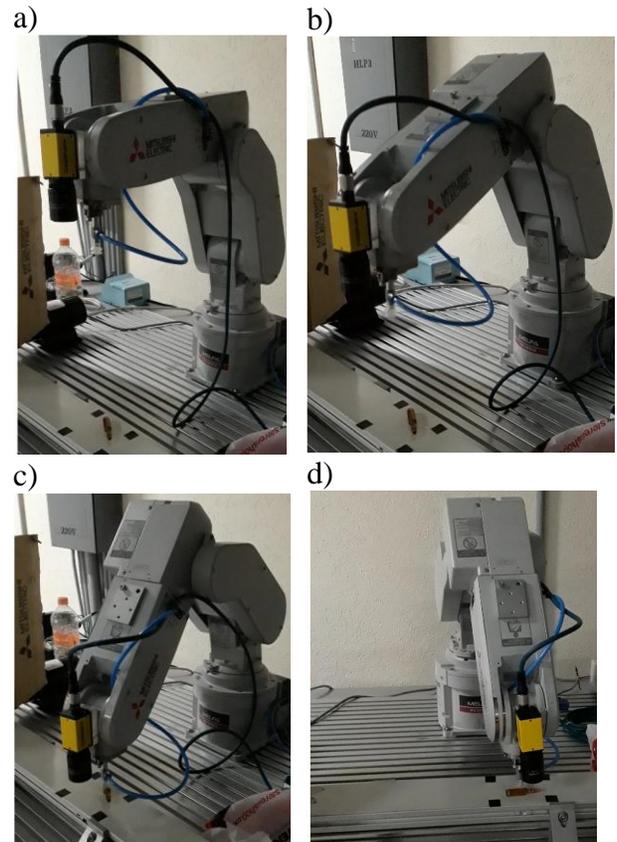
**Figura 2** Ensamble de la cámara, robot y ventosa neumática



**Figura 3** Detalle del ensamble de la cámara y la ventosa neumática

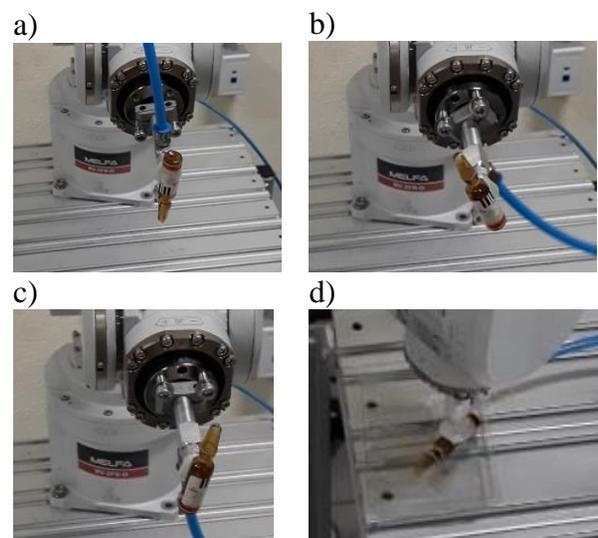
### Validación

Como se puede observar en la secuencia de la figura 4, inicialmente el robot se posiciona en la parte superior del área de detección limitada por cuatro cuadrados de color negro, para después tomar la imagen y procesarla, como resultado se obtiene las coordenadas X, Y de la ampollita dentro del área de detección, inmediatamente después el robot se posiciona en dichas coordenadas por encima de la ampollita para después desplazarse de forma vertical y tomarla mediante la ventosa neumática que es activada con una salida digital del puerto de la controladora.



**Figura 4** Secuencia de detección de la ampollita

Después activar la ventosa neumática y tomar la ampollita el robot gira lentamente ésta hasta ubicarla verticalmente como se muestra en las figuras 5a, 5b y 5c. Finalmente, el robot coloca la ampollita en su empaque (ver figura 5d), un instante después regresa a la posición de captura justo encima del área de detección y envía la orden para poner nuevamente en marcha la banda transportadora y repetir el proceso.



**Figura 5** Secuencia de sujeción y colocación de la ampollita en empaque

## Agradecimiento

El cuerpo académico de Mecatrónica de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca (UTVT) con clave UTVT-CA-5, agradecen Programa para el Desarrollo Profesional Docente, para el Tipo Superior (PRODEP), de la misma forma los autores agradecen a la UTVT, así como a la empresa Amats Electric S.A de C.V. el desarrollo del presente trabajo.

## Conclusiones

Sin duda uno de los grandes retos en los procesos automatizados es la inspección de partes a fin de asegurar la calidad de las mismas. El proyecto realizado permitió validar el uso de la visión artificial para verificar dimensionalmente y visualmente ampollas de color ambar. Con los resultados obtenidos fue también posible validar el ordenamiento de ampollas en una misma posición.

Sin embargo, uno de los problemas que se enfrentó durante el desarrollo del proyecto fue la detección de ampollas de color transparente, debido a la refracción de la luz que no permitió tener una imagen nítida y en consecuencia un patrón común para reconocer los bordes de la ampolla transparente y validar el acabado de la misma.

La correcta calibración del área efectiva permitió localizar las coordenadas correctas para que el efector final (ventosa) se posicionara justo en el centro de la ampolla para tomarla, reorientarla y posteriormente colocarla en forma consecutiva dentro de un empaque. Como trabajo futuro se pretende incluir el paletizado de las ampollas farmacéuticas, mejorar las condiciones de iluminación para que sea aplicable a ampollas de color transparente

## Referencias

Gobierno de España y Unión Europea. (2012). *Visión Artificial Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales*. Ministerio de Educación y Fondo Social Europeo, 26. 2018

Mitsubishi Electric (2010), MELFA Robots Industrial Robot Standard Specifications Manual RV-2SD/2SDB (CR1DA-700 series Controller), BFP- A8790-C, 136. 2018.

Mitsubishi. (2010). *Network Vision Sensor Instruction Manual*. Mitsubishi Industrial Robot (3D-51C-WINE, 4D-2CG5100-PKG-E, 4D-2CG5400-PKG-E, 4D-2CG5401-PKG-E, 4D-2CG5403-PKG-E, 4D-2CG5400C-PKG-E, 4D-2CG5400R-PKG-E, BFP-A8780), MELFA BFP-A8780-C, 166. 2018.

Mitsubishi. (2012). *Standard Specifications Manual (CR2DA-701/CR3D-701M/CR3D-701 Controller)*. Mitsubishi Industrial Robot, MELFA BFP-A8656-Y, 168. 2018.

Obregón, L. K. G., Rincón, L. A. F., & Suárez, O. M. D. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de visión artificial usando una técnica de mapeo y localización simultánea (SLAM) sobre una plataforma robótica móvil*. Mundo FESC, 8(16), 8-17.

Rubio, C., Patricio, J., & Díaz Quinga, J. R. (2018). *Diseño e implementación de un prototipo de sistema flexible de almacenamiento/recuperación (AS/RS) automatizado mediante visión artificial para el reconocimiento dimensional de módulos de almacenamiento y optimización de espacios, para el Laboratorio de Mecatrónica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.)*.

## Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía

### Design of a virtual photovoltaic microgrid, applying real-time energy monitoring, and behavior change theories for energy saving

RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel†, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto\*

*Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Tonalá, Instituto de Energía Renovable, Tonalá, Jalisco, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Francisco Daniel, Rentería-Macedo* / ORC ID: 0000-0003-3190-7046, Researcher ID Thomson: E-9922-2019, CVU CONACYT ID: 970060

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Santiago Martín, García-Guerrero* / ORC ID: 0000-0001-5127-8027, Researcher ID Thomson: F-1854-2019, CVU CONACYT ID: 970236

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Nicolás, Haro-Falcón* / ORC ID: 0000-0002-7139-7733, Researcher ID Thomson: F-5842-2019, CVU CONACYT ID: 388519

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Alberto, Coronado-Mendoza* / ORC ID: 0000-0002-6283-4911, Researcher ID Thomson: F-3483-2019, CVU CONACYT ID: 98169

DOI: 10.35429/JOIE.2019.10.3.5.17

Recibido 19 de Marzo, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

La reforma energética mexicana de 2013 permitió el desarrollo de nuevos modelos de gestión e infraestructura energética. Sin embargo, existe una creciente y desatendida evidencia de la relevancia del análisis del comportamiento humano en el consumo energético. Por ello, esta investigación integra, de forma interdisciplinaria, el diseño de una micro-red virtual y un mercado energético en el Centro Universitario de Tonalá, de la Universidad de Guadalajara, aplicando monitoreo energético en tiempo real y teorías para el cambio de la conducta. Primeramente, se propone el diseño de una micro-red virtual de 5 edificios, cada uno con una planta virtual de generación, dimensionada a partir de su demanda histórica y la generación de la planta fotovoltaica de 499 kWp, instalada en el Centro Universitario. Se cuenta con monitoreo en tiempo real, de consumo y generación, desde mayo de 2018. Fue a partir de estos datos, que se dimensionaron las plantas virtuales. Paralelamente, se aplica el Modelo Transteórico de las etapas del cambio y la Teoría de la Difusión de las Innovaciones, para diseñar una intervención orientada al cambio de hábitos de consumo energético en la comunidad universitaria y fundamentar la implementación de un mercado energético piloto.

**Micro-red, Monitoreo energético, Cambio de conducta**

#### Abstract

The Mexican energy reform of 2013 enabled the development of new management models and energy infrastructure. However, there is growing and unattended evidence of the weight of human behavior analysis in energy consumption. Therefore, this research integrates, with an interdisciplinary approach, the design of a virtual microgrid and an energy market in the Tonalá Campus of the University of Guadalajara, with real-time energy monitoring and behavior change theories. Firstly, the design of a virtual microgrid of 5 buildings, each with a virtual generation plant, is proposed. Each one dimensioned based on its historical demand and the generation of a 499-kWp photovoltaic plant, installed at the Campus. Both consumption and generation have real-time monitoring installed since May 2018. It was from this data that the virtual power plant for each building was dimensioned. Parallely, the Transtheoretical Model of the stages of change and the Diffusion of Innovation Theory, are applied to design an intervention to modify energy consumption habits in the Campus community and set the foundations of an energy market pilot program.

**Microgrid, Energy monitoring, Behavior change**

**Citación:** RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto. Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-10: 5-17

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: alberto.coronado@cutonala.udg.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

La eficiencia y el ahorro energético en edificaciones se han vuelto temas relevantes para hacer frente a la crisis socioambiental que representa el cambio climático, provocado principalmente por la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero (Allouhi et al., 2015). Sin embargo, la investigación relacionada al consumo energético ha tenido principalmente un enfoque tecnológico, a pesar de la creciente evidencia de la importancia de integrar el estudio del comportamiento humano (Sovacool, 2014). La demanda de energía es afectada tanto por las decisiones y comportamiento de los usuarios, como por el rendimiento técnico (Li, Hong & Yan, 2014). Existe un creciente número de estudios que argumentan a favor de integrar a las ciencias sociales en el campo de la eficiencia y el ahorro energético (Stern, Sovacool & Dietz, 2016; Sovacool, 2014; McKenzie-Mohr, 2011).

En respuesta al llamado a esta integración, diversos estudios han investigado cómo la visualización en tiempo real del consumo energético afecta las actitudes y conductas de los ocupantes de un edificio (Timm & Deal, 2016; Buchanan, Russo & Anderson, 2014; He, Greenberg & Huang, 2010; Kaiser, Hübner & Bogner, 2005). Por otro lado, en el contexto mexicano, la reforma energética de 2013 posibilitó el desarrollo de nuevos modelos de gestión e infraestructura energética (Alpizar-Castro & Rodríguez-Monroy, 2016).

El presente trabajo tiene por objetivo aportar a esta línea de investigación a través del diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo en tiempo real y estrategias para la adopción de nuevas conductas que promuevan el ahorro energético en una comunidad universitaria; específicamente, en el Centro Universitario de Tonalá (CUT), de la Universidad de Guadalajara (UDG).

## Contextualización: el caso del Centro Universitario de Tonalá

El CUT cuenta con monitoreo en tiempo real del consumo de electricidad de 5 edificios, así como de la generación eléctrica de una planta fotovoltaica con capacidad instalada de 499 kWp, ubicada dentro del Centro Universitario.

El periodo de estudio considerado en esta investigación abarca desde octubre de 2018 hasta mayo de 2019. Por otro lado, como parte del trabajo del grupo de Gestores de Energía del Centro Universitario, se tiene la meta institucional de reducir un 20% el consumo de cada edificio. El presente trabajo es la primera etapa del futuro diseño e implementación de un Mercado Energético en el CUT; proyecto a cargo del Instituto de Energías Renovables (IER), con el fin de involucrar a la comunidad universitaria en el ahorro de energía.

La construcción de la planta de generación fotovoltaica dentro del Centro Universitario, el IER, así como las políticas universitarias de eficiencia energética, forman parte del Plan Universitario Integral de Transición Energética (PUITE), de la UDG (Operadora Universitaria de Energía, 2017).

