

ISSN 2523-6806

Volumen 4, Número 14 — Julio — Diciembre — 2020



Revista de  
Operaciones  
Tecnológicas

**ECORFAN<sup>®</sup>**

## **ECORFAN-Taiwán**

### **Editor en Jefe**

BARRERO-ROSALES, José Luis. 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 Operaciones Tecnológicas,**

Volumen 4, Número 14, de Julio a Diciembre 2020, es una revista editada semestralmente por ECORFAN-Taiwán. Taiwan, Taipei. YongHe district, ZhongXin, Street 69. Postcode: 23445.

WEB: [www.ecorfan.org/taiwan](http://www.ecorfan.org/taiwan),

[revista@ecorfan.org](mailto:revista@ecorfan.org). Editor en Jefe:

BARRERO-ROSALES, José Luis. PhD. ISSN:

2523-6806. Responsables de la última

actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-

BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir,

actualizado al 31 de Diciembre 2020.

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

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional de defensa de la competencia y protección de la propiedad intelectual.

# **Revista de Operaciones Tecnológicas**

## **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 Electromagnetismo, Fuentes de distribución eléctrica, Innovación en la ingeniería eléctrica, Amplificación de señales, Diseño de motores eléctricos, Ciencias materiales en las plantas eléctricas, Gestión y distribución de energías eléctricas.

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

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

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

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

## **Consejo Editorial**

MAYORGA - ORTIZ, Pedro. PhD  
Institut National Polytechnique de Grenoble

DECTOR - ESPINOZA, Andrés. PhD  
Centro de Microelectrónica de Barcelona

CASTILLO - LÓPEZ, Oscar. PhD  
Academia de Ciencias de Polonia

HERNANDEZ - ESCOBEDO, Quetzalcoatl Cruz. PhD  
Universidad Central del Ecuador

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD  
University of Bristol

HERRERA - DIAZ, Israel Enrique. PhD  
Center of Research in Mathematics

NAZARIO - BAUTISTA, Elivar. PhD  
Centro de Investigacion en óptica y nanofisica

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD  
Intitut National Polytechnique Toulouse

CARBAJAL - DE LA TORRE, Georgina. PhD  
Université des Sciences et Technologies de Lille

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD  
University of Southampton

## **Comité Arbitral**

CORTEZ - GONZÁLEZ, Joaquín. PhD  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

CRUZ - BARRAGÁN, Aidee. PhD  
Universidad de la Sierra Sur

CASTILLO - TOPETE, Víctor Hugo. PhD  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

GONZÁLEZ - LÓPEZ, Samuel. PhD  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

CASTAÑÓN - PUGA, Manuel. PhD  
Universidad Autónoma de Baja California

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD  
Universidad de Guadalajara

GONZÁLEZ - REYNA, Sheila Esmeralda. PhD  
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

BARRON, Juan. PhD  
Universidad Tecnológica de Jalisco

ARREDONDO - SOTO, Karina Cecilia. PhD  
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD  
Universidad de Guanajuato

BAUTISTA - SANTOS, Horacio. PhD  
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

## **Cesión de Derechos**

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

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

## **Declaración de Autoría**

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

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

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

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

## **Detección de Plagio**

Todos los Artículos serán testeados por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se 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 homólogo de CONACYT para los capítulos de América-Europa-Asia-África y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

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

### **Área del Conocimiento**

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Electromagnetismo , Fuentes de distribución eléctrica, Innovación en la ingeniería eléctrica, Amplificación de señales , Diseño de motores eléctricos, Ciencias materiales en las plantas eléctricas, Gestión y distribución de energías eléctricas y a otros temas vinculados a las Ciencias de Ingeniería y Tecnología.

## **Presentación del Contenido**

En el primer artículo presentamos *Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino*, por LOZANO-CAMARGO, María Luisa, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando, con adscripción en el Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México y la Universidad Autónoma Metropolitana, respectivamente, como segundo artículo presentamos *Perfil del sector de alta tecnología en México: Una aproximación a la realidad*, por VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles & ROMO-GONZÁLEZ, Ana Eugenia, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Jalisco, como tercer artículo presentamos *Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC), basado en la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad de tono en los procesos de inyección-soplo de plástico*, por SOTO-LEYVA, Yasmin, CARMONA VELÁZQUEZ, Araceli, LIEVANO-MORENO, Claudia Patricia y AHUACATITLA-PÉREZ, José Miguel, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango y Universidad Xicotepetl, respectivamente, como cuarto artículo presentamos *Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras*, por FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores, con adscripción en el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.

## Contenido

Artículo	Página
<b>Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino</b> LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando <i>Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México</i> <i>Universidad Autónoma Metropolitana</i>	1-5
<b>Perfil del sector de alta tecnología en México: Una aproximación a la realidad</b> VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles & ROMO-GONZÁLEZ, Ana Eugenia <i>Universidad Tecnológica de Jalisco</i>	6-21
<b>Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC), basado en la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad de tono en los procesos de inyección-soplo de plástico</b> SOTO-LEYVA, Yasmin, CARMONA VELÁZQUEZ, Araceli, LIEVANO-MORENO, Claudia Patricia y AHUACATITLA-PÉREZ, José Miguel <i>Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango</i> <i>Universidad Xicotepetl</i>	22-31
<b>Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras</b> FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores <i>Instituto Tecnológico de San Luis Potosí</i>	32-39

## Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino

### Construction of an electrochemical sensor to determine polluting gases in the air (CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>), using an Arduino board

LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa†\*, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando

*Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México. Depto. Ingeniería Ambiental, Paraje San Isidro S/N, Barrio de Tecamachalco, Los Reyes La Paz, Estado de México. C.P. 56400, México.*

*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Dpto. de Química. Av. Michoacán y la Purísima, Col. Vicentina. C.P. 09340, México.*

*Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Depto. de Ciencias Básicas. Av. San Pablo 180, Reynosa Tamaulipas, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02200, CDMX, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Maria Luisa, Lozano-Camargo* / ORC ID: 0000-0002-0777-6392, CVU CONACYT ID: 46638

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Christian Hugo, Rodríguez-Gómez* / ORC ID: 0000-0003-3187-8847

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Laura, Galicia-Luis* / CVU CONACYT ID: 120121

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Fernando, Talavera-Romero* / ORC ID: 0000-0001-7801-2050

DOI: 10.35429/JTO.2020.14.4.1.5

Recibido 10 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

#### Resumen

A medida que la humanidad evoluciona, se ha incrementado la contaminación del aire por las diversas actividades antropogénicas que el hombre realiza, emitiendo emisiones de gases y partículas contaminantes al ambiente, afectando gravemente la salud de los seres vivos y del planeta, ya que estos ocasionan alteraciones físicas y químicas en el entorno de manera irreversible, convirtiéndose en un gran problema a nivel mundial. En México existen estaciones meteorológicas que miden la calidad del aire y sólo se encuentran en puntos fijos, sin embargo, no alcanzan a cubrir todas las zonas del Estado de México, el deterioro de la calidad del aire trae consigo el incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares; es por ello, que este proyecto tiene como objetivo principal construir sensor electroquímico portátil mediante una placa de Arduino, usando un software personalizable capaz de cuantificar y analizar tres gases contaminantes CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, en especial en el municipio de Chimalhuacán ubicado en la zona Oriente del Estado de México.

**Sensor electroquímico, Arduino, Contaminantes del aire**

#### Abstract

As humanity evolves, air pollution has increased due to the various anthropogenic activities that man carries out, alienating emissions of gases and polluting particles to the environment, seriously affecting the health of living beings and the planet, since these cause Irreversible physical and chemical alterations in the environment, becoming a major problem worldwide. In Mexico there are meteorological stations that measure air quality and they are only found at fixed points, however, they do not cover all areas of the State of Mexico, the deterioration of air quality brings with it an increase in respiratory and cardiovascular diseases ; That is why this project's main objective is to build a portable electrochemical sensor using an Arduino board, using customizable software capable of quantifying and analyzing three polluting gases CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, especially in the municipality of Chimalhuacán located in the area East of the State of México.