## Micro-redes virtuales como herramienta conceptual

El concepto de micro-red virtual se asemeja al de Planta de Generación Virtual (PGV), que puede definirse como una representación flexible de recursos energéticos distribuidos (Saboori, Mohammadi & Taghe, 2011). En el presente proyecto, se define a las micro-redes virtuales como una representación conceptual y simplificada de una micro-red eléctrica, a través de la división virtual de una planta de generación real y su redistribución en PGVs. En este proyecto, se secciona la planta de generación fotovoltaica con la que cuenta el CUT, con el propósito de integrarse como herramienta conceptual a estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía.

## Monitoreo energético y teorías del cambio de la conducta

Los factores que definen el comportamiento proambiental son tan complejos que el analizarlos con únicamente un modelo o teoría no es suficiente (Kollmuss & Agyeman, 2002). Algunas teorías dentro de la psicología del comportamiento humano, mayormente utilizadas en el sector de la salud (Nutbeam, Harris & Wise, 2010), han sido ya aplicadas para explicar la conducta humana en relación al ahorro de energía.

Como la Teoría del comportamiento planeado, el Modelo de valores, creencias y normas (Kaiser, Hübner & Bogner, 2005), y el Modelo Transteórico, que considera las distintas etapas en el proceso del cambio de la conducta (He, Greenberg & Huang, 2010). En este último modelo, se teoriza que los individuos transitan por distintas etapas para adoptar hábitos: 1) estar inconscientes o desinteresados, 2) considerar la posibilidad del cambio, 3) prepararse para el mismo, 4) tomar acción, y, finalmente, 5) mantener el comportamiento deseado a través del tiempo (Nutbeam, Harris & Wise, 2010). Por otro lado, la Teoría de la Difusión de las Innovaciones ha sido ampliamente utilizada para estudiar la adopción de nuevos métodos y tecnologías en grupos de población (Völlink, Meertens & Midden, 2002).

La transición energética ha sido teorizada como un proceso sociotécnico (Geels & Schot, 2007). Diversos estudios resaltan la importancia de volver visible el consumo de energía (Timm & Deal, 2016; Buchanan, Russo & Anderson, 2014; He, Greenberg & Huang, 2010); de re-materializarlo en términos económicos y ambientales (Burgess & Nye, 2008). El incremento en las posibilidades de realizar una transición hacia conductas que aporten a la sustentabilidad debe basarse en intervenciones que busquen comprender el comportamiento humano y las barreras al cambio (McKenzie-Mohr, 2011). Motivar una transición de conducta hacia un consumo energético sustentable es un problema psicológico, social y culturalmente complejo (He, Greenberg & Huang, 2010).

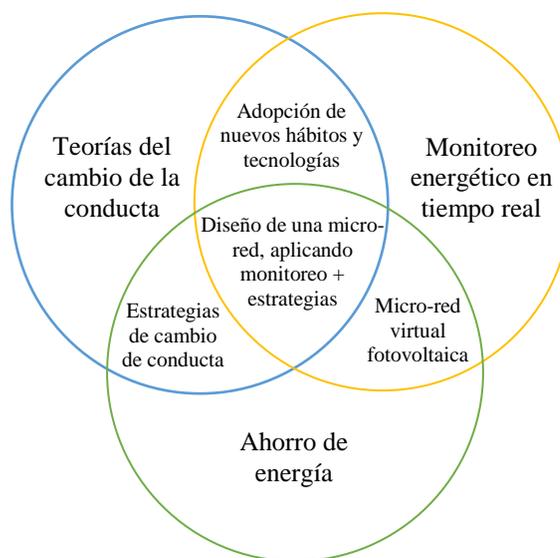
Por ejemplo, Timm & Deal (2016) realizaron una investigación que tuvo lugar en 4 edificios de diferentes centros universitarios en Illinois, Estados Unidos, donde se logró que los usuarios adoptaran nuevos hábitos de ahorro energético al ser informados sobre el consumo de energía eléctrica mediante la proyección de datos de consumo en tiempo real en pantallas, acompañado de campañas de cambio de conducta. Como resultado, se ahorró entre 53-60% del consumo eléctrico. Esto reafirma lo que Sun et al. (2014) y Petersen et al. (2007) concluyen en su investigación; hasta el 30-50% del consumo energético total de edificios está relacionado a la conducta de los ocupantes y a sus incentivos.

La siguiente sección detalla la metodología seguida para el monitoreo de generación y consumo de electricidad en el CUT, la asignación de paneles a las PGVs que conforman la micro-red virtual, el diseño de una encuesta basada en teorías para el cambio de la conducta y el diseño de estrategias para el ahorro de energía, aplicando teorías del cambio de la conducta. Consecutivamente, la sección 3 muestra los resultados obtenidos al seguir lo establecido en la sección 2. En la discusión se interpretan los resultados, se detallan sus similitudes con otros trabajos y sus principales limitaciones. Finalmente, las conclusiones hacen énfasis en las principales aportaciones de este trabajo y sugerencias para darle continuación.

## Metodología

### Integración multidisciplinaria

La Figura 1, por medio de un diagrama de Venn, muestra la integración de las 3 principales dimensiones de este proyecto: 1) monitoreo energético en tiempo real, 2) teorías del cambio de la conducta y 3) ahorro de energía.



**Figura 1** Integración de las dimensiones del diseño de una micro-red virtual integrando monitoreo en tiempo real y teorías para el cambio de conducta

*Fuente: Elaboración Propia*

Las intersecciones entre las 3 dimensiones en la Figura 1 muestran los subtemas que convergen para sustentar el diseño de una micro-red virtual fotovoltaica que integre monitoreo en tiempo real y teorías del cambio de la conducta para el ahorro de energía.

Primero, la adopción de nuevos hábitos y tecnologías busca utilizar teorías del cambio de la conducta para facilitar la adopción de los monitores energéticos dentro de la comunidad universitaria. Segundo, dichas teorías también tienen el fin de ser aplicadas en el diseño de estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía. Finalmente, el concepto de micro-red fotovoltaica es utilizado como una herramienta conceptual para facilitar el ahorro de energía a través de monitoreo energético en tiempo real.

### Monitoreo en tiempo real de generación y consumo

El monitoreo de generación y consumo de electricidad abarcó desde octubre de 2018 hasta mayo de 2019. Durante este periodo se registraron los datos de consumo de 5 edificios: biblioteca, edificio de salud, edificio de artesanías, comedor y el Instituto de Energía Renovable (IER); así como la generación en la planta fotovoltaica, con capacidad instalada de 499 kWp, proporcionada por 1560 paneles fotovoltaicos, conectados a 10 inversores. Los datos de generación fueron obtenidos a través de una plataforma digital de monitoreo, proporcionada por el fabricante de los inversores.

En cuanto al monitoreo del consumo, se calibraron 213 sensores de carga repartidos entre los 5 edificios contemplados en la propuesta de la micro-red. Cabe mencionar que el IER cuenta con monitoreo parcial. En futuras etapas del proyecto se planea extender el monitoreo a la totalidad del IER y a los demás edificios del CUT. Finalmente, la recolección de datos de consumo se dividió en tres periodos: 1) laboral con clases, 2) laboral sin clases y 3) vacacional, para así comparar el consumo entre ellos e identificar oportunidades de ahorro de energía.

### Propuesta de asignación de paneles

Como política universitaria, se tiene el objetivo de reducir un 20% el consumo actual de cada edificio. La asignación de paneles fotovoltaicos para la PGV de cada edificio se basa en esta meta. A partir de los datos de generación y consumo meta por edificio, se procedió a dividir la planta de generación fotovoltaica en PGVs.

Primero, se calculó la generación diaria promedio por panel ( $G_{pp}$ ), que es simplemente la relación entre la sumatoria de la generación promedio diaria ( $i$ ) de cada uno de los 10 inversores ( $n_{inversores}$ ), representados por el subíndice  $j$ , y el número total de paneles ( $n_{paneles}$ ), como se representa en la Ecuación 1. Lo anterior con el fin de alcanzar los kWh que produce cada panel en promedio por día.

$$G_{pp} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{inversores}} i_j}{n_{paneles}} \quad (1)$$

Donde:

$G_{pp}$  = generación promedio diaria por panel  
( $\frac{kWh}{panel}$ )

$n_{paneles}$  = número de paneles

$n_{inversores}$  = número de inversores

$i_j$  = generación promedio diaria de cada inversor  $j$  (kWh)

Finalmente, como lo indica la Ecuación 2, el consumo promedio diario de cada edificio ( $C$ ) es dividido entre la generación promedio diaria por panel ( $G_{pp}$ ), proporcionada por la Ecuación 1, para obtener la cantidad de paneles de cada PGV ( $PGV_{paneles}$ ). Para calcular el valor de consumo promedio diario de cada edificio, se consideró únicamente el periodo laboral con clases, ya que es cuando se tiene mayor consumo y la mayoría de los usuarios realiza actividades dentro del Centro Universitario. Al valor resultante de utilizar la Ecuación 2 se le aplica una función techo, que consiste en asignarle el número entero más próximo por exceso. Cabe mencionar que el análisis técnico de la micro-red propuesta no forma parte del alcance de este proyecto.

$$PGV_{paneles} = \frac{C}{G_{pp}} \quad (2)$$

Donde:

$G_{pp}$  = generación promedio diaria por panel  
( $\frac{kWh}{panel}$ )

$C$  = consumo promedio diario de cada edificio (kWh)

$PGV_{paneles}$  = paneles asignados a la PGV

## Diseño de una encuesta, aplicando teorías para el cambio de la conducta

La encuesta tuvo el objetivo de recabar información sobre los niveles de aceptación de varias estrategias de ahorro de energía en edificaciones para ser aplicadas en el CUT, así como sus niveles de conciencia, percepción de poder sobre su entorno e interés en cambiar. El diseño de la encuesta se basó en la Teoría de la Difusión de las Innovaciones y el Modelo Transteórico, ya que han sido aplicados en otros trabajos donde se ha estudiado cómo las tecnologías de retroalimentación energética pueden coadyuvar a técnicas y teorías existentes dentro de la psicología motivacional, para incentivar conductas de uso energético sustentable (He, Greenberg & Huang, 2010; Völlink, Meertens & Midden, 2002).

En este trabajo, la integración del Modelo Transteórico y la Teoría de la Difusión de las Innovaciones se utiliza para considerar las preferencias de cada segmento de la población y las etapas del cambio que deberán experimentar. Esto, debido a que se ha señalado en otras investigaciones que la información en tiempo real del consumo no impacta a la totalidad de la comunidad, como es el caso del estudio realizado por Timm & Deal (2016), donde se demostró que no hubo cambios significativos de actitud en los estudiantes, en comparación con el personal administrativo y profesores.

Por consiguiente, la encuesta considera los roles de los usuarios, para su posterior uso en el diseño de las estrategias de cambio de la conducta. Esto da pauta para la clasificación de los encuestados y las tendencias en el interés de cambiar, ya que Timm & Deal (2016) han concluido que un segmento importante de los usuarios puede no tener interés explícito en el ahorro de energía, especialmente en edificaciones sobre las que no perciben tener control. A continuación, se explica brevemente el Modelo Transteórico y la Teoría de la Difusión de las Innovaciones, que sirvieron de base para el diseño de la encuesta.

## Modelo Transteórico

Este modelo explica las etapas que implica un cambio de conducta y establece que es más similar a un proceso que a un evento. Dicho modelo se divide en 5 etapas, cada una con un proceso de cambio necesario para avanzar a la siguiente fase (Nutbeam, Harris & Wise, 2010). En la Tabla 1, se detalla cada una de las 5 categorías en las que se clasifican a los individuos, dependiendo de la etapa del proceso de cambio en la que se encuentren. En cada una de estas etapas de cambio se recomienda aplicar diferentes procesos para el individuo.

Etapas de cambio	Proceso de cambio
<b>Pre-contemplación</b> – esta etapa describe a los individuos que no consideran cambiar, y a aquellos que no tienen la intención de hacerlo.	Concientización
<b>Contemplación</b> – individuos que están interesados en cambiar una conducta en específico.	Reconocimiento de los beneficios del cambio
<b>Determinación</b> – etapa en la que un individuo está comprometido a hacer un cambio.	Identificación de barreras
<b>Acción</b> – etapa en la que el cambio de conducta ha iniciado.	Programa del cambio
<b>Mantenimiento</b> – etapa del cambio sostenido, donde se lograron los objetivos.	Seguimiento y apoyo continuo

**Tabla 1** Descripción de las etapas y proceso de cambio del Modelo Transteórico

Fuente: Nutbeam, Harris & Wise, 2010

## Teoría de la Difusión de las Innovaciones

Al igual que el Modelo Transteórico, la Teoría de la Difusión de las Innovaciones tiene 5 categorías en las que se clasifica a la población, pero en este caso, con base en la velocidad con la que una innovación es adoptada. La Tabla 2 indica el porcentaje y características de la población que corresponde a cada categoría.

Clasificación	Segmento
Innovadores	Población que adopta nuevas ideas de manera rápida (2-3%).
Adoptadores tempranos	Población que puede pertenecer a la corriente mayoritaria de la comunidad, pero con mayor tendencia al cambio debido a recursos propios (10-15%).
Mayoría temprana	Población que tiende a cambiar persuadidos por los beneficios del cambio (30-35%).
Mayoría tardía	Parte de la población que depende del tiempo y el establecimiento claro de los beneficios (30-35%).
Rezagados	Población conservadora y negada a la propuesta de un cambio (10-20%).

**Tabla 2** Clasificación general de los segmentos de una población, según la Teoría de la Difusión de las Innovaciones

Fuente: Nutbeam, Harris & Wise, 2010

A partir de lo anterior, fue que se diseñó la encuesta que se aplicó a la comunidad universitaria del CUT. Se utilizó la escala de Likert para evaluar el deseo de aprender y cambiar, el nivel de conciencia, la percepción de poder sobre el entorno y las actitudes de los distintos segmentos de usuarios que utilizan los 5 edificios que conforman la micro-red. Como es propuesto por Timm & Deal (2016), dentro de la encuesta se incluyeron imágenes de los edificios que están contemplados, para una comprensión clara.

Además, se aplicaron dos preguntas clave por cada edificio: 1) ¿Cuántas horas a la semana, en promedio, realiza actividades en este edificio? y 2) ¿Con qué frecuencia realiza acciones directas que impliquen un consumo energético?, para esta última pregunta se brinda un rango de actividades individuales que consumen energía.

Asimismo, se dieron tres opciones a evaluar para la visualización del consumo en tiempo real. Dichas opciones fueron: 1) orbes de energía con interfaz, 2) orbes de energía sin interfaz y 3) monitores de energía. En la Figura 2, se muestra un orbe de energía sin interfaz. La visualización del consumo en tiempo real es mediante los colores verde, naranja y rojo, que indican si un edificio está por debajo de su consumo meta, si está cerca del límite o si lo ha sobrepasado, respectivamente.

Los orbes de energía con interfaz tienen el mismo funcionamiento, pero con visualización de tarifas. Timm & Deal (2016) enfatizan el potencial del uso de orbes indicadores de consumo energético para volver visible la intensidad del consumo de electricidad en una edificación.



**Figura 2** Orbe indicador de consumo energético

Fuente: Block, 2014

La tercera propuesta es utilizar monitores (Figura 3). A diferencia de los orbes, en la interfaz del monitor se hace una comparación de los consumos actuales contra los previos, de manera mensual, semanal y diaria, con el propósito de indicar si hubo una tendencia de crecimiento o reducción, tanto de consumo como de generación, en dichos periodos.



**Figura 3** Propuesta de interfaz para monitor de generación y consumo energético en tiempo real

Fuente: Elaboración Propia

Además, en la encuesta se presentan estrategias para el cambio de conducta, divididas en dos grupos: estímulos y medidas formativas/correctivas. Primero, el objetivo es evaluar en qué medida sería aceptado cada estímulo para ser aplicado en el Centro Universitario, considerando que los usuarios de cierto edificio mantienen un uso moderado de la energía. Estos se enlistan a continuación: 1) becas, 2) equipo/mobiliario, 3) evento cultural, 4) intervenciones artísticas y 5) picnic.

De forma similar, se proponen medidas correctivas para ser aplicadas en caso de que los usuarios de un edificio mantengan un uso excesivo de la energía. Estas son las siguientes: 1) asistencia a cursos de ahorro de energía, 2) participación en talleres de ahorro de energía, 3) programa de servicio social: cuidado de áreas verdes y forestación y 4) programa de servicio social: limpieza de paneles. La evaluación de estas estrategias se hace también mediante la escala de Likert. La encuesta fue distribuida por medio de correo electrónico, a través de las autoridades del CUT.

### Diseño de estrategias para la adopción de hábitos de ahorro energético

De acuerdo con los resultados de la encuesta, las estrategias se clasifican por segmentos de población, de acuerdo con la etapa de cambio correspondiente y facilidad para adoptar innovaciones, dependiendo de los niveles de conciencia, actitudes y voluntad para cambiar, mostrados por los encuestados, para así contar con un rango de medidas que cubran la totalidad del proceso del cambio de la conducta. El diseño de estrategias se basa en las conclusiones de estudios similares y los resultados de la encuesta descrita en la sección anterior.

La asignación de estrategias consideró que además de implementar dispositivos que indiquen el consumo en tiempo real, es recomendado acompañarlo de una conceptualización con enfoque ambiental o de salud, a diferencia de uno monetario, ya que se ha concluido en otros estudios que esto brinda resultados sostenidos a largo plazo (Asensio & Delmas, 2016).

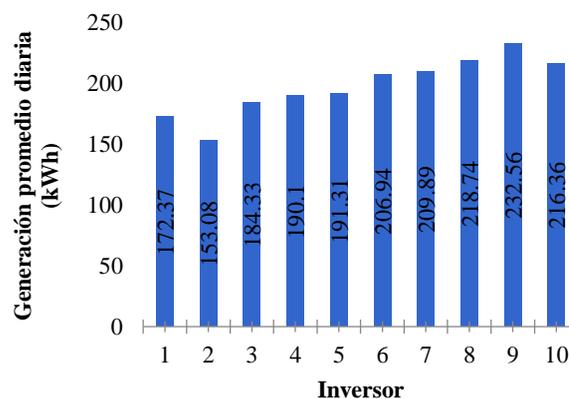
De forma paralela, se considera que es necesario aplicar políticas de ahorro energético orientadas al aprendizaje, ya que se ha demostrado que pueden ser más efectivas que el monitoreo por sí mismo (Asensio & Delmas, 2016). Conjuntamente, se ha reportado que la información en tiempo real no incita el completo interés de una comunidad, así que es importante complementarlo con otras medidas (Lynham et al., 2016; Timm & Deal, 2016; He, Greenberg & Huang, 2010). Por esta razón, la asignación de estrategias es individual, pero integrada a cada diferente segmento de la población y etapa de cambio.

## Resultados

Esta sección presenta los resultados de seguir la metodología descrita anteriormente. Se desarrollan los datos del monitoreo en tiempo real y la subsecuente asignación de paneles basada en estos datos. Posteriormente, se presentan los puntos más relevantes de la encuesta, y el diseño posterior de estrategias integrando dichos hallazgos con el Modelo Transteórico y la Teoría de la Difusión de las Innovaciones.

### Monitoreo en tiempo real de generación y consumo

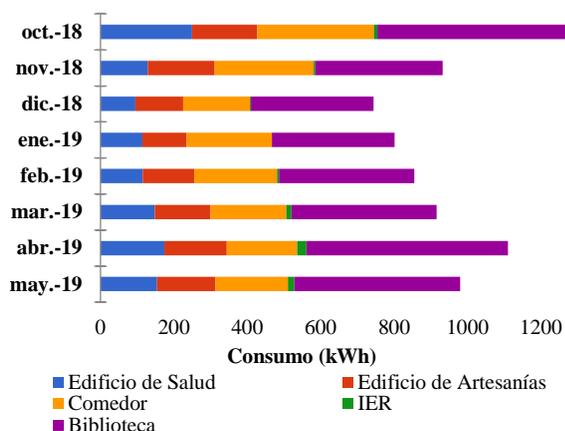
En el Gráfico 1, se muestran los datos de monitoreo de cada uno de los 10 inversores de la planta de generación fotovoltaica. A partir de estos, se calculó un promedio de generación diaria por panel, utilizando la Ecuación 1. Se observa que, con excepción del inversor 2, los demás tienen una generación promedio diaria mayor a los 170 kWh.



**Gráfico 1** Generación diaria promedio por inversor

Fuente: *Elaboración Propia*

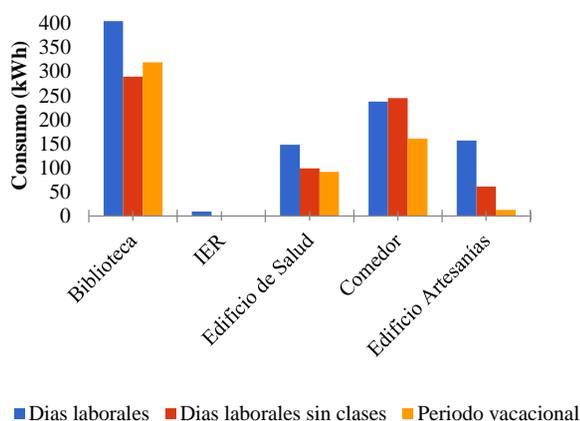
Por otro lado, el consumo de los 5 edificios es presentado en el Gráfico 2. En este, se observa el consumo total promedio por mes, de octubre de 2018 a mayo de 2019, de los 5 edificios, siendo la biblioteca el de mayor consumo, y el IER el de menor, debido al monitoreo parcial de este último. Después de octubre, se ve reflejada una reducción del consumo, para incrementar gradualmente después de enero, comportamiento posiblemente relacionado a las fluctuaciones estacionales de temperatura.



**Gráfico 2** Consumo promedio mensual por edificio en periodo laboral con clases

Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 3 compara el consumo por edificio entre tres periodos: 1) laboral con clases, 2) laboral sin clases y 3) vacacional. Como se puede observar, en todos los edificios hubo mayor consumo energético en los días laborales con clases en comparación con los otros periodos. Sin embargo, el comedor presenta una situación diferente, ya que el consumo aumentó durante el periodo laboral sin clases. Este aumento podría deberse a la necesidad de refrigerar alimentos incluso en tiempo de menor actividad.



**Gráfico 3** Comparación del consumo por edificio en distintos periodos

Fuente: Elaboración propia

### Propuesta de asignación de paneles

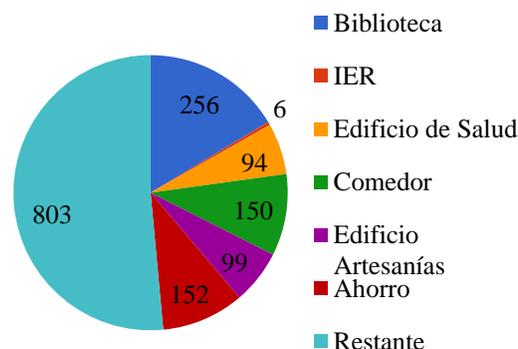
Aplicando la Ecuación 1, descrita en la metodología, la generación diaria promedio por panel es de 1.26 kWh. Como se mencionó anteriormente, este valor resulta de la relación entre la cantidad total de paneles que hay en la planta de generación fotovoltaica (1560) y la sumatoria de la generación promedio diaria de cada uno de los 10 inversores.

También, se tomó en cuenta la reducción del 20% del consumo total de cada edificio. Posteriormente, utilizando la Ecuación 2, que relaciona el valor de generación diaria por panel y el consumo meta, se asignaron los paneles correspondientes a la PGV de cada edificio. En la Tabla 3, se presenta el consumo meta por edificio, los paneles asignados a cada PGV y su porcentaje en relación con el total de paneles. En esta, se observa que el ahorro de paneles utilizados con la propuesta del consumo meta es de 152, equivalente a casi el 10% de la planta fotovoltaica. Dicha asignación dejaría aproximadamente al 60% de los paneles disponibles para ser asignados a otros edificios en futuras etapas del proyecto. La propuesta de asignación de paneles por edificio es presentada en el Gráfico 4.

Edificio	Consumo meta diario (kWh)	Paneles asignados	Porcentaje de paneles
Biblioteca	323.472	256	16.4%
IER	7.286	6	0.4%
Edificio de Salud	118.257	94	6.0%
Comedor	189.754	150	9.6%
Edificio de Artesanías	125.325	99	6.3%
<b>Ahorro</b>	<b>191.024</b>	<b>152</b>	<b>9.7%</b>
<b>Restante</b>	<b>1020.620</b>	<b>803</b>	<b>51.5%</b>

**Tabla 3** Propuesta de asignación de paneles por edificio en función de su consumo

Fuente: Elaboración Propia



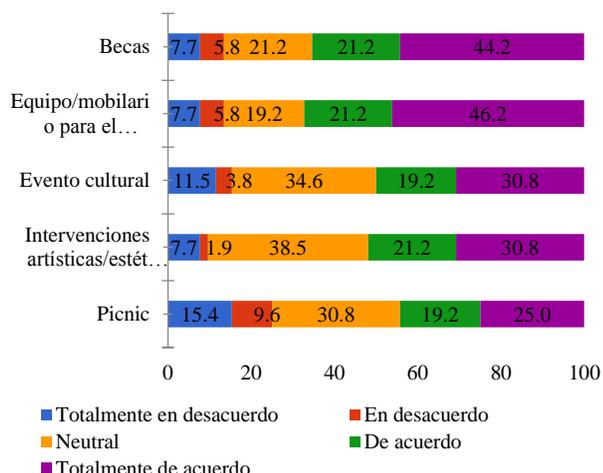
**Gráfico 4** Asignación de paneles para las PGVs por edificio

Fuente: Elaboración Propia

### Resultados de la encuesta, aplicando teorías para el cambio de la conducta

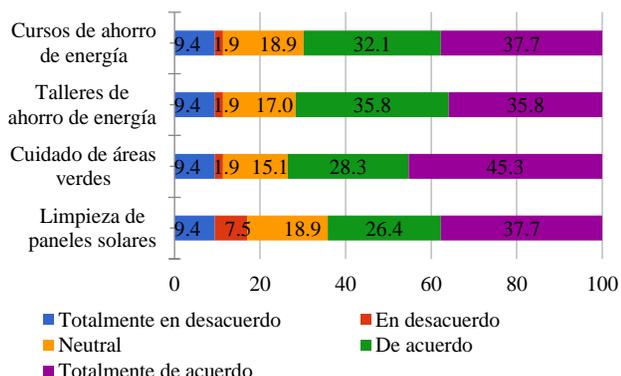
La encuesta fue contestada por un total de 53 miembros de la comunidad universitaria del CUT. El Gráfico 5 presenta las tendencias de aceptación por parte de la comunidad universitaria, en cuanto a los estímulos contemplados en el diseño de estrategias.