**Electrochemical sensor, Arduino, Air pollutants**

**Citación:** LOZANO-CAMARGO, Maria Luisa, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando. Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-14:1-5.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: maria.lozano@tesoem.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En los últimos años debido a las diversas actividades antropogénicas e industriales realizadas por el ser humano aumentado drásticamente la contaminación del aire y está llegando a un punto crítico, ya que se tiene un incremento de emisiones a la atmósfera de manera exponencial que causan el efecto invernadero (GEI) (INECC, 2016), ocasionado exista un deterioro en la calidad del aire por la presencia de sustancias tóxicas que impactan gravemente al medio ambiente y la salud de los seres vivos, los gases y partículas contaminantes a incrementado las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y los problemas de cáncer. Actualmente no se tienen datos estadísticos en diversas zonas de CDMX y/o Estado de México (Greatbatch, 2000), aún cuando se cuentan con estaciones meteorológicas que miden la calidad del aire en tiempo real en la mayoría de la población desde los años 90's (SEMARNAT. (2013), pero aún existen poblaciones y/o municipios donde no se lleva a cabo un monitoreo en la calidad del aire, y los cuales requieren ser monitoreados porque existen muchas industrias asentadas en zonas habitacionales que causan efectos adversos en la salud de los pobladores y al medio ambiente.

Desde 2006, se calcula el Índice de Calidad del Aire (IMECA), con fundamento en Norma Ambiental NADF-009-2006. Recientemente dicha norma fue actualizada en 2018 (*Gaceta Oficial de la CDMX*, 2018) y en ella, se establecen los requisitos para el cálculo y la difusión del Índice de Calidad del Aire vigente, (SEMARNAT, 2013).

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS; WHO por sus siglas en inglés), en 2012 la contaminación del aire fue responsable de 3.7 millones de muertes en el planeta (11% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 6% de cáncer de pulmón; 40% por enfermedad isquémica del corazón, 40% por accidente cerebrovascular y alrededor de 3% por infección respiratoria aguda). La mayor parte, cerca del 70%, ocurrió en los países de la región Pacífico occidental y el sureste de Asia (1.67 millones y 936 mil muertes, respectivamente). Sin embargo, en el continente americano se registraron cerca de 58 mil decesos (UNICEF, WHO, 2015).

Mark Nieuwenhuijsen, del Centro de Investigación en Epidemiología Ambiental en Barcelona (CREAL), es uno de estos investigadores que está utilizando monitores portátiles para medir y mapear la contaminación del aire en formas que antes eran imposibles. -- El actual método utilizado para medir la contaminación del aire en las ciudades es poner un monitor de contaminación del aire en algún lugar de la ciudad y asumir que todos estamos expuestos a ese nivel de contaminación del aire--.

Recientemente podemos investigar acerca de otros dispositivos propuestos, como el sistema computarizado de censado de gases contaminantes (Granados et., 2016), el cual se encarga de la detección y cuantificación de sustancias contaminantes. El tema se llevó a cabo utilizando sensores de la familia MQ y dos interfaces NI 6008, además de adicionarlo para su posterior lectura con un software llamado LabVIEW, con esto elementos se pudo construir una estación de monitoreo ambiental computarizada; el sistema es totalmente portátil y se puede realizar las lecturas en cualquier estado climatológico a la que este expuesto el dispositivo.

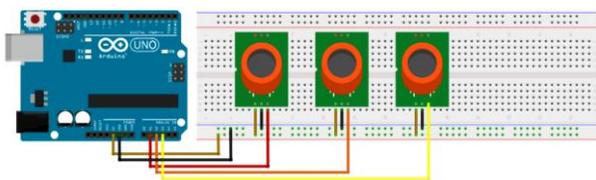
Por lo antes, mencionado este proyecto tiene como finalidad construir un dispositivo como sensor electroquímico integrado con una tarjeta de Arduino.

## Metodología por desarrollar

### Sensor Electroquímico

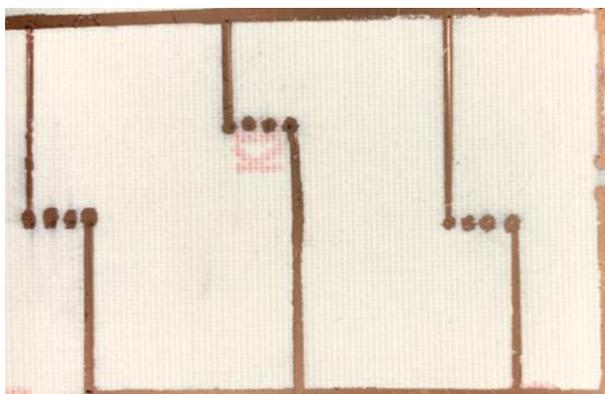
La construcción del dispositivo se realizó, empleando dos programas, uno para modelar el sistema eléctrico en Arduino y obtener el PCB final mediante Fritzing, y un programa de instrumentación para la realización y ejecución del lenguaje de programación se utilizó LabView.

Para el modelado del diseño electrónico en Fritzing, se eligieron 3 sensores para monitorear los gases contaminantes de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, este fue desarrollado con una fuente de alimentación (VCC), la cual tiene como función mandar la señal eléctrica a los sensores, así como tres salidas a tierra (GND) y los tres canales análogos (AO) que sirven para convertir la lectura analógica a digital, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Diseño digital del ensamblaje de los sensores (proto-board) en Fritzing

Una vez obtenida la vista del protoboard, que permite simular el circuito virtual exactamente de la misma forma en que se verá el circuito real, una vez obtenido el diseño final en Fritzing, se adhirió a la placa de cobre, posteriormente se introdujo en un recipiente con cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), con la finalidad de desbastar el cobre contenido en la placa y posteriormente ejecutar la conexión correspondiente de los sensores soldando de manera cuidadosa para evitar desprendimientos futuros de los circuitos como se muestra en la figura 2.

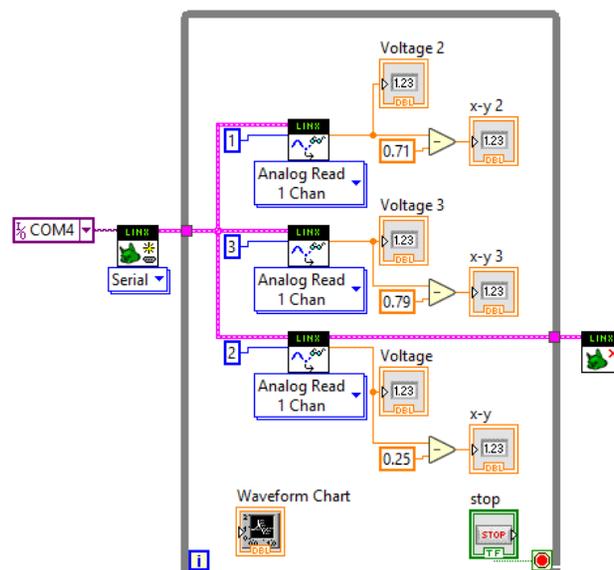


**Figura 2** Circuito impreso desde la vista de (PCB) Fritzing en la placa de cobre

Una vez soldado todo el circuito se incorporaron los sensores conectados directamente en la placa de Arduino, y se integró con el software LabVIEW, para el lenguaje de tipográfico facilitando la parte de programación, utilizando una fuente de alimentación de 5V.