La mayoría señaló estar de acuerdo con todos los estímulos propuestos. Sin embargo, fueron las becas, con 65.4%, y el equipo para los edificios, con 67.4%, en donde se obtuvo mayor aceptación. Cabe mencionar que la suma de los segmentos de algunas categorías de las gráficas puede no sumar el 100 % debido al redondeo aplicado.



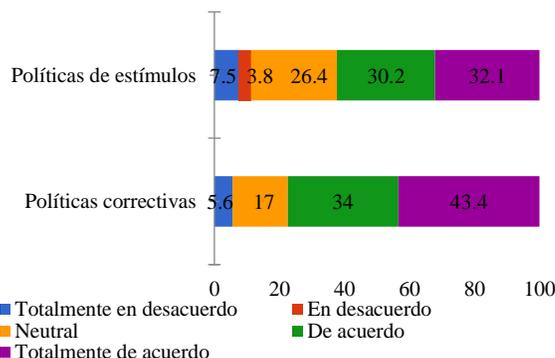
**Gráfico 5** Percepción de propuestas de estímulos para el ahorro de energía  
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a las medidas formativas/correctivas propuestas para el diseño de estrategias de ahorro de energía, en el Gráfico 6 se presenta la aceptación de dichas medidas. Se aprecia que la mayoría de los encuestados está de acuerdo con la implementación de cada una de estas. La ejecución de programas de servicio social, como el cuidado de áreas verdes y forestación, obtuvo el 73.6%, siendo la estrategia de mayor aceptación para ser implementada como medida correctiva para los usuarios de los edificios que tengan un uso excesivo de energía eléctrica.



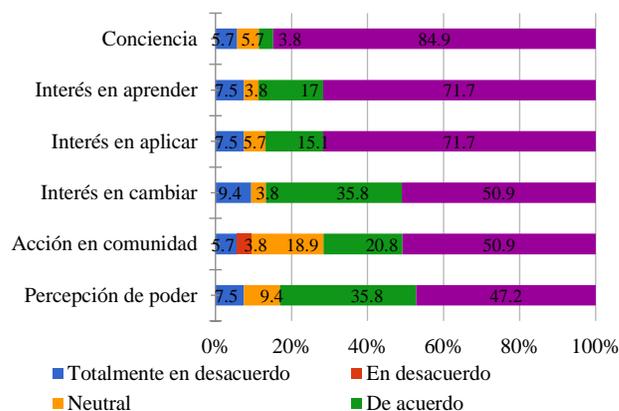
**Gráfico 6** Percepción de propuestas de medidas correctivas para el ahorro de energía  
Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico 7 compara la aprobación de las políticas de estímulos y las políticas correctivas por parte de los encuestados. La mayoría de la población prefiere la aplicación de medidas correctivas.



**Gráfico 7** Comparativa de aceptación entre políticas de estímulos y correctivas  
Fuente: Elaboración Propia

Para una mejor comprensión de las percepciones y actitudes de los encuestados, se analizaron 7 categorías que evalúan los grados de conciencia, actitud y percepción de capacidad de la población. En el Gráfico 8, se presenta cada una de las categorías que se tomaron en cuenta para la evaluación de los encuestados. De manera general, se observaron actitudes proambientales, aunque es necesario implementar estrategias que se enfoquen principalmente en el impulso del interés de cambio, acción y percepción de poder de la comunidad universitaria.

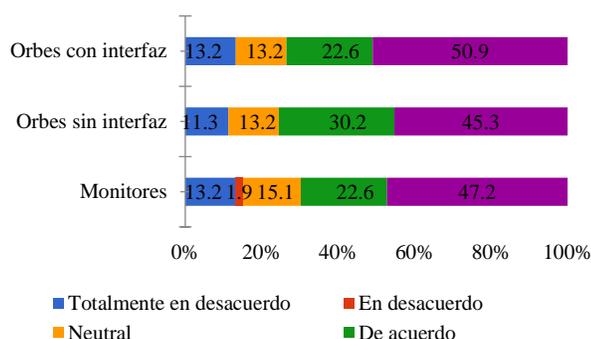


**Gráfico 8** Percepción de conciencia, actitud y capacidad  
Fuente: Elaboración Propia

Dentro del diseño de la encuesta, se propusieron tres opciones a evaluar para la visualización del consumo en tiempo real, cuyo funcionamiento fue detallado en la metodología. En el Gráfico 9 se muestra de forma general que la mayor parte de los encuestados está de acuerdo con la implementación de tecnologías que vuelvan visible el consumo de los edificios.

RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto. Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019.

Si bien las tres opciones mostraron niveles de aprobación similares, se observó que encuestados prefieren los orbes de energía, particularmente los que no cuentan con interfaz.



**Gráfico 9** Aceptación de métodos de visualización del consumo en tiempo real

Fuente: *Elaboración Propia*

## Estrategias propuestas

Este apartado relaciona los estímulos y las medidas formativas/correctivas, con las etapas del cambio del Modelo Transteórico y los segmentos de población de la Teoría de la Difusión de las Innovaciones, con base en los resultados de la encuesta y las conclusiones de estudios similares, mencionados en la metodología. En la Tabla 4, se muestran las estrategias que serán implementadas considerando las etapas del cambio del Modelo Transteórico. Particularmente, la propuesta de la creación de un sitio web, y sus distintas funciones, se origina de las observaciones de He, Greenberg & Huang (2010). El programa de mentoría proviene de las sugerencias proporcionadas por los encuestados.

Etapas de cambio	Estrategia
<b>Pre-contemplación</b>	Publicar pros y contras, en términos monetarios y de emisiones, de un comportamiento no sustentable, apelando a normas sociales – sitio web y redes sociales. Consejos de ahorro – Monitores. Orbes de energía.
<b>Contemplación</b>	Asistencia a cursos de ahorro de energía. Historias de estilos de vida sustentable - sitio web y redes sociales. Orbes de energía.
<b>Determinación</b>	Participación en talleres de ahorro de energía. Conexión con mentores en etapas de acción y mantenimiento - sitio web y redes sociales. Orbes y monitores de energía.
<b>Acción</b>	Reconocimiento social. Programa de servicio social: Cuidado de áreas verdes y forestación.

	Programa de servicio social: Limpieza de paneles solares. Orbes y monitores de energía.
<b>Mantenimiento</b>	Reconocimiento social. Becas. Opción de unirse a un equipo de mentores. Sesiones de retroalimentación de buenas prácticas del uso eficiente de la energía, entre otros edificios y universidades. Orbes y monitores de energía.

**Tabla 4** Estrategias propuestas para diferentes etapas del cambio

Fuente: *Elaboración Propia*

De forma similar, en la Tabla 5, se enlistan las estrategias propuestas para cada segmento de la población descrito por la Teoría de la Difusión de las Innovaciones.

Clasificación	Segmento
<b>Innovadores</b>	Becas. Evento de lanzamiento de la micro-red virtual. Formación temprana e incorporación inicial de equipo de mentores/gestores. Reconocimiento social – sitio web y redes sociales.
<b>Adoptadores tempranos</b>	Evento de lanzamiento de la micro-red virtual. Participación en talleres de ahorro de energía. Reconocimiento social – sitio web y redes sociales. Participación en talleres de ahorro de energía.
<b>Mayoría temprana</b>	Conexión con mentores en etapas de acción y mantenimiento - sitio web y redes sociales. Participación en talleres de ahorro de energía.
<b>Mayoría tardía</b>	Publicación de historias de éxito y de integración comunitaria – sitio web y redes sociales.
<b>Rezagados</b>	Apelar a normas sociales – redes sociales. Picnic. Evento cultural. Equipo/mobiliario para el edificio. Intervenciones artísticas/estéticas para el edificio.

**Tabla 5** Estrategias propuestas para diferentes segmentos de la población en la adopción de innovaciones

Fuente: *Elaboración Propia*

La asignación de estrategias específicas por etapa y segmento de población no significa que carezcan de impacto para las demás categorías, únicamente representa que se consideran con mayor relevancia para el segmento que fueron asignadas.

## Discusión

Los resultados sugieren que métodos tecnológicos pueden ser vinculados de forma coherente con teorías de la psicología de la conducta, con el fin de diseñar estrategias para el ahorro de energía. Los resultados obtenidos del monitoreo energético, y su posterior aplicación en el diseño de una micro-red virtual, dan pauta a la integración de un marco conceptual que incorpora más de un modelo que describe el comportamiento humano, como lo sugieren Kollmuss y Agyeman (2002); los factores que definen el comportamiento proambiental son tan complejos que el analizarlos con únicamente un modelo o teoría no es suficiente. Por lo tanto, este trabajo vinculó el Modelo Transteórico, utilizado por He, Greenberg & Huang (2010) para analizar el ahorro de energía mediante monitores de consumo, con la Teoría de la Difusión de las Innovaciones; una configuración que representa una novedad en el sector del ahorro energético.

El 67.4% y 65.4% de los encuestados declararon tener una percepción favorable sobre la inversión en equipo y mobiliario, y de un programa de becas, respectivamente, como estímulos dentro de un modelo de mercado energético. Mientras que el 71.7% consideraron la participación en talleres de ahorro de energía como una medida formativa pertinente, lo que resuena con las observaciones relacionadas a que el monitoreo en tiempo real no es suficiente para motivar la acción (Lynham et al., 2016; He, Greenberg & Huang, 2010), y que la incorporación de políticas de ahorro energético orientadas al aprendizaje puede ser más efectiva que únicamente proyectar el consumo en tiempo real (Lynham et al., 2016).

Por esto, se consideraron distintas estrategias que fuesen más allá de este método. Particularmente, la propuesta de instalar orbes de consumo energético, con 75.5% de aceptación, mencionada por Timm & Deal (2016), tuvo mayor aceptación frente a los monitores energéticos, con 69.2% de percepción positiva, sugiriendo que los primeros vuelven visible el consumo de energía de forma ligeramente más directa y sencilla.

Por otro lado, los resultados del monitoreo energético, presentados en la sección 3.1, revelan inconsistencias en la gestión del consumo de electricidad, que pueden ser tratadas mediante las estrategias propuestas. Por ejemplo, el Gráfico 3 muestra un consumo similar en periodos laborales y vacacionales en el Comedor, posiblemente debido a la falta de estrategias para el ahorro de energía.

Los resultados de la sección anterior muestran diversas similitudes con la investigación realizada por Timm & Deal (2016), donde se examinó el impacto de la información del consumo energético en tiempo real, en las actitudes y conductas de los ocupantes de un edificio. En su investigación, una de las conclusiones principales fue la importancia de considerar los distintos roles de los usuarios. Por esto, se decidió precisamente aplicar modelos que explican el cambio por etapas y segmentos de población, para la subsecuente asignación de estrategias por perfiles de usuarios. Sin embargo, será necesario evaluar la aceptación de estas con otros métodos, como entrevistas a profundidad.

Este trabajo presenta algunas limitaciones. Primero, el monitoreo energético tuvo algunos periodos de intermitencia, por lo que se tuvieron que excluir los datos de días que presentaron irregularidades en el funcionamiento de los sensores. Igualmente, se propone que en etapas futuras del proyecto se trabaje con un consumo meta variable, que se determine con base en los factores que modifican la generación y el consumo energético, como la irradiación y la temperatura ambiente.

Además, el periodo de monitoreo únicamente abarcó 8 meses, por lo que se sugiere volver a aplicar la metodología descrita al cumplir 1 año de monitoreo, en octubre de 2019, para así considerar las variaciones a través de la totalidad del ciclo escolar y de las estaciones. Por otro lado, fue hasta abril de 2019 que se contó con un funcionamiento estable en la totalidad de los inversores de la planta de generación, así que se propone que para un diseño más preciso de la micro-red se consideren los datos de generación de un año a partir de abril de 2019.

Segundo, el comportamiento auto-reportado puede diferir del comportamiento real. Para esto, se pueden utilizar otros métodos de recolección de datos, como monitoreo por video (Timm & Deal, 2016), incrementando la veracidad de los datos de conducta. Tercero, es posible que los resultados de la encuesta estén sesgados, ya que la temática pudo haber sido particularmente llamativa para aquellas personas con afinidad a la conservación del medio ambiente o similares. Para esto, sería preferible realizar una aleatorización de la aplicación o procurar que la totalidad de los miembros de la comunidad universitaria contestaran la encuesta.