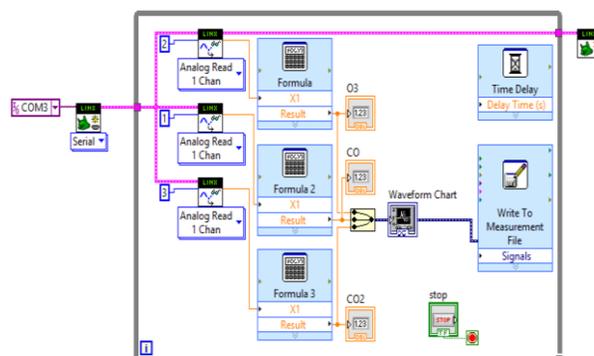
### Programación

El sistema de programación se realizó empleando LabVIEW, desarrollando dos diferentes programas uno para calibrar los sensores como se muestra en la figura 3, y el otro para obtener la lectura de estos mismos como se observa en la figura 4.



**Figura 3** Diagrama de bloques en LabView para calibración de sensores

La calibración de los sensores se realizó con gas helio ( $\text{He}$ ), ya que este no reacciona con los sensores.



**Figura 4** Diagrama de bloques en LabView para lecturas de sensores

### Resultados

Una vez construido el sensor electroquímico que pertenece a la familia MQ, adheridos a la placa de Arduino se instaló dentro de una caja de plástico en una impresora 3D, como se observa en la figura 5, donde se observa todo el montaje del dispositivo, así como el dispositivo ya conectado en una PC para realizar los primeros monitoreos (ver figura 6).

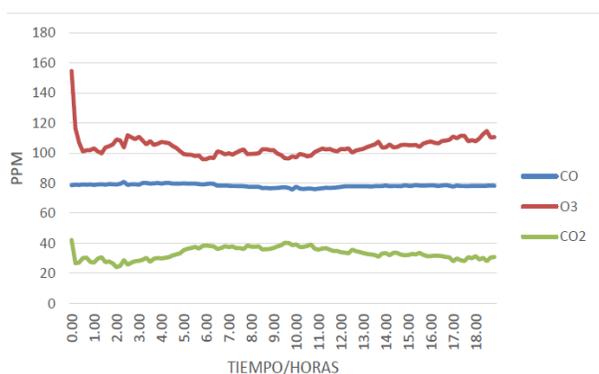


**Figura 5** Prototipo final del dispositivo para la medición de los gases contaminantes (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>)



**Figura 6** Montaje final de la estación de monitoreo

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del sensor electroquímico, se monitorearon los gases de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, durante 4 semanas en el periodo de diciembre 2019 a enero 2020 en el municipio de Chimalhuacán, en el gráfico 1, se muestran los datos obtenidos de manera mensual, siendo similares a los obtenidos con otros dispositivos comerciales tales como: ETL ONE, Series 500 IAQ, los cuales emplean un software @COM300 (data dowland), Windows 7, 8 y XP.



**Gráfico 1** Monitoreo de los gases CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, mensual en el periodo diciembre 16/2019 – enero 12/2020

En la tabla 1, se muestran los datos estadísticos del monitoreo realizado por semana y mensualmente reportados en ppm.

Gas	Promedio por semana/ppm				Mensual
	1	2	3	4	
CO	88.09	69.58	80.25	76.39	78.58
CO <sub>2</sub>	63.08	106.21	108.47	125.21	100.75
O <sub>3</sub>	45.97	23.67	37.45	28.59	33.92

**Tabla 1** Promedios obtenidos del monitoreo realizado semanal y mensualmente a los gases CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en ppm

### Agradecimiento

Al Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México por brindar todas las facilidades para llevar a cabo esta investigación.

A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa y Azcapotzalco por el apoyo brindado en sus instalaciones para la construcción del sensor electroquímico.

### Conclusiones

Se logró construir un sensor electroquímico en una tarjeta de Arduino, portátil, estético, ligero, a bajo costo, es escalable ya que se le pueden adaptar otros sensores y se pueden realizar mejoras continuas en el diseño y programación.

Su utilización fue muy fácil, versátil y eficiente, permitiendo obtener datos precisos y confiables.

Finalmente se puede decir que el dispositivo es funcional y es una buena opción no sólo para la aportación tecnológica propuesta por un proyecto, sino que también, se podría postular oficialmente como una estación de monitoreo móvil.

### Referencias

*Gaceta Oficial de la CDMX* (14 de noviembre de 2018), Gobierno de la Ciudad de México, Obtenido de Norma Ambiental NADF-009-AIRE-2017, que establece los requisitos para el índice de la calidad del Aire en la CDMX: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NADF-009-AIRE-2017.pdf>.

Granados, S., Tavera, R. F., Calzadilla, A. O., & Medina Tovar, L. L. (2016), Sistema computarizado de censado de gases contaminantes

Greatbatch, D. T. (2000), Multidecadal Thermohaline Circulation Variability Driven by Atmospheric Surface Flux Forcing. United Kingdom: American Meteorological Society

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Informe Nacional de Calidad del aire (2017), México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. Diciembre 2018.

SEMARNAT, (2013). Calidad del aire: Una práctica de vida, México.

UNICEF, WHO, (2015). Progress on sanitation and drinking water. USA: Update and MDG assessment

## Perfil del sector de alta tecnología en México: Una aproximación a la realidad

### Profile of the high technology sector in Mexico: An approximation to reality

VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles†\* & ROMO-GONZÁLEZ, Ana Eugenia

*Universidad Tecnológica de Jalisco, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *María de los Ángeles, Villalobos-Alonzo* / ORC ID: 0000-0003-3052-8271, CVU CONACYT ID: 12718

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Ana Eugenia, Romo-González* / ORC ID: 0000-0002-4653-2593, CVU CONACYT ID: 212291

DOI: 10.35429/JTO.2020.14.4.6.21

Recibido 15 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

#### Resumen

El presente artículo es el resultado de una investigación exploratoria con el propósito de elucidar el perfil de las empresas de Alta tecnología (AT) en México, con relación a los procesos de investigación y desarrollo tecnológico, inversión y de cooperación. La información fue obtenida a través de un cuestionario digital que se les hizo llegar a las empresas por vía internet. Participaron 112 compañías de los sectores de Aeroespacial, Automotriz, Manufactura y TI de siete entidades federativas que cuentan con al menos cinco sectores especializados en Alta Tecnología; Baja California, Chihuahua, el Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Puebla y Querétaro. Para el procesamiento de los datos se utilizaron técnicas de estadística descriptiva. De las realidades posiblemente conocidas es que las empresas nacionales se sitúan en AT por el giro o actividad de la empresa, y no por obtener resultados como parte de un intenso proceso de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT). Estos hallazgos son una ruta para la reflexión y diseño de estrategias que vinculen a diversos actores para dar soluciones de forma conjunta la industria, sociedad, la academia y gobierno contribuyen a posicionar a México en el marco internacional de la economía del conocimiento y el logro de mejores resultados económicos empresariales a partir de las consecuencias obtenidas de actividades de innovación.

**Estudio exploratorio, Procesos de investigación y desarrollo tecnológico, Inversión y cooperación**

#### Abstract

This article is the result of an exploratory research with the purpose of elucidating the profile of High Technology (TA) companies in Mexico, in relation to the processes of technological research and development, investment and cooperation. The information was obtained through a digital questionnaire that was sent to the companies via the internet. 112 companies from the Aerospace, Automotive, Manufacturing and IT sectors from seven states that have at least five sectors specialized in High Technology participated; Baja California, Chihuahua, the State of Mexico, Jalisco, Nuevo León, Puebla and Querétaro. Descriptive statistics techniques were used to process the data. One of the possibly known realities is that national companies are located in TA because of the company's line of work or activity, and not because of obtaining results as part of an intense Technological Research and Development process (TRD). These findings are a route for reflection and design of strategies that link various actors to jointly provide solutions: industry, society, academia, and government contribute to position México in the international framework of the knowledge economy and the achievement of better business economic results from the consequences obtained from innovation activities.

**Exploratory study, Research and technological development processes, Investment and cooperation**

**Citación:** VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles & ROMO-GONZÁLEZ, Ana Eugenia. Perfil del sector de alta tecnología en México: Una aproximación a la realidad. *Revista de Operaciones Tecnológicas*. 2020. 4-14:6-21.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El desarrollo económico de México ya no puede seguir dependiendo de su localización geográfica con los mercados, de la explotación de sus recursos naturales o de la preparación de mano de obra barata para crecer (Corral y Ramos, 2012). Es evidente, que el mayor reto se encuentra en el desarrollo de capacidades de innovación en las organizaciones, en donde su resultado sea la creación de innovación en múltiples sectores de aplicación, como el de Alta Tecnología.

## Alta tecnología y su aproximación conceptual

De acuerdo con Oakey, Rothwell y Cooper, (1988); Viardot, (2004); Mohr, Sengupta y Slater (2009), no existe un concepto único, universalmente aceptado que describa lo que debe entenderse por empresa de Alta tecnología con exactitud, esto se debe a su naturaleza cambiante y al dinamismo del entorno en que se desenvuelven (McKenna, 1985; Moriarty y Kosnik, 1989).

Con el fin de una aproximación a la construcción del concepto de empresas de alta tecnología, es necesario entender ¿qué es la tecnología? La Real Academia de la Lengua Española (2014) la define como el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico, y el conjunto de los instrumentos y procedimientos industriales de un determinado sector o producto. Gutiérrez (2004) y Burgelman, Christensen y Wheelwright, (2009) mencionan que es el conocimiento práctico, teórico, habilidades y artefactos que pueden ser usados en desarrollar productos y servicios.

Mediante la tecnología, las empresas son capaces de usar sistemáticamente los conocimientos para producir materiales útiles, componentes, sistemas, o métodos, incluyendo el desarrollo de prototipos, procesos, productos y servicios (González, 1998). Así, la tecnología es un proceso que abarca las ideas implicadas en la fabricación de un producto (Mohr, et. al., 2009).

En este contexto, la aproximación al concepto de empresas de alta tecnología se entenderá como: las entidades que tratan de desarrollar y explotar comercialmente una innovación tecnológica que implica una elevada incertidumbre (Storey y Tether, 1998), que se evalúan mediante un esquema establecido por organismos internacionales, que representa una medida de los resultados y del impacto de la investigación y desarrollo (I+D) y constituyen una herramienta de gran utilidad para el análisis de la competitividad e internacionalización de la economía (INE, 2002) de los países.

## México y la clasificación de los sectores de Alta Tecnología internacionales

Las actividades de innovación en el sector empresarial son un factor clave para el logro de mayor productividad y competitividad de las organizaciones y en general, para el crecimiento de una economía (Méndez, 2002). De las diversas actividades que alcanza la innovación, las de investigación y desarrollo Tecnológico (I+D) juegan un papel muy importante en el desarrollo de países, regiones y localidades (Báscolo, Castagna y Woelflin, 2012), al convertirse en una fuente de valor agregado y de riqueza para ese territorio (Ruíz, 2004).

Para determinar el nivel de innovación, productividad y competitividad de los sectores industriales, existen diversas clasificaciones, entre los que destacan la de intensidad tecnológica de la OCDE (Hatzichronoglu, 1997), la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas CIIU (ISIC Rev.4) de las Naciones Unidas (2009), la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE, 2009) en España y el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México (SCIAN, 2013).

En relación a la intensidad tecnológica, la OCDE realizó la primera propuesta de clasificación de los sectores de alta tecnología, que comprende el análisis de la industria en el periodo de 1970-1980 (Molero- Zayas e Hidalgo, 2003), la cual los agrupó de acuerdo con su intensidad tecnológica en tres indicadores relacionados con I+D; 1) el gasto con el valor añadido, 2) producción y 3) con los tipos de tecnología que se incorporan tanto en los bienes intermedios como en los de inversión para la producción (Tabla 1).

Sector de alta intensidad en I+D según la OCDE		
Clasificación Tecnológica	Dígitos ISIC Rev. 3	Literal ISIC
Alta tecnología	353	Fabricación de aeronaves y naves espaciales
	30	Fabricación de maquinaria de oficina, contabilidad e informática
	32	Fabricación de equipo y aparatos de radio, televisión y comunicaciones
	2423	Industria farmacéutica
	33	Fabricación de instrumentos médicos, ópticos y de precisión
Media-alta tecnología	34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
	24 excl.-2423	Fabricación de sustancias y productos químicos
	29	Fabricación de maquinaria y equipo mecánico
	31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos
	352+359	Fabricación de material ferroviario y otro material de transporte
Media-baja tecnología	34	Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques
	24 excl.-2423	Fabricación de sustancias y productos químicos
	29	Fabricación de maquinaria y equipo mecánico
	31	Fabricación de maquinaria y aparatos eléctricos
	352+359	Fabricación de material ferroviario y otro material de transporte
Baja tecnología	20+22	De Reproducción de grabaciones
	36-37	Producción de madera y fabricación de productos de madera y corcho, excepto muebles; Fabricación de artículos de paja y materiales trenzables.
	15-16	Elaboración de productos alimenticios, bebidas y de productos de tabaco
	17+19	Fabricación de productos textiles, curtido y adobo de cuero, fabricación de maletas, Bolsos de mano, artículos de talabartería y guarnicionería y calzado

**Tabla 1** Sectores de Alta intensidad  
Fuente: INE (2002); OCDE (2011b)

La Organización Mundial de las Naciones Unidas (2009) describe la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIU) (ISIC Rev.4) como una estructura de clasificación coherente y consistente de las actividades económicas basada en un conjunto de conceptos, definiciones, principios y normas de clasificación. La cual, proporciona un marco general en que los datos económicos pueden reunirse y divulgarse en un formato diseñado para fines de análisis económico, adopción de decisiones y elaboración de políticas (Tabla 2).

Clasificación ISIC Rev. 4			
C 10-33 Industrias manufactureras			
Sección	Grupo	Clase	Descripción de la Clase
26	262	2620	Fabricación de ordenadores y equipo periférico
		2630	Fabricación de equipo de comunicaciones
		2660	Fabricación de equipo de irradiación y equipo electrónico de uso médico y terapéutico
		2680	Fabricación de soportes magnéticos y ópticos.
		2731	Fabricación de cables y dispositivos de cableado
27	273	2731	Fabricación de cables y dispositivos de cableado
		2732	Fabricación de cables de fibra óptica
		2733	Fabricación de otros hilos y cables eléctricos
275	2750	2750	Fabricación de dispositivos de cableado
		2750	Fabricación de aparatos de uso doméstico
29	291	2910	Fabricación de vehículos automotores
		2920	Fabricación de carrocerías para vehículos automotores; fabricación de remolques y semirremolques.
		2930	Fabricación de partes, piezas y accesorios para vehículos automotores.
30	302	3020	Fabricación de locomotoras y material rodante
		3030	Fabricación de aeronaves, naves espaciales y maquinaria conexa
		3040	Fabricación de vehículos militares de combate
División	Grupo	Clase	Descripción de la Clase
62		6201	Programación informática
		6202	Consultoría de informática y gestión de instalaciones informáticas
		6209	Otras actividades de tecnología de la información y de servicios informáticos
63	639	6399	Otras actividades de servicios de información n.c.p.

**Tabla 2** Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIU) (ISIC Rev.4)  
Fuente: ONU, (2009)

El ISIC Rev. 4 se encuentra estructurado de manera descendente con una orden jerárquico que comprende 21 Secciones (alfabetizadas), división, grupo, clase y descripción, de los cuáles se retoman los sectores de alta tecnología de la sección C Industrias manufactureras, las divisiones 26 Fabricación de productos de informática, de electrónica y de óptica, 27 Fabricación de equipo eléctrico, 29 Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques y 30 Fabricación de otro equipo de transporte. La sección J Información y Comunicación las divisiones 62 Programación informática, consultoría de informática y actividades conexas y 63 Actividades de servicios de información.

Por último, el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México (SCIAN, 2013), Clasificación Industrial Internacional Uniforme Rev. 4, CIU Rev. 4, la cual es una categorización económica que permite la agrupación de datos de manera sistematizada y homogénea para facilitar el análisis e interpretación de la actividad económica, así como refleja con precisión la estructura económica dividida en 20 sectores de un país (INEGI, 2015).