Finalmente, cabe añadir que posiblemente el mayor reto que enfrenta el cambio de conducta para el ahorro energético es la dificultad para consolidarlo (Asensio & Delmas, 2016). Las campañas deben ser permanentes y estar en constante evaluación y rediseño. Éstas deben volverse intrínsecas a la forma en la que se interactúa con las edificaciones, para así generar un cambio de actitud en sus usuarios a largo plazo.

## Conclusiones

Este artículo describe el diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real y estrategias para el cambio de la conducta; la integración de un estudio energético con modelos utilizados en las ciencias sociales. La incorporación particular del Modelo Transteórico con la Teoría de la Difusión de las Innovaciones ha sido un marco de trabajo novedoso para el campo del ahorro energético en edificaciones que forman parte de Centros Universitarios

En cuanto al monitoreo energético en tiempo real, se propone utilizar un porcentaje meta variable para el consumo de cada edificio en futuras etapas del proyecto, así como una reasignación de módulos, a partir de una base de datos con mayor resolución temporal de consumo y generación. Por otro lado, la conceptualización propia de las PGVs demostró ser conveniente al formular la propuesta de asignación de módulos fotovoltaicos, ya que brindó flexibilidad.

Además, durante el proceso de diseño, fue evidente el carácter multidisciplinario del proyecto, por lo que, será necesaria la integración de especialistas en las áreas que abarca esta investigación para su desarrollo óptimo. Futuras etapas de este proyecto deberán considerar estos aspectos.

Este trabajo busca plantear las bases de la implementación futura de un programa de Mercado Energético piloto en el Centro Universitario de Tonalá, junto con una intervención social, fundamentada en teorías del comportamiento humano. Los resultados aquí presentados servirán de antecedente para medir el impacto de las estrategias tomadas. Finalmente, cabe destacar que se contribuye a la creciente necesidad de integrar el desarrollo tecnológico con el estudio del comportamiento humano, al incorporar el concepto de micro-redes virtuales con teorías del cambio de la conducta.

## Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la convocatoria de SEP-CONACYT-Ciencia Básica bajo el proyecto 250777.

## Referencias

- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner production*, 109, 118-130.
- Alpizar-Castro, I., & Rodríguez-Monroy, C. (2016). Review of Mexico's energy reform in 2013: Background, analysis of the reform and reactions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 725-736.
- Asensio, O. I., & Delmas, M. A. (2016). The dynamics of behavior change: Evidence from energy conservation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 126, 196-212.
- Block, A (2 de diciembre de 2014). Glowing orbs illuminate Harrison and Rodin energy consumption. *The Daily Pennsylvanian*. Recuperado de: <https://www.thedp.com/article/2014/12/pennorb-initiative-measures-energy-consumption>

- Buchanan, K., Russo, R., & Anderson, B. (2014). Feeding back about eco-feedback: How do consumers use and respond to energy monitors?. *Energy Policy*, 73, 138-146.
- Burgess, J., & Nye, M. (2008). Re-materialising energy use through transparent monitoring systems. *Energy policy*, 36(12), 4454-4459.
- Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research policy*, 36(3), 399-417.
- He, H. A., Greenberg, S., & Huang, E. M. (2010, April). One size does not fit all: applying the transtheoretical model to energy feedback technology design. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (927-936). ACM.
- Kaiser, F. G., Hübner, G., & Bogner, F. X. (2005). Contrasting the Theory of Planned Behavior with the Value- Belief- Norm Model in Explaining Conservation Behavior. *Journal of applied social psychology*, 35(10), 2150-2170.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?. *Environmental education research*, 8(3), 239-260.
- Li, C., Hong, T., & Yan, D. (2014). An insight into actual energy use and its drivers in high-performance buildings. *Applied energy*, 131, 394-410.
- Lynham, J., Nitta, K., Saijo, T., & Tarui, N. (2016). Why does real-time information reduce energy consumption?. *Energy Economics*, 54, 173-181.
- McKenzie-Mohr, D. (2011). *Fostering sustainable behavior: An introduction to community-based social marketing*. Canadá: New Society Publishers.
- Nutbeam, D., Harris, E., & Wise, W. (2010). *Theory in a nutshell: a practical guide to health promotion theories*. Sídney, Australia: McGraw-Hill.
- Operadora Universitaria de Energía (2017). *Colaboración con el Programa Integral de Transición Energética*. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. Recuperado de: <http://www.energiauniversitaria.com/>
- Petersen, J. E., Shunturov, V., Janda, K., Platt, G., & Weinberger, K. (2007). Dormitory residents reduce electricity consumption when exposed to real-time visual feedback and incentives. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(1), 16-33.
- Saboori, H., Mohammadi, M., & Taghe, R. (2011, March). Virtual power plant (VPP), definition, concept, components and types. In 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (pp. 1-4). IEEE.
- Sovacool, B. K. (2014). Diversity: Energy studies need social science. *Nature*, 511(7511), 529.
- Stern, P. C., Sovacool, B. K., & Dietz, T. (2016). Towards a science of climate and energy choices. *Nature Climate Change*, 6(6), 547.
- Sun, K., Yan, D., Hong, T., & Guo, S. (2014). Stochastic modeling of overtime occupancy and its application in building energy simulation and calibration. *Building and Environment*, 79, 1-12.
- Timm, S. N., & Deal, B. M. (2016). Effective or ephemeral? The role of energy information dashboards in changing occupant energy behaviors. *Energy Research & Social Science*, 19, 11-20.
- Völlink, T., Meertens, R. E. E., & Midden, C. J. (2002). Innovating 'diffusion of innovation' theory: innovation characteristics and the intention of utility companies to adopt energy conservation interventions. *Journal of environmental psychology*, 22(4), 333-344.

## Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular

### Estimation of relative location of a camera using a monocular vision system

MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl†\*

*Instituto Tecnológico de la Paz / Tecnológico Nacional de México División de estudios de Posgrado e Investigación*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Saúl, Martínez-Díaz / ORC ID: 0000-0003-4962-5995, Researcher ID Thomson: Q-7112-2019, CVU CONACYT ID: 175255

DOI: 10.35429/JOIE.2019.10.3.18.23

Recibido 13 de Marzo, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

Objetivo: Estimar la ubicación de una cámara con respecto a objetos en el mundo real, utilizando visión monocular. Metodología: En este artículo se presenta un método para calcular la ubicación relativa de la cámara con respecto a un grupo de puntos ubicados en el espacio tridimensional. El método requiere únicamente tres puntos de referencia fijos, de los cuales se debe conocer la distancia real entre cada par de puntos. Con esta información es posible estimar la ubicación relativa de la cámara al ser desplazada, utilizando imágenes sucesivas que contengan los mismos puntos. Contribución: En los últimos años el poder de procesamiento de las computadoras ha crecido considerablemente y, con ello, también ha aumentado el interés de la comunidad científica por la odometría visual. Para este propósito, en muchos casos, es conveniente utilizar una sola cámara. Desafortunadamente, un sistema monocular permite estimar la ubicación de la cámara con respecto a algún objeto del mundo real únicamente hasta un factor de escala. La principal contribución de este trabajo es la estimación de la ubicación de la cámara en coordenadas del mundo real con respecto a un objeto de referencia.

**Visión artificial, Odometría visual, Sistema monocular**

#### Abstract

Objective: Estimate the location of a camera with respect to objects in the real world, using monocular vision. Methodology: In this paper we introduce a method to calculate the relative location of the camera with respect to a group of points located in the three-dimensional space. The method requires only three fixed reference points of which the real distance between each pair of points must be known. With this information it is possible to estimate the relative location of the camera when it is moved, using successive images that contain the same points. Contribution: In recent years, processing power of computers has grown considerably and, with this, the interest of the scientific community in visual odometry has also increased. For this purpose, in many cases, it is convenient to use a single camera (monocular system). Unfortunately, a monocular system allows to estimate the location of the camera with respect to some object in the real world only up to a scale factor. The main contribution of this work is the estimation of the location of the camera in real world coordinates with respect to a reference object.

**Artificial vision, Visual odometry, Monocular system**

**Citación:** MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl. Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-10: 18-23

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: saulmd@itlp.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

En años recientes, debido al incremento en la capacidad de procesamiento de las computadoras modernas y a la reducción de su costo, ha sido posible desarrollar aplicaciones de visión artificial que respondan en tiempo real. En ese sentido, una de las áreas que han generado mayor interés es la odometría visual. Esto se debe a que existen muchas situaciones en las que se puede utilizar esta tecnología. Entre ellas se encuentran la navegación de robots autónomos como en los trabajos de (Wang, 2015) y el de (Tumer, 2011), realidad aumentada como se explica en (Chatzopoulos, 2017) y la inspección en sistemas industriales como en (Xu, 2016) y (Shanmugamani, 2014).

En estos casos se requiere información de la ubicación de los objetos en coordenadas tridimensionales del mundo real. En algunas aplicaciones se utilizan sistemas GPS, sin embargo, estos son susceptibles a interferencias, sobre todo en lugares rodeados de edificios, bajo puentes o en interiores. Además, presentan márgenes de error grandes, de hasta varios decímetros. Para determinar la ubicación relativa también se pueden utilizar las cámaras RGBD, pero además de su alto costo, utilizan sensores infrarrojos para determinar la profundidad a la que se encuentran los objetos, lo cual dificulta e incluso impide su aplicación en algunos lugares iluminados con luz natural. Por otro lado, los sistemas de visión son de bajo costo y, en algunos casos, presentan ventajas con respecto a las tecnologías dominantes que se utilizan en la actualidad.

Un sistema de visión puede estar compuesto por una sola cámara, en cuyo caso se denomina monocular, o por dos o más cámaras, denominado estereoscópico. En los sistemas estereoscópicos, por lo general, es necesario realizar obtener la rotación y traslación de una cámara con respecto a la otra, por medio de un procedimiento de calibración. Los parámetros obtenidos en la calibración se deben mantener fijos para estimar la ubicación de los objetos del mundo real. Para calcular la posición de un punto en el espacio tridimensional, cada cámara debe capturar una imagen que contenga dicho punto, después debe identificar las coordenadas del punto dentro de las dos imágenes y triangular para obtener sus coordenadas tridimensionales.

Sin embargo, los sistemas estereoscópicos presentan también algunos inconvenientes prácticos. Por ejemplo, cada cámara suele dar diferente respuesta a una misma señal de entrada, lo cual dificulta el proceso de identificación; También, requiere mayor espacio físico, el consumo de energía es mayor, el costo computacional para procesar dos imágenes en cada ocasión es mayor y la calibración de las cámaras se puede perder debido a movimientos o vibraciones. Además, cuando se observan puntos lejanos, el sistema se degenera y tiende a comportarse como monocular.

Por todo lo anterior, los sistemas monoculares se presentan como una buena alternativa. Uno de los principales problemas en un sistema monocular es que, con una sola imagen, la ubicación de algún punto en el espacio tridimensional se puede conocer únicamente hasta cierto factor de escala. Este factor se puede calcular si se conoce la profundidad de dicho punto. En la literatura se han propuesto varias aproximaciones para estimar este factor de escala: En (Tarrío, 2017) utilizan una cámara como sensor principal y una unidad de medición inercial para determinar la escala.

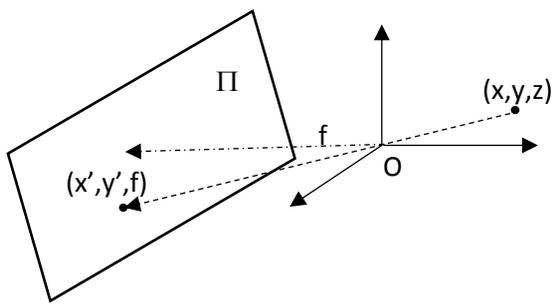
En (Yin, 2017) estiman la profundidad utilizando una red neuronal convolucional, esta estimación se refina entrenando la red con las imágenes consecutivas. En (Said, 2012) utilizan un patrón de tres círculos concéntricos de diámetro conocido en un plano con la cámara perpendicular a dicho plano para calcular la profundidad inicial. En (Yao, 2017) suponen que el campo de visión de la cámara montada en un dirigible es siempre perpendicular a la tierra, se coloca la cámara a una distancia conocida, se detecta el rostro de una persona centrado en la imagen, se cuentan los píxeles y con estos datos se establece una relación para calcular la profundidad, siempre que se detecte el mismo rostro en futuras imágenes.

En este trabajo se presenta un método para calcular la profundidad de un grupo de tres puntos fijos en el espacio tridimensional, utilizando una cámara calibrada de bajo costo. Para ello se debe conocer únicamente la distancia entre cada par de puntos.

Los puntos pueden estar en cualquier posición y no se requiere que la cámara esté perpendicular al plano formado por los tres puntos, como en otras propuestas. Capturando con la misma cámara al menos dos imágenes que contengan los mismos puntos en diferente pose, se calcula la ubicación relativa actual de la cámara. El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 presenta los conceptos básicos que soportan el trabajo, en la sección 3 se presenta el método propuesto, en la sección 4 se presentan algunos resultados experimentales y en la sección 5 se resumen las conclusiones.

## Conceptos Básicos

### Modelo Ojo de Aguja



**Figura 1** Modelo ojo de aguja  
Fuente: *Elaboración Propia*

El modelo ojo de aguja es utilizado ampliamente para representar la formación de imágenes en una cámara. En la figura 1 se muestra el principio básico de este modelo. Como se puede apreciar, cada punto con coordenadas  $(x, y, z)$  en el espacio tridimensional es proyectado a través del ojo de aguja al punto  $(x', y', f)$ , con coordenadas en píxeles, sobre el plano  $\Pi$  de la cámara. En esta figura,  $f$  es la distancia focal de la cámara, la cual se puede obtener mediante el proceso de calibración. En consecuencia, por semejanza de triángulos, se puede establecer que (Barranco-Gutiérrez, 2018):

$$\frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{f}{z} = \lambda \quad (1)$$

Donde  $\lambda$  es un factor de escala. Cuando dicho factor es conocido, esto permite calcular las coordenadas tridimensionales. Además, se requiere conocer las coordenadas del punto dentro de la imagen y la distancia focal.



**Figura 2** Patrón de calibración  
Fuente: *Elaboración Propia*

### Calibración de la cámara

Existen varios métodos para llevar a cabo la calibración de la cámara. Uno de los más populares es el propuesto por (Zhang, 2000), el cual está basado en el modelo ojo de aguja. Con esta técnica de calibración solamente se requiere que la cámara observe un patrón plano (ver figura 2) tomado desde diferentes orientaciones. El patrón o la cámara pueden ser movidos libremente y no es necesario conocer el movimiento realizado. Esta calibración permite obtener los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara, los cuales se relacionan de la siguiente forma (Hartley, 2004):

$$\lambda \mathbf{P}' = \mathbf{A}[\mathbf{R} \ \mathbf{t}]\mathbf{P} \quad (2)$$

Donde  $\mathbf{P}$  es un punto del espacio tridimensional, representado en coordenadas homogéneas;  $\mathbf{P}'$  es la proyección del mismo punto en el plano de la cámara, representado en coordenadas bidimensionales homogéneas;  $[\mathbf{R} \ \mathbf{t}]$  es una matriz de parámetros extrínsecos (rotación y traslación);  $\lambda$  es un factor de escala arbitrario y  $\mathbf{A}$  es la matriz de parámetros intrínsecos. La matriz de parámetros intrínsecos está definida por:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Aquí  $f_x$ ,  $f_y$  proporcionan información (dependiendo del tamaño del pixel) de la distancia focal en la dirección de  $x$  e  $y$ , respectivamente;  $c_x$ ,  $c_y$  son las coordenadas del punto principal de la imagen.

## Métodos

### Cálculo de profundidad

De la ecuación (1) se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$x = \frac{x'}{f} z \quad (4)$$

$$y = \frac{y'}{f} z \quad (5)$$

Suponiendo que se tienen al menos tres puntos en el espacio tridimensional con coordenadas  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$ , y  $(x_3, y_3, z_3)$ , respectivamente. Suponiendo también que las distancias  $d_1$ ,  $d_2$  y  $d_3$  entre cada par de puntos son conocidas. Utilizando las relaciones en las ecuaciones (4) y (5), la distancia euclidiana cuadrática entre cada par de puntos se puede calcular por:

$$\begin{aligned} d_1 &= \left(\frac{x'_1}{f} z_1 - \frac{x'_2}{f} z_2\right)^2 + \left(\frac{y'_1}{f} z_1 - \frac{y'_2}{f} z_2\right)^2 + (z_1 - z_2)^2 \\ d_2 &= \left(\frac{x'_1}{f} z_1 - \frac{x'_3}{f} z_3\right)^2 + \left(\frac{y'_1}{f} z_1 - \frac{y'_3}{f} z_3\right)^2 + (z_1 - z_3)^2 \quad (6) \\ d_3 &= \left(\frac{x'_3}{f} z_3 - \frac{x'_2}{f} z_2\right)^2 + \left(\frac{y'_3}{f} z_3 - \frac{y'_2}{f} z_2\right)^2 + (z_3 - z_2)^2 \end{aligned}$$

Este sistema de ecuaciones se puede resolver para las  $z_i$ , las cuales representan la profundidad a la que se encuentra cada punto con respecto a la cámara. Sustituyendo estos resultados en las ecuaciones (4) y (5) es posible calcular también los valores de las  $x_i$  y  $y_i$ , para obtener las coordenadas tridimensionales de los tres puntos.

### Estimación de Ubicación Relativa

Una vez que se obtienen las coordenadas tridimensionales de al menos tres puntos, es posible obtener la ubicación relativa de la cámara al desplazarse. Esto es posible si la cámara observa los mismos tres puntos, calculando la transformación rígida entre ellos.

Una transformación rígida es una transformación geométrica que preserva la distancia euclidiana entre cada par de puntos, y se puede obtener mediante la descomposición en valores singulares (SVD, por sus siglas en inglés) de la matriz de covarianza.

Formalmente, dada una matriz cuadrada  $A$  de  $m \times m$ , la SVD descompone dicha matriz de la siguiente forma (Bradski, 2008):

$$A = U \cdot W \cdot V^T \quad (7)$$

Donde  $U$  y  $V$  son matrices de  $m \times m$  y  $n \times n$ , respectivamente y  $W$  es una matriz diagonal de  $m \times n$ . Con este proceso aplicado a cada nueva imagen, se puede conocer la ubicación relativa de la cámara en cada instante de tiempo.

### Algoritmo básico

El algoritmo básico aplicado a cada imagen es:

1. Capturar una imagen conteniendo el objeto de referencia
2. Convertir la imagen a escala de grises
3. Corregir la distorsión radial (Bradski, 2008)
4. Detectar esquinas del patrón utilizando el método de Harris (Harris, 1988)
5. Seleccionar tres esquinas del objeto de referencia, cuyas distancias sean conocidas
6. Resolver el conjunto de ecuaciones (6) con el algoritmo de descenso de gradiente propuesto en (Moré, 1983)

### Resultados

Para probar el método propuesto se utilizó el patrón de calibración mostrado en la figura 2. Cada cuadro es de 27x27 milímetros. Se utilizó una cámara USB Microsoft configurada para entregar imágenes en RGB con una resolución de 640x480x3 píxeles. La cámara se calibró utilizando el método de Zhang (Zhang, 2000).

La cámara fue colocada a diferentes distancias del patrón y se aplicó el algoritmo propuesto. En la práctica, aun cuando se tomen dos imágenes con la misma cámara y desde la misma pose, el resultado no es idéntico debido a factores como ruido aleatorio en los sensores y variaciones en la fuente de iluminación.

Por esta razón, para garantizar que los resultados sean estadísticamente correctos se efectuaron 30 pruebas en cada posición. Los valores obtenidos del promedio  $m$  y la desviación estándar  $\sigma$  y los valores medidos se muestran en la tabla 1; todas las medidas están en milímetros.

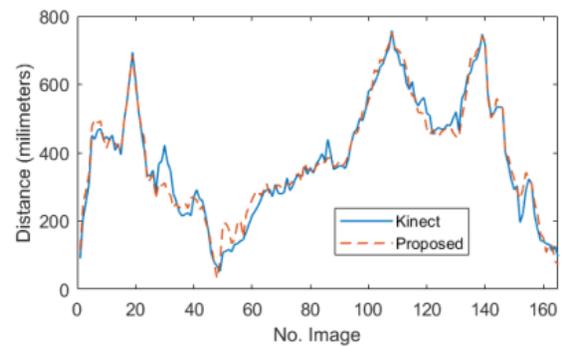
Distancia medida	$m$	$\sigma$
400	400.55	0.59
450	449.51	0.71
500	500.31	0.79
550	550.63	0.96
600	600.96	0.98

**Tabla 1** Profundidad medida vs calculada  
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en la tabla, la desviación estándar, es menor a 0.25% del promedio, en todos los casos. Esto indica que la incertidumbre de la medición es muy baja, con un error máximo del orden de un par de milímetros.

Posteriormente, se probó el cálculo de la ubicación relativa de la cámara en el espacio tridimensional. Para ello se utilizó un dispositivo Kinect 2, con el propósito de comparar los resultados. Kinect es un sensor tipo RGBD, el cual cuenta con una cámara de luz visible con una resolución de 1920x1080x3 píxeles y un sistema infrarrojo que provee información de la profundidad de los objetos. El experimento consistió en desplazar la cámara a diferentes posiciones y calcular su ubicación con el método propuesto. Con ayuda del Toolbox de MATLAB para Kinect se obtuvieron las coordenadas de la cámara en cada posición.

El gráfico 1 muestra los resultados obtenidos de la comparación entre los valores calculados y los obtenidos con Kinect; para mayor claridad, con las tres coordenadas se calculó únicamente un valor, utilizando la fórmula de la distancia euclidiana. El coeficiente de correlación entre ambas gráficas es del 98.4%, lo cual indica que los resultados son casi idénticos.



**Gráfico 1** Comparación de cálculo de ubicación entre Kinect y el método propuesto  
Fuente *Elaboración Propia*

## Conclusiones

En este artículo se presentó un método para calcular la ubicación relativa de una cámara con respecto a al menos tres puntos de referencia en el espacio tridimensional utilizando un sistema de visión monocular. Para el cálculo solamente es necesario conocer la distancia entre cada par de puntos. Esta información puede utilizarse en sistemas de control industrial, realidad aumentada o navegación de robots autónomos, que utilicen una sola cámara.

Los resultados experimentales muestran un buen desempeño del algoritmo en imágenes tomadas con una cámara de bajo costo en condiciones no controladas. El cálculo de las coordenadas tridimensionales comparado contra un sistema RGBD comercial fue satisfactorio. La ventaja del método propuesto es que requiere únicamente hardware de bajo costo y es menos restrictivo y puede aplicarse en una mayor variedad de escenarios. Por lo anterior, consideramos que el trabajo es una contribución al avance científico en el área de la visión por computadora, en particular en el tema de odometría visual monocular.

## Agradecimiento

Este proyecto fue financiado por el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de La Paz y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

## Referencias

Barranco-Gutiérrez, M.-D. G.-T. (2018). *Visión Estereoscópica con MATLAB y OPENCV*. La Paz: Pearson.

MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl. Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular. *Revista de Ingeniería Innovativa*. 2019.

- Bradski, K. (2008). *Learning OpenCV*. Sebastopol, California: O'Reilly.
- Chatzopoulos, B. H. (2017). Mobile augmented reality survey: from where we are to where we go. *IEEE Access*, 69176950.
- Harris, S. (1988). A combined corner and edge detector . *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*, (pp. 147–151).
- Hartley, Z. (2004). *Multiple View Geometry in Computer Vision* . Cambridge University Press.
- Moré, S. (1983). Computing a trust region step. *Journal on Scientific and Statistical Computing*, 553–572.
- Said, S. W. (2012). Depth estimation for a mobile platform using monocular vision. *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012)*, (págs. 945-950).
- Shanmugamani, S. R. (2014). Detection and classification of surface defects of gun barrels using computer vision and machine learning. *Measurement*, 222-230.
- Tarrio, P. (2017). Realtime edge based visual inertial odometry for MAV teleoperation in indoor environments. *J. Intell. Robot Syst*, 1-18.
- Tumer, K. y. (2011). Adaptive navigation for autonomous robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 410-420.
- Wang, L. L. (2015). Vision-based tracking control of underactuated water surface robots without direct position measurement. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2391-2399.
- Xu, H. L. (2016). A machine-vision inspection system for conveying attitudes of columnar objects in packing processes. *Measurement*, 255-273.
- Yao, A. T. (2017). Monocular vision-based human following on miniature robotic blimp. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, (págs. 3244-3249).
- Yin, W. D. (2017). Scale recovery for monocular visual odometry using depth estimated with deep convolutional neural fields. *2017 IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 5871-5879). IEEE.
- Zhang. (2000). A flexible new technique for camera calibration . *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1330-1334.