SCIAN México 2013-Clasificación Industrial Internacional Uniforme Rev. 4, CIU Rev. 4	
División	Sectores
11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza
21	Minería
22	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final
23	Construcción
31-33	Industrias manufactureras
43	Comercio al por mayor
46	Comercio al por menor
48-49	Transportes, correos y almacenamiento
51	Información en medios masivos
52	Servicios financieros y de seguros
53	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos
55	Corporativos gubernamentales
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de residuos y desechos, y servicios de remediación
61	Servicios educativos
62	Servicios de salud y de asistencia social
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales
93	Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales

**Tabla 3** Clasificación de los sectores industriales en México SCIAN (INEGI, 2013)

Del SCIAN (2013) se retoman tres sectores 31-33 Industrias manufactureras, 51 Información en medios masivos y 54 servicios profesionales, científicos y tecnológicos para fines de este estudio (Tabla 3).

#### Los 4 sectores de alta tecnología en México

México en los últimos 30 años, ha experimentado una profunda transformación en su estructura productiva, como resultado de un proceso de apertura e integración a la economía internacional, que ha puesto a prueba la capacidad del sector productivo para adaptarse a un entorno caracterizado por factores como la productividad, competitividad, competencia económica, innovación, cadenas globales de valor, contenido nacional, mejora regulatoria, bloques comerciales y facilitación comercial, que habían estado ausentes o limitados en torno a una transición institucional lenta, de un modelo de economía cerrada a uno de apertura al mercado global (DOF, 2018).

En este contexto, México estructuró una estrategia de apertura e integración de comercio internacional en 1986, consolidando una red de 12 Tratados de Libre Comercio (TLC's) que de acuerdo con DOF (2015) ofrecen a los bienes y servicios nacionales un acceso preferencial en 45 países que concentran más de mil 140 millones de consumidores potenciales, 59.7% del Producto Interno Bruto y 55% del comercio a nivel mundial (Tabla 4).

Histórico del producto interno bruto México	
Datos del Banco Mundial	
Año	México US\$ billones
1971	36.74
1972	44.00
1973	54.54
1974	55.51
1975	63.20
1976	65.46
1977	73.72
1978	91.91
1979	122.92
1980	137.57
1981	160.23
1982	200.52
1983	163.51
1984	157.36
1985	163.79
1986	152.28
1987	150.26
1988	146.41
1989	175.89
1990	214.50
1991	252.38

1992	294.83
1993	324.95
1994	368.68
1995	304.60
1996	341.72
1997	348.60
1998	368.10
1999	428.80
2000	498.00
2001	550.30
2002	596.70
2003	637.16
2004	703.08
2005	753.39
2006	820.32
2007	878.02
2008	1,061.44
2009	962.70
2010	1,012.32
2011	1,081.77
2012	1,176.87
2013	1,216.09
2014	1,237.53
2015	1,233.66
2016	1,076.91
2017	1,112.53
2018	1,157.97
2019	1,203.62
2020	
Rank 2019	15 México

**Tabla 4** Evolución Histórica del PIB México  
Fuente: Datos del Banco Mundial (2020)

El manejo de un modelo económico abierto y flexible para México ha permitido obtener un alza en el PIB (aún no del todo satisfactoria), como se muestra en histórico de la Tabla 1. Es importante señalar tres caídas significativas en el PIB, en 1995 por la falta de reservas internacionales a causa de la devaluación del peso mexicano y 2001 y 2009 por la desaceleración económica que sufrió los Estados Unidos de Norteamérica.

De las industrias con mayor aportación al PIB en México, se encuentra la manufacturera, de acuerdo con Hausmann, Hidalgo, Bustos, Coscia, Chung, Jiménez, y Yıldırım, (2011), México se ubica en la posición 20 a nivel mundial en cuanto a la complejidad económica, de los bienes que exporta.

En 2010 se mantuvo en el noveno país exportador de manufactura de alta tecnología. El 50% de las exportaciones para el 2012 fueron de manufactura en media y alta tecnología (DOF, 2013).

El Producto Interno Bruto al 2019 fue de 18,5 billones de pesos mexicanos, por sector económico e intensidad tecnológica (INEGI, 2015) se distribuyó de la siguiente manera Tabla 5:

Porcentaje del PIB por sector económico			
Tipo de Industria	Participación en el PIB manufacturero	Industrias	Fuentes de Innovación
Baja Tecnología	43.3	Comestibles, productos de madera, tabaco, textiles y prendas de vestir entre otros	Proveedores de la siguiente cadena (maquinaria, química,) y de normas o reglas de calidad.
Media-Baja tecnología	16.3	Industria básica del metal y productos metálicos, muebles, petróleo y carbón y sus derivados	La innovación se centra en procesos de insumo-producto, con un incremento en la orientación de diseño.
Media-alta tecnología	29.6	Industria automovilística y de transporte, industria, química, maquinaria y equipo	Diseño, proceso, sistemas de producción complejos, cadena de valor, investigación y desarrollo a nivel de la empresa.
Alta tecnología	10.8	Industria electrónica, farmacéutica, informática y computación, equipo de precisión y aeroespacial.	Alto grado de investigación y desarrollo en la empresa, vinculada con centros de investigación y con universidades.

**Tabla 5** Porcentaje del PIB por sector económico 2018  
Fuente: Elaboración propia a partir de Ruíz (2008) e INEGI (2019)

Los sectores industriales de manufactura media-alta tecnología y Alta tecnología generaron el 40.4% de la participación del PIB en la economía mexicana. El sector de alta tecnología por si solo aportó el 10.8%, ya que de acuerdo con la OCDE (2012) la inversión empresarial en I+D en México es reducida. Ruiz (2008) menciona que las empresas de alta tecnología requieren de un alto grado de investigación y desarrollo para generar bienes de alta valor para la nación.

En México el gasto interno bruto en investigación y desarrollo (I+D) del país reportado en el 2012-2016 represento apenas el 0.44% del PIB, indicando el porcentaje más bajo de la OCDE.

México establece estrategias para fomentar la innovación para impulsar la productividad y crear nuevas fuentes de crecimiento como una prioridad enmarca en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND, 2013) pretende mediante el Objetivo 3.5. “Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible. El PECiTI (2014-2018) se alinea con el PND estableciendo el objetivo 3.5.1. Contribuir a que la inversión nacional en investigación científica y desarrollo tecnológico crezcan anualmente y alcance un nivel de 1% del PIB.”, mientras que el Programa de Desarrollo Innovador 2013-2018 (PDI) de la Secretaría de Economía (SE, 2013) tiene como Objetivo sectorial 1. “Desarrollar una política de fomento industrial y de innovación que promueva un crecimiento económico equilibrado por sectores, regiones y empresas”.

### Metodología para desarrollar

La naturaleza del estudio es exploratoria ya que permite el acercamiento a fenómenos de estudio relativamente desconocidos y a su vez, sugieren afirmaciones (postulados) verificables (Danhke, 1976). Además, la interrelación con tres intenciones de acuerdo con Zikmund y Babin, (2009): el diagnóstico de una situación, selección de alternativas y el descubrimiento de nuevas ideas.

La población está formada por la totalidad (conjunto) de las observaciones en las cuales se tiene interés (Pérez, 2012). El interés de esta investigación se centra en la unidad de análisis “empresas o unidades de negocio” (Adler, 1989), enfocadas a la Alta tecnología de México con respecto a la Clasificación ISIC Rev. 4, en los sectores 62 y 63 (Tecnologías de la Información y la Comunicación), 26 y 27 (Manufactura electrónica), 29 (Plantas para la fabricación de vehículos ligeros y pesados) y 28 (Aeroespacial).