## Implementación de un sistema de riego con recuperación de agua proveniente de la climatización en el sector Industrial

### Implementation of an irrigation system with water recovery from climate control in the Industrial sector

FUENTES-RUBIO, Yadira Aracely†\*, ESQUEDA-WALLE, Ramiro, DOMÍNGUEZ-CRUZ, René Fernando y SALAZAR-CASTILLO, Yaaresi Milliset

*Universidad Autónoma de Tamaulipas*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Yadira Aracely, Fuentes-Rubio* / ORC ID: 0000-0002-7385-9794, CVU CONACYT ID: 794463

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ramiro, Esqueda-Walle* / ORC ID: 0000-0003-2838-5216, CVU CONACYT ID: 270645

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *René Fernando, Domínguez-Cruz* / ORC ID: 0001-7001-7543, Researcher ID Thomson: C-3108-2018, CVU CONACYT ID: 31057

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Yaaresi Milliset, Salazar-Castillo* / ORC ID: 0000-0001-6424-0298

DOI: 10.35429/JOIE.2019.10.3.24.30

Recibido 16 de Abril, 2019; Aceptado 30 de Junio, 2019

#### Resumen

En este trabajo se presenta el estudio y análisis del uso del agua generada por las unidades de aire acondicionado en una empresa manufacturera de productos electrónicos para la industria médica, industrial y automotriz. La empresa conoce su responsabilidad ambiental y está consciente de que el agua es necesaria para la vida, por ello, se debe utilizar adecuadamente y cuidarla, para evitar que este recurso no renovable se siga agotando. Se propuso utilizar el agua que se genera por la condensación de los aires acondicionados ubicados en tres áreas de la empresa. El proyecto, permitió recuperar y reusar los 2,104,400 litros de agua generados anualmente en dichos equipos de refrigeración mediante el diseño e implementación de un sistema funcional de riego con cobertura de 820m<sup>2</sup> de césped. El uso del agua para este sistema de riego se encuentra basado entre otros elementos, en el mantenimiento de los aires acondicionados, lo que evita la generación de excedentes de químicos contaminantes en agua condensada que se desaloja.

**Mantenimiento Industrial, Reutilización de agua, Responsabilidad Ambiental**

#### Abstract

This paper presents the study and analysis of the use of water generated by air conditioning units in a company that manufactures electronic products for the medical, industrial and automotive industry. The company knows its environmental responsibility and is aware that water is necessary for life, therefore, it must be used and taken care of, to avoid that this resource is not renewable. We propose to use the water generated by the condensation of air conditioners in the company's areas. The project, which will recover and reuse the 2,104,400 liters of water generated in said refrigeration equipment through the design and implementation of functional irrigation systems with a coverage of 820m<sup>2</sup> of grass. The use of water for this irrigation system is based on other elements, in the maintenance of the air conditioners, which avoids the generation of surplus chemical contaminants in the condensed water that is discharged.

**Industrial Maintenance, Water Reuse, Environmental Responsibility**

**Citación:** FUENTES-RUBIO, Yadira Aracely, ESQUEDA-WALLE, Ramiro, DOMÍNGUEZ-CRUZ, René Fernando y SALAZAR-CASTILLO, Yaaresi Milliset. Implementación de un sistema de riego con recuperación de agua proveniente de la climatización en el sector Industrial. Revista de Ingeniería Innovativa. 2019. 3-10: 24-30

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: yfuentes@uat.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

## Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura ha señalado que factores como el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el incremento de la producción de cultivos y el consumo, ocasionan un incremento en la demanda de agua potable (UNESCO, 2015). Así mismo, la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera aumenta la temperatura y con ello se modifican diversas funciones del ecosistema, tales como el ciclo hidrológico, la disponibilidad hídrica, las propiedades de la composición y naturaleza del suelo y la vegetación, entre muchas otras (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014*). Ello propicia que los veranos sean más intensos y la disponibilidad hídrica disminuye en zonas semiáridas, siendo necesario identificar las opciones para mitigar y afrontar estos efectos, así como explorar las estrategias ante los nuevos escenarios (Gray y Brady, 2016).

Con base en lo anterior, es necesario una gestión sostenible del agua y del cuidado del ecosistema, es por ello que las empresas de manufactura a nivel mundial se rigen y certifican en la norma ISO 14001. Esta norma tiene el propósito de apoyar la aplicación de un plan de manejo ambiental, la cual fue creada por la Organización Internacional para Normalización (*International Organization for Standardization - ISO*) y cuyo objetivo es que la empresa reduzca su impacto en el medio ambiente y con ello crear beneficios internos al mejorar el uso de los recursos.

Algunas empresas de manufactura, para obtener la certificación ISO 14001 se centran en desarrollar un plan de protección ambiental y cumplir con las leyes nacionales referentes al medio ambiente, mientras que, para otras, implica mucho más, tal es el caso de la empresa manufacturera ubicada en Cd. Reynosa, Tamaulipas, la cual se dedica a la fabricación de productos electrónicos para la industria médica, industrial y automotriz.

Al Sistema de Gestión Ambiental en dicha empresa, se propuso desarrollar un proyecto para el cuidado del agua y utilización eficiente de la misma, el cual permitiría el regado de las áreas verdes, debido a que estas zonas se incrementaron.

El objetivo se enfocó en la recuperación y reutilización de 2,104,400 litros de agua generados anualmente en equipos de refrigeración, mediante el diseño e implementación de sistema funcional de riego con una cobertura de 820m<sup>2</sup> de césped. Ello fue posible mediante el desarrollo de un plan de mantenimiento a los aires acondicionados para evitar la generación de excedentes de químicos contaminantes en agua condensada que se desaloja.

Más allá del tema y caso de análisis, la relevancia de la investigación se sustenta principalmente por las siguientes consideraciones; i) el contexto y tendencias de la región en la que se ubica la empresa; ii) las características sectoriales de su actividad productiva. Respecto a las primeras se tiene que Reynosa es el municipio más poblado del estado con 630,000 habitantes y en los últimos 25 años se ubica dentro de los primeros cinco municipios a nivel nacional con las mayores tasas de crecimiento promedio anual poblacional y dentro de los primeros diez de la producción bruta total (Censos Poblacionales y Económicos de INEGI, varios años). En este sentido el dinamismo de la actividad manufacturera de exportación -principalmente- ha contribuido en esta tendencia y de manera paralela al acelerado aumento de la demanda de suministro de agua potable que conforme a estimaciones propias con datos de SIMBAD-INEGI y CEAT (varios años), ha registrado una expansión de 16% de 2006 a 2018 y las tomas industriales se han quintuplicado de 1996 a la fecha.

## Nociones fundamentales del estudio

### Norma ISO 14001:2015

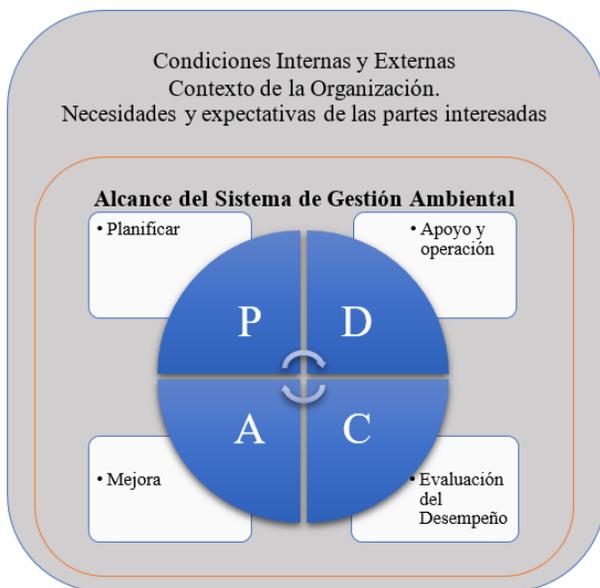
La Organización Internacional de Normalización (ISO), menciona que el propósito de ISO 14001 en su versión 2015, es proporcionarles a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas.

Un enfoque sistemático a la gestión ambiental proporciona información a la alta dirección para generar éxito a largo plazo y crear opciones para contribuir al desarrollo sostenible, en el presente artículo, nos centraremos en:

1. La protección del medio ambiente, por medio de la prevención o mitigación de impactos ambientales adversos;
2. Mejora del desempeño ambiental;
3. El control o la influencia sobre la forma en la que la organización diseña, fabrica, distribuye, consume y lleva a cabo la disposición final de productos o servicios, usando una perspectiva de ciclo de vida que pueda prevenir que los impactos ambientales sean involuntariamente trasladados a otro punto del ciclo de vida;
4. El logro de beneficios financieros y operacionales que puedan ser el resultado de implementar alternativas ambientales respetuosas que fortalezcan la posición de la organización en el mercado;

La base para el enfoque de un sistema de gestión ambiental se fundamenta en el concepto de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PDCA, por sus siglas en inglés), es decir, el círculo de Deming. Adicionalmente, Gutiérrez (2010), menciona que la filosofía de este ciclo lo hace de gran utilidad para perseguir la mejora mediante diferentes metodologías.

La Organización Internacional de la Normalización (ISO), menciona que en el marco de referencia introducido en la Norma Internacional ISO 14001, se puede integrar en el modelo PCDA, lo cual puede ayudar a usuarios actuales y nuevos a comprender la importancia de un enfoque de sistema.



**Figura 1.** Círculo de Deming y su relación con el SGA. Fuente: Realización Propia

Sistema de gestión ambiental:

La Organización Internacional de Normalización (ISO), lo conceptualiza como: parte del sistema de gestión usada para gestionar aspectos ambientales, cumplir los requisitos legales y otros requisitos, así como abordar los riesgos y oportunidades.

Mantenimiento industrial:

Como lo menciona Peng (2012), dentro de las organizaciones, cuando escuchamos el término “mantenimiento” lo asociamos al departamento encargado de la reparación y preservación de los equipos de producción, sin embargo, dentro de la literatura de la administración del mantenimiento, el término es por lo general definido como el conjunto de acciones técnicas y administrativas encaminadas a mantener o restaurar un bien capital a una condición óptima esperada.

Existen tres tipos de mantenimiento básicos, mencionados por Dhillon (2002), los cuales son el mantenimiento predictivo, el preventivo y el correctivo, sin embargo, el artículo se centra en el mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

**Problemática**

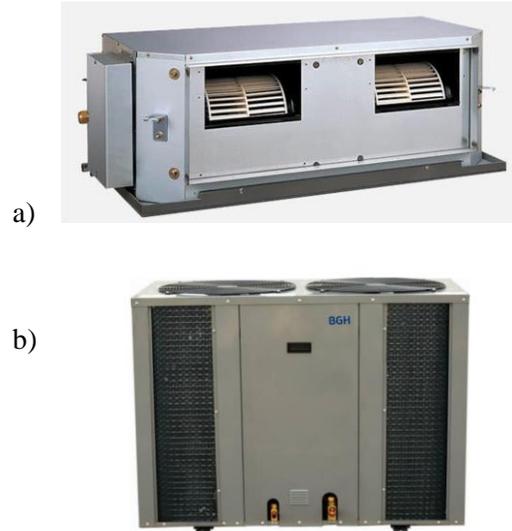
La empresa manufacturera en cuestión decidió instalar nuevas áreas verdes dentro y fuera de las instalaciones de la empresa. Al realizar el riego a dichas áreas se notó que el consumo de metros cúbicos y el costo del agua incrementó notablemente y esto afectó la meta de los métricos ambientales con un incremento del 30% en su totalidad. Aproximadamente se consumían 2600 litros de agua mensuales en el sistema de riego, lo cual representaba un consumo anual de 30,830 litros.

**Metodología**

En la empresa se tienen instalados aires acondicionados industriales de 50 toneladas, los cuales anualmente generan 2,104,400 litros de agua condensada, y debido al incremento en el consumo de agua para el riego de las nuevas aéreas verdes, se reunieron los departamentos de Mantenimiento de planta con el de Seguridad y medio ambiente, entre ambos trabajaron en el proyecto para reutilizar el agua condensada, utilizando la metodología del círculo de Deming como lo establece la ISO 14001:2015 para el sistema de gestión ambiental. Se acordaron las siguientes actividades para desarrollo del proyecto:

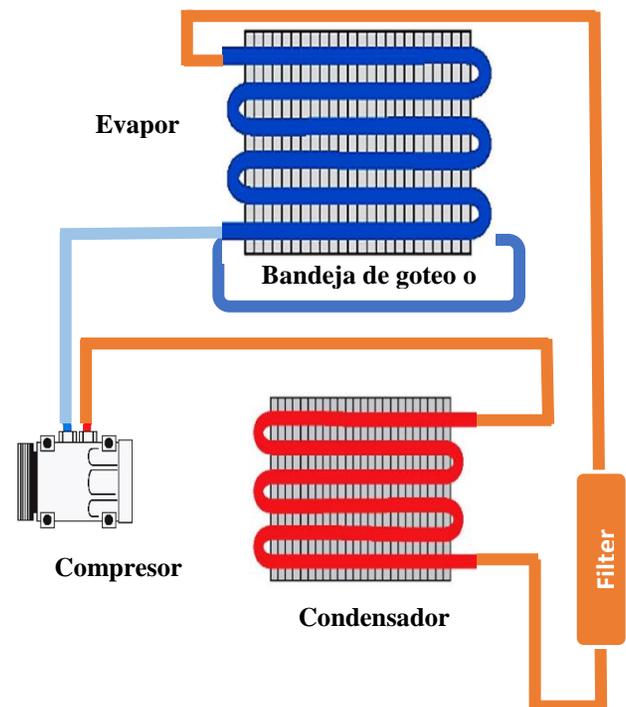
1. Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo a los aires acondicionados que evite la contaminación en el agua condensada.
  2. Analizar el agua arrojada por los aires acondicionados y dicha agua debe estar bajo la norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994 – Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
  3. Implementación del sistema de riego utilizando el agua condensada.
1. Desarrollo del plan de mantenimiento:

Un aire acondicionado se compone de dos unidades: interior y exterior, tal como se muestran en la figura 2.



**Figura 2.** Unidades que conforman un aire acondicionado industrial. a) Unidad Interna. b) Unidad Externa  
Fuente: <https://www.bgh.com.ar/producto/139/separado-comercial-frio-calor-por-bomba>

En la unidad exterior se encuentra el intercambiador (ubicado en el compresor), cuando este se enciende se llena de gas a baja presión y la temperatura dentro de él descende, a través de este proceso, la humedad ambiental se va adhiriendo al intercambiador y así se produce la condensación. Entonces, el gas se convierte en agua y esta cae a la bandeja del desagüe (figura 3).



**Figura 3.** Ciclo básico de refrigeración  
Fuente: Realización Propia

Dependiendo de la humedad que haya en el ambiente se condensa de mayor o menor cantidad. La época del año en la que se aprovecha mejor dicho proceso de condensación es en verano esto se debe a que en esta época del año hay más humedad. El mantenimiento es una pieza clave para el buen funcionamiento de la captación de agua para su posterior reutilización, de no ejecutarlo correctamente podría ocasionar un impacto ambiental negativo, es por ello que se desarrollaron los planes de mantenimiento preventivo al sistema de climatización que a continuación se presentan:

**Mantenimiento Preventivo:**

Actividades	Frecuencia
Limpieza de equipo y partes, el condensador y evaporador.	Semanal
Lubricación a los mecanismos (baleros, chumaceras y bujes).	Mensual
Revisión y cambio de filtros en unidades paquetes.	Mensual
Cambio de Filtro deshidratador.	Mensual
Revisión de amperaje y voltaje de compresor bombas y ventiladores,	6 meses
Analizar las muestras de agua condensada según lo indique la NOM-127.	6 meses
Limpieza del tanque de almacenamiento.	Anual

**Tabla 1.** Tareas del mantenimiento preventivo para aire acondicionado

Fuente: Realización Propia

**2. Análisis del agua condensada:**

Después de la implementación del plan de mantenimiento, se realizó el análisis del agua condensada, y se compararon los resultados con los límites permitidos en base a la norma NOM-127-SSA1-1994 (Tabla 2). El análisis del agua lo realizó un laboratorio especializado, para una mayor confiabilidad de los resultados y posterior reutilización del agua.

Características	Agua condensada analizada	Límites Permisibles (NOM-127-SSA1-1994)
Ph	6.34	6.5-8.5
Solidos Suspendidos	30 mg/l	1000.00
Bario	0.02 ppm	0.70
Magnesio	0 ppm	0.15
Sulfato	0 ppm	400.00
Densidad	0.9983 g/cm3	500.00
Cloruros	106.5 ppm	0.2-1.50
Dureza de Calcio	30 ppm	500.00ppm
Dureza Total	40 ppm	500.00 ppm
Dureza de Magnesio	10 ppm	0.15 ppm

**Tabla 2.** Resultados del análisis del agua condensada.

Fuente: Realización Propia

**3. Implementación del sistema de riego:**

Se instaló el sistema de riego para cubrir un total de 820m<sup>2</sup>, en donde básicamente el agua condensada es llevada a un tinaco y de ahí mediante una bomba, el agua es llevada mediante mangueras y rociadores (figura 4) a todas las áreas verdes, como se muestra en la figura 5.



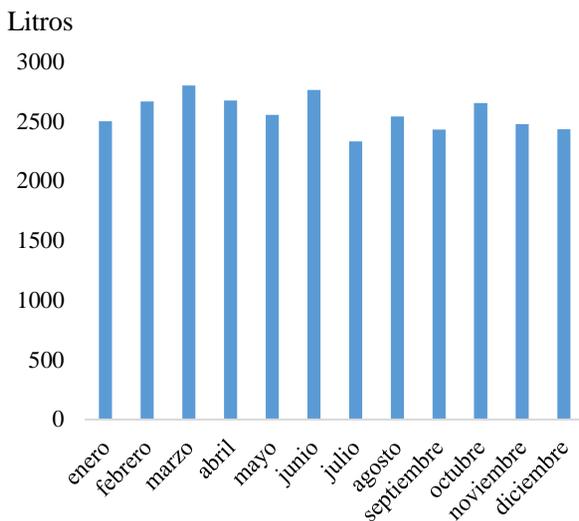
**Figura 4.** Rociadores del sistema de riego  
Fuente: Realización Propia



**Figura 5** Instalación del sistema de riego  
Fuente: Realización Propia

**Resultados**

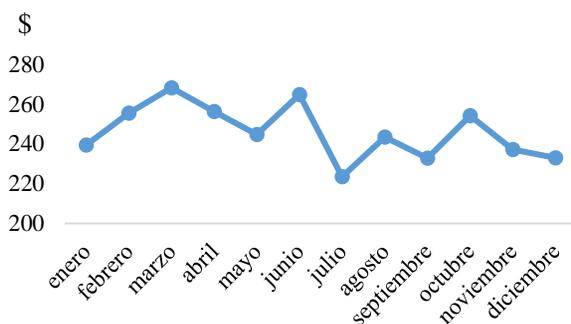
Se continuó utilizando el agua condensada de los aires acondicionados, siguiendo la metodología propuesta y después de 12 meses, se registró el consumo mensual utilizado en el sistema de riego, esto equivale a un ahorro en promedio de poco más de 2500 litros mensuales, tal como se muestra en la gráfica 1.



**Gráfico 1.** Consumo mensual de agua utilizada en el sistema de riego

Fuente: Realización Propia

Según el Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas (POE), en el municipio de Reynosa la tarifa de agua por cuota mínima (10 metros cúbicos) es de \$55.57 para uso residencial y público, \$106.42 comercial y \$133.58 industrial, en base a ello, al reutilizar el agua condensada de los aires acondicionados, se está obteniendo registra un ahorro monetario significativo, como se muestra en la gráfica 2.



**Gráfico 2.** Ahorro mensual

Fuente: Realización Propia

En promedio el ahorro mensual fue de \$247.57, lo que en términos anuales asciende a \$3,000. El beneficio en términos de la Gestión de la Calidad en el apartado ambiental y, sobre todo, en la contribución a la sustentabilidad de la región son muy superiores a los económicos y con un beneficio potencialmente mucho mayor, ya que es importante mencionar que no todos los litros de agua recuperados están siendo utilizados en el sistema de riego. Por tanto, la empresa está analizando implementar un segundo proyecto para utilizar esa agua en los sanitarios y de esta manera seguir contribuyendo con el medio ambiente.

## Conclusiones

De los resultados obtenidos, se puede concluir que el agua que proviene de los aires acondicionados es un recurso que por su cantidad y calidad llevando a cabo el mantenimiento en tiempo y forma, cumple con los lineamientos de la Norma Mexicana para el uso de aguas y con ello puede utilizarse sin problemas para el riego, lo cual es muy favorable y ambientalmente sostenible. Adicionalmente, se observó que la recuperación y uso del agua generada por los sistemas de aire acondicionado permitió un ahorro del 51%, lo que genera además de un beneficio económico, una contribución al cuidado en los recursos hídricos. Este proyecto ha propiciado que el uso del agua generada de los aires acondicionados pueda también ser empleada en otras áreas, como en los sanitarios, tal como la empresa proyecta incorporarla a futuro.

## Recomendaciones

En términos regionales el impacto de este tipo de implementaciones cobra una dimensión mayor tomando en cuenta que conforme a los datos más recientes de Index -Reynosa existen 130 plantas manufactureras de exportación instaladas en Reynosa por lo que, bajo un escenario conservador si se pusiera en marcha proyectos similares en cada una de ellas se estarían reutilizando aproximadamente 3,120,000 litros anuales de agua potable lo que podría ayudar a contener las tendencias de la demanda de agua de uso industrial señaladas al inicio del trabajo.

## Referencias

Bain, R., R. Cronk, "Global Assessment of Exposure to Faecal Contamination through Drinking Water Based on a Systematic Review", doi.org/10.1111/tmi.12334, Tropical Medicine and Inter. Health, 19 (8), 917–27 (2014)

Comisión Estatal de Agua del Estado de Tamaulipas, CEAT. <https://www.tamaulipas.gob.mx/ceat/> [Fecha de consulta: Mayo, 2019]

Dhillon, B.S. Engineering Maintenance: A Modern Approach; CRC Press: Boca Raton, Florida, Estados Unidos, 2002.

Gray, S. y S. Brady, “*Plant developmental responses to climate change, Developmental Biology*”, 419(1), 64-77 (2016)

Gutierrez, Humberto. *Calidad Total y Productividad*. Mexico. McGraw-Hill. Mexico (2010).

International Organization for Standardization (2019). “*ISO 14001:2015*”, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es/> [Fecha de consulta: Junio, 2019]

INEGI. Censos Generales de Población y Vivienda (varios años); Censos Económicos (varios años). [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) [Fecha de consulta: Abril, 2019]

Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014. Synthesis Report*

IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 151 pp. PCC, Génova, Suiza (2014).

International Organization for Standardization (2019). “*ISO 14001:2015*”, <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es/> [Fecha de consulta: Junio, 2019]

Index-Reynosa. <http://indexreynosa.org.mx/> Fecha de consulta: Mayo, 2019]

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, “*Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2015: Agua para un mundo sostenible*”, UNESCO, París, 139 p. (2015)

Organización Mundial de la Salud, (OMS), “*Agua para todos, agua para la vida, 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*”, París (2015)

Peng, Kern, (2012). “*Equipment Management in the post-maintenance era: a new alternative to Total Productive Maintenance (TPM)*”. CRC Press. Estados Unidos de América.

Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas. <http://po.tamaulipas.gob.mx/wp->

<content/uploads/2019/04/cxliv-49-230419F.pdf> [Fecha de consulta: AgostMayo, 2019]

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, “*Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*”. (2000). <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html> [Fecha de consulta: Junio, 2019]

SIMBAD-INEGI. Estadísticas sobre urbanización (varios años). [Fecha de consulta: Abril, 2019]

**[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 – Techonology 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 Ingeniería Innovativa. 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**

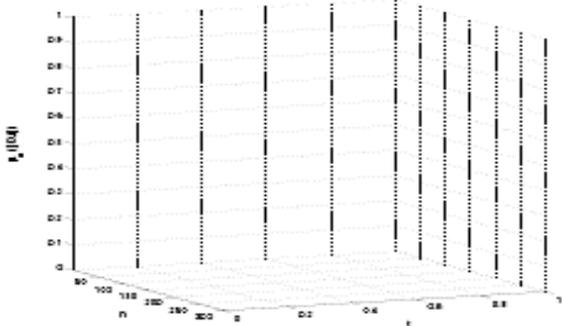
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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.

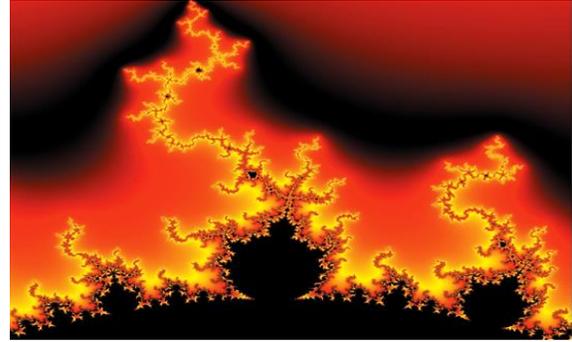
[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No. 10 y Negrita]



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

**Conclusiones**

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.

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

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 Sistemas Experimentales 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 Sistemas Experimentales 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 Bolivia 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-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Innovativa, 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**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. 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**

MIRANDA - TORRADO, Fernando. PhD

**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® Republic of Peru), [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**

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú.

# Revista de Ingeniería Innovativa

“Inspección mecánico-visual de ampollitas farmacéuticas de vidrio mediante el uso de visión artificial y robótica”

**GARCIA-GUTIEREZ, Felipe De Jesús, ROJAS-OLMEDO, Israel Alejandro, BARON- GUADARRAMA, Alma y SANCHEZ-MANCILLA, Luis Fernando**  
*Universidad Tecnológica del Valle de Toluca*

“Diseño de una micro-red virtual fotovoltaica, aplicando monitoreo energético en tiempo real, y estrategias de cambio de conducta para el ahorro de energía”

**RENTERÍA-MACEDO, Francisco Daniel, GARCÍA-GUERRERO, Santiago Martín, HARO-FALCÓN, Nicolás y CORONADO-MENDOZA, Alberto**  
*Universidad de Guadalajara*

“Estimación de la ubicación relativa de una cámara utilizando un sistema de visión monocular”

**MARTÍNEZ-DÍAZ, Saúl**  
*Instituto Tecnológico de la Paz*

“Implementación de un sistema de riego con recuperación de agua proveniente de la climatización en el sector Industrial”

**FUENTES-RUBIO, Yadira Aracely, ESQUEDA-WALLE, Ramiro, DOMÍNGUEZ-CRUZ, René Fernando y SALAZAR-CASTILLO, Yaaresi Milliset**  
*Universidad Autónoma de Tamaulipas*