Las razones para seleccionar las empresas de alta tecnología como unidad de análisis de este estudio radican en que: 1) son un motor económico para los países al generar bienes con alto valor (Barceló, 2001), 2) requieren un continuo esfuerzo en investigación y una sólida base tecnológica (Molero-Zayas e Hidalgo, 2003), 3) participan en contextos económicos altamente dinámicos y su principal activo es el conocimiento (Caravaca, González, García, Fernández y Mendoza, 2014) y 4) aportan a la economía de una nación a través del comercio de bienes de alta tecnología (BAT).

La tipificación de sectores se realiza con base en los análisis de González, (2012); Rodríguez-Pose, (2012), donde se identifica que existen 38 centros de alta tecnología relacionados, de acuerdo con el sector de TI, en 28 de las 32 entidades federativas, y 28 parques industriales en 19 entidades (Foro consultivo, científico y tecnológico A.C. [FCCyT], 2013), a su vez, las plantas del área automotriz están distribuidas en 19 entidades (SE, 2014) y, enfocadas al sector aeroespacial 197 empresas concentradas principalmente en estados fronterizos con Estados Unidos de América (PROMÉXICO, 2013).

Se identifica que entre los estados que cuentan con al menos cinco sectores especializados en Alta Tecnología son Baja California, Chihuahua, el Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Puebla y Querétaro, mismos que según el Instituto Mexicano para la competitividad A.C. (IMCO, 2013) ocupan los primeros lugares del ranking de competitividad estatal, por lo que estas siete serán consideradas como parte de la muestra.

Las variables del estudio se describen en la siguiente Tabla 6:

Empresas de Alta Tecnología (EAT)		
Dimensiones	Definición Conceptual	Indicadores
Proceso de investigación y desarrollo (IDT)	Es el conjunto de actividades emprendidas de forma sistemática, afín de aumentar el caudal de conocimientos científicos y técnicos, así como la utilización de los resultados de estos trabajos para conseguir nuevos dispositivos, productos, materiales o procesos. (Eustat, 2015a), a través del capital humano en IDT, como insumo dedicado al proceso innovador y los productos y/o resultados obtenidos de él (En Ramírez 2013: Godin, 1996; Crépon, Duguet y Mairesse, 1998; OCDE, 1997 y 2005; Rogers, 1998; Löf y Heshmati, 2002; Romo y Hill, 2006).	Capital Humano Producción científica y tecnológica
Inversión	Son los gastos en actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico realizados dentro de la Unidad o Centro investigador de la empresa, cual quiera que sea el origen de los fondos, durante el año de referencia. Los gastos llevados a cabo fuera del centro, pero en apoyo de las tareas de I+D internas también se incluyen (Eustat, 2015b). La focalización de la inversión en áreas, proyectos o programas son el resultado de la planeación estratégica (Chaves y Méndez, 2015) de la organización en I+D.	Gasto en I+D+I Fuentes de inversión Áreas de inversión
Cooperación	La cooperación empresarial o alianza estratégica es el conjunto de acuerdos o contratos voluntarios con un horizonte temporal de medio y largo plazo entre empresas o sectores independientes que implican el intercambio o compartimiento de recursos o capacidades o incluso el desarrollo de nuevos recursos (Gulati, 1998).	Alianzas y sectores de cooperación.

Tabla 6 Definición de variables del estudio

El diseño del instrumento ACIEAT (Villalobos, y González, 2015), se estructuró con 15 preguntas, tres dicotómicas, siete de abanico de respuestas, dos de abanico de respuestas con un ítem abierta, tres numéricas y una porcentual como se muestra en la Tabla 7.

Variable Empresas de Alta tecnología (EAI)		
<b>Objetivo:</b> El propósito de esta área es identificar los procesos de investigación y desarrollo tecnológico, inversión y de cooperación de las empresas de alta tecnología de México.		
Dimensiones	Indicadores	Ítems
<b>Datos de identificación</b>	Giro de la empresa	<b>1.</b> Giro de empresa: 1) Local 2) Nacional 3) Internacional 4) Multinacional 5) Global 6) Transnacional
Influencia geográfica		<b>2. Ubicación geográfica de la empresa:</b> 1) Baja California 2) Chihuahua 3) Estado de México 4) Jalisco 5) Nuevo León 6) Puebla 7) Querétaro
Sector industrial		<b>3. Sector industrial:</b> 1) TI 2) Manufactura 3) Automotriz 4) Aeroespacial 5) Servicios de investigación y Desarrollo
Tamaño de la empresa		<b>4. Tamaño de la empresa:</b> 1) Pequeña (menos de 20) 2) Mediana (20-100) 3) Grande (mayor a 100)
Agrupamiento empresarial		<b>5. ¿Pertenece a un conglomerado o clúster?</b> 1) Si 2) No
Área de I+D+i		<b>6. Cuenta con área de investigación, desarrollo e innovación</b> 1) Si 2) No
Localización geográfica del área de investigación		* Si la pregunta 6 es: 6.1) ¿El área de I+D+i es? 1) Interna 2) Externa. 3) Ambas
Registro RENIECYT		<b>7. Cuenta con Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas RENIECYT</b> 1) Si 2) No
<b>Proceso de investigación y desarrollo (IDT)</b>	Capital Humano	<b>8. Indique el número de personas que trabajan en la empresa en actividades de investigación y desarrollo tecnológico (IDT):</b> 1) No. ____ Doctorado 2) 1) No. ____ Maestría 3) No. ____ Especialidad 4) No. ____ Licenciatura 5) Técnico
Producción científica y tecnológica		<b>9. Cantidad de patentes registradas por la empresa en los últimos 3 años</b> <b>10. Cantidad de modelos de utilidad registrados por la empresa en los últimos 3 años</b> <b>11. Cantidad registros de propiedad intelectual por la empresa en los últimos 3 años</b>
<b>Inversión</b>	Gasto en I+D+I	<b>12. Registre el porcentaje de gasto total dedicado a investigación y desarrollo tecnológico en su empresa en los 3 últimos años</b>

Fuentes de inversión		<b>13.</b> Indique la fuente de los fondos dedicados a investigación y Desarrollo tecnológico: 1) Fondos de Propios. 2) Privados 3) Gobierno 4) Fondos Públicos generales universitarios 5) Instituciones privadas no lucrativas 6) Exterior (organismos internacionales)
Áreas de inversión		<b>14.</b> El gasto en investigación y desarrollo tecnológico lo dedica a: a) Formación de Capital Humano b) Actualización de Maquinaria c) Infraestructura tecnológica d) Procesos Organizacionales e) Vigilancia tecnológica.
<b>Cooperación</b>	Alianzas y sectores de cooperación	<b>15.</b> Mantiene alianzas de cooperación 1) Si 2) No <b>15.1<sup>a</sup></b> Indique el tipo de alianza para realizar investigación y desarrollo tecnológico que mantiene: a) Sector Productivo (Subsidiarias, Empresas de Alto riesgo, Empresas privadas, Compañías afiliadas o asociadas, Instituciones de Cooperación IDED) <b>15.1b</b> Indique el tipo de alianza para realizar investigación y desarrollo tecnológico que mantiene b) Gobierno (Federal, Estatal, Municipal) <b>15.1c</b> Indique el tipo de alianza para realizar investigación y desarrollo tecnológico que mantiene) Otras Instituciones (Instituciones de educación superior, Instituciones privadas no lucrativas, Organizaciones internacionales).

**Tabla 7** Construcción de ítems cuestionario

El instrumento obtuvo una fiabilidad de Alpha de Cronbach 0.825, en cuanto al criterio de validez de contenido, criterio y constructo.

En contenido se realizó la evaluación de jueces, La validez de contenido del instrumento se estimó mediante la cuantificación de los índices de concordancia y relevancia entre las evaluaciones de los jueces (Kerlinger y Lee, 2002) los cuales se calcularon mediante el coeficiente de Kappa de Fleiss (Fleiss, 1971) y la interpretación de los valores de la fuerza de concordancia mediante la clasificación propuesta por Landis y Koch (1977). Obteniendo un global de Fleiss de 0.861.

La validez de criterios se establece al validar un instrumento de medición al compararlo con algún criterio externo que pretende medir los mismo (Hernández, Fernández y Baptista., 2010). El grado de concomitancia (correlación) entre pruebas que apuntan a variables o constructos similares los denomina validez concurrente o validez criterio.

Los ítems desarrollados en el instrumento para indagar sobre la variable Empresa de alta tecnología se comparó con la encuesta de ESIDET de CONACYT-INEGI (2012) indicadores de las empresas en investigación y desarrollo tecnológico, obteniendo una correlación de Pearson 0.712 (correlación positiva alta) y desviación estándar del instrumento 1.960 y de la encuesta ESIDET de 1.208.

En la validez de constructo se debe explicar el modelo teórico empírico que subyace a la variable de interés, mediante un constructo que es un atributo para explicar un fenómeno (Hernández, *et al.*, 2010).

Para la validez de constructo y sus dimensiones se lleva a cabo un análisis factorial que es un modelo de regresión (Tello, Moscoso, Abad, Sanduvete-Chaves y García, 2015) que muestra las interrelaciones observadas entre un conjunto de variables y la relación entre la conceptualización teórica del instrumento y su estructura factorial.

En el análisis de la variable empresa se observa que las cargas factoriales son superiores a <0.7 se encuentran en el rango de satisfactorias y KMO .712.

Recolección de los datos del estudio descriptivo se llevó a cabo en el periodo de julio y agosto del 2015, mediante la aplicación del cuestionario ACIEAT, que fue contestado por diversos medios como: en la plataforma web, vía correo y telefónica por la dimensión del estudio, la estructura de recogida de datos se muestra en la Tabla 8.

Ficha técnica del estudio	
<b>Población de la investigación</b>	297 empresas de alta tecnología de México
<b>Ámbito geográfico</b>	7 entidades federativas: Baja California, Chihuahua, Estado de México, Jalisco, Nuevo León, Puebla y Querétaro.
<b>Sectores de Actividad</b>	Aeroespacial, Automotriz, Manufactura y TI.
<b>Método de obtención de la información</b>	Cuestionario en medios digitales.
<b>Procedimiento de recolección de datos</b>	El cuestionario fue enviado a toda la muestra.
<b>Número de cuestionarios enviados</b>	297
<b>Tasa de respuesta</b>	38%
<b>Tamaño de la muestra</b>	112
<b>Error de muestreo para poblaciones finitas</b>	5.0%
<b>Nivel de Confianza</b>	95%
<b>A quién se dirigió el cuestionario</b>	Director o gerente general, director o responsable del área de I+D+i.
<b>Periodo de trabajo</b>	Julio-agosto 2017

**Tabla 8** Ficha técnica del estudio

Manfreta, Bosnjak, Berzelak, Haas, y Vehovar, (2008) señalan que la tasa de respuesta de una encuesta de internet es inferior cuando se obtiene sólo el 11% de participación del total de la muestra, el presente estudio obtuvo una tasa de respuesta del 38% que se acerca a una escala moderada, sugerida por Baxter y Babbie (2004) que señalan como regla de oro que una tasa de respuesta en cuestionarios por internet del 40% es moderada, 50% es adecuada, un 60% es buena, y un 70% es muy buena.

Se optó por realizar encuestas vía telefónica por dos motivos, en primer lugar, para aumentar la tasa de respuestas como menciona Dillman, Reips, y Matzat, (2009) “encontraron eficaz realizar una encuesta telefónica entre las personas que no habían contestado a una encuesta por internet” y en segundo lugar para completar datos de cuestionarios con información incompleta.

La respuesta de la encuesta ACIEAT representa una cuarta parte de la muestra total del estudio, entre las razones que influyeron en la tasa de respuesta se encuentran; el difícil acceso a las empresas de alta tecnología, las políticas de confidencialidad de la empresa y por no contar con el área de I+D+i en la organización (descartando el llenado del cuestionario desde el primer momento, y encontrándose en esta situación el 13% de la muestra total al no concluir el cuestionario).

Para el proceso de edición de los datos se trabajó con 112 encuestas, sin presentarse casos perdidos, con lo que se procedió a vaciar la información en el software SPSS donde las respuestas cerradas ya contaban con una recodificación (Tabla 9).

Análisis de los resultados	
Análisis	Técnica
<b>Perfil del Sector de Alta Tecnología de México</b>	Estadística descriptiva

**Tabla 9** Técnicas estadísticas para análisis de datos del estudio

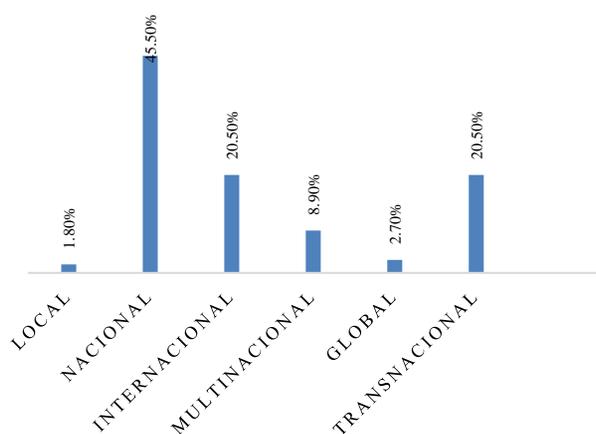
## Resultados

Con el proceso anterior, se efectuó el análisis mediante estadística descriptiva para resumir o describir las características importantes de las empresas de alta tecnología en México, utilizándose las medidas de tendencia central, ya que dan cuenta del tipo de distribución que tienen los valores de la variable respecto de un valor típico o puntuación central, a partir del cual se agrupan.

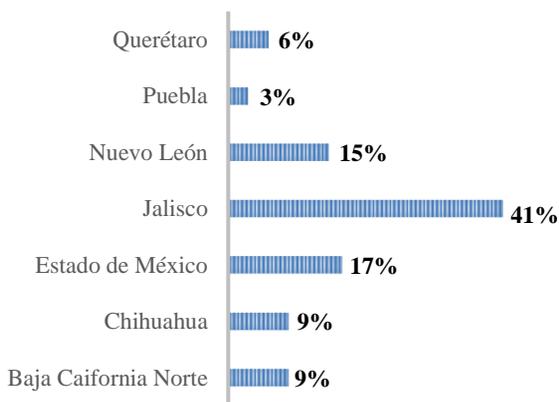
Es decir, son un valor que está en el centro o punto medio de un conjunto de datos (Triola, 2000), estos se calculan para variables medidas a nivel nominal, ordinal o intervalo. Las medidas de dispersión o variación se utilizaron para analizar la distribución de los valores de una serie de datos, si estos se encuentran más o menos concentrados o dispersos a la media. Cuanto mayor sea el valor es más la variabilidad y cuanto menor más homogeneidad. Las formas de distribución (Asimetría y Curtis), describen la forma de la distribución de una variable, sus características de simetría y homogeneidad sin la necesidad de ser graficadas.

**Análisis de resultados**

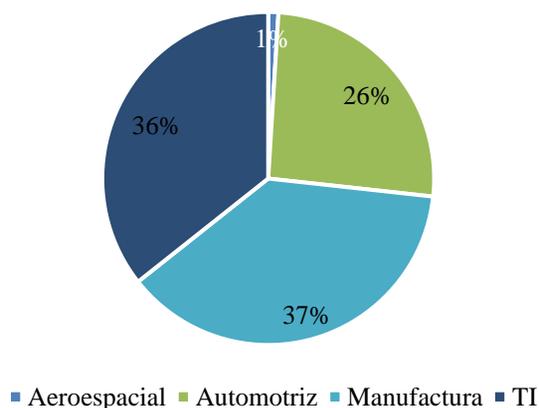
**A. Datos generales.** De las empresas que participaron en el estudio de acuerdo con el giro el 50% son nacionales, del estado de Jalisco, del sector de manufactura, de más de 100 empleados denominada como grande (Gráficos 1-4), es importante señalar los datos en general presentan una distribución simétrica con un sesgo positivo, donde la media y la mediana están a la derecha de la moda (Triola, 2000).



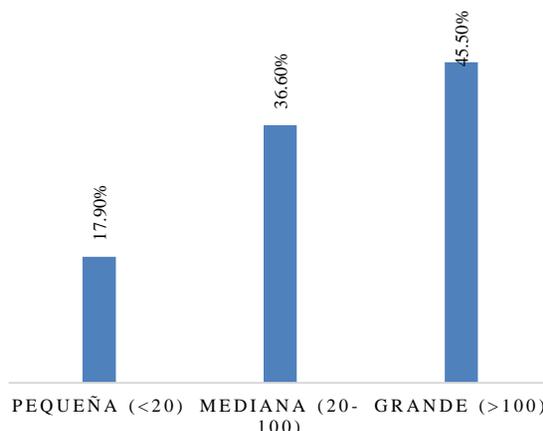
**Gráfico 1** Giro de la empresa. Media=3.27. Desviación estándar =1,588. N=112



**Gráfico 2** Entidades federativas. Media=3.78 Desviación estándar =1,456 N=112

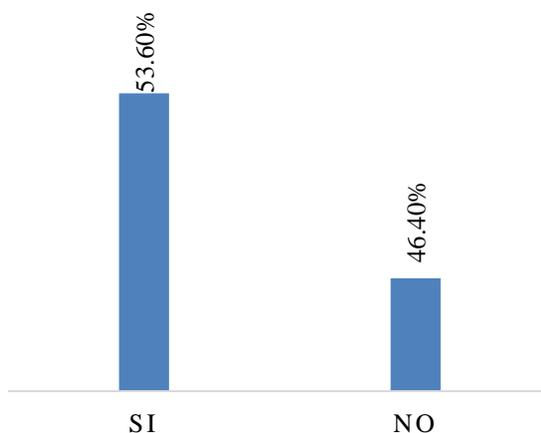


**Gráfico 3** Sector Industrial. Media= 3.08 Desviación estándar = ,807. N=112



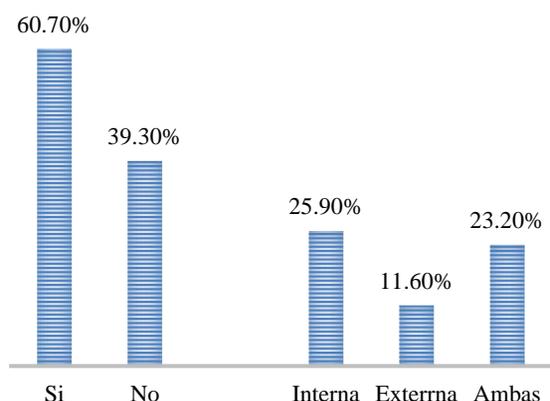
**Gráfico 4** Tamaño de la empresa. Media= 2.28. Desviación estándar = ,75. N=112

En cuanto a las empresas que están dentro de un Clúster de las 112 el 53.60% pertenece al sector productivo correspondiente (Gráfico 5).



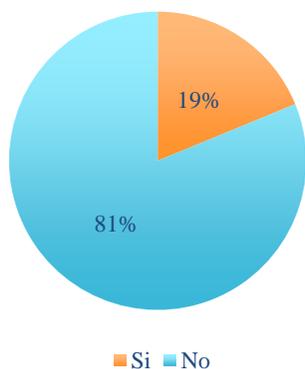
**Gráfico 5** Las empresas forman parte de un Clúster. Media= 2.28. Desviación estándar = ,75. N=112

El 60.7% de las empresas del sector de alta tecnología de México cuentan con área de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), el 25.9% se ubica de manera interna en la organización y el 23.2% cuenta con área interna y externa, y sólo el 11.6% su departamento I+D+i está fuera de la organización (Ver gráfico 6).



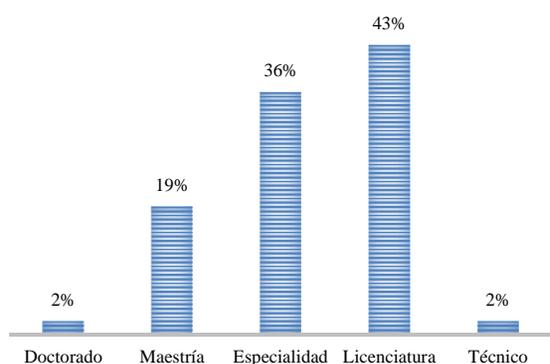
**Gráfico 6** Cuenta con área I+D+i la organización y su ubicación. Media=3.27. Desviación estándar =1,588. N=112

Hay que señalar que el 18.8% de las empresas de alta tecnología cuentan con registro RENIECYT (Gráfico 7).



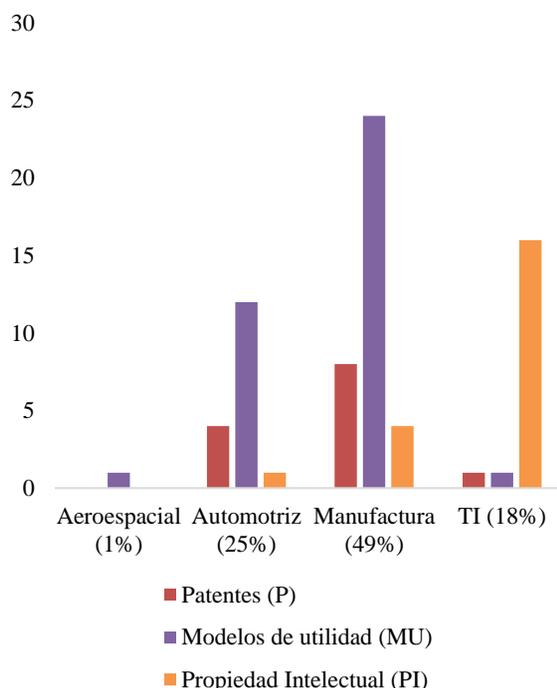
**Gráfico 7** Cuenta con RENIECYT. Media= ,19. Desviación estándar = ,392. N=112

**B. Procesos de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT).** En este apartado se realiza una descripción del capital humano que participa en actividades de I+D+i y su producción. Se identificaron 231 empleados en 68 empresas que tienen establecido un área enfocada a estas funciones, la distribución se presenta en el gráfico 8.



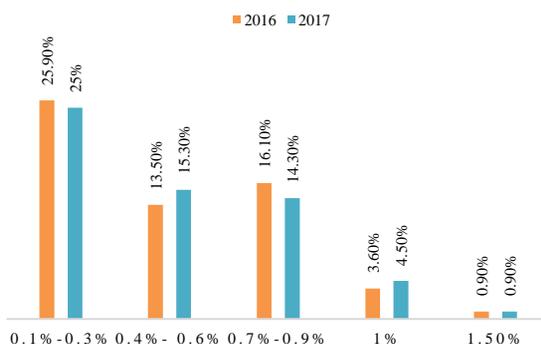
**Gráfico 8** El grado de formación profesional de las personas que trabajan en la empresa en actividades de investigación y desarrollo tecnológico innovación

Con nivel doctorado se localizaron cuatro colaboradores, los cuales se encuentran en empresas del sector Automotriz en Chihuahua (1), Jalisco (1) y Nuevo León (2), las empresas son de giro transnacional y Global, con más de 200 empleados (grande), cuentan con área de I+D+i, interna y externa, pertenece a un Clúster, y están registrados en el RENIECYT.



**Gráfico 9** Relación de Patentes, Modelos de utilidad y Propiedad intelectual en el sector de Alta Tecnología de México. P: Media= ,13 Desviación estándar= ,383. MU: Media= ,34 Desviación estándar= ,562. PI: Media= ,19 Desviación estándar= ,414.

**C. Inversión.** La inversión en I+D+i de las empresas de alta tecnología de México durante los años 2016 y 2017 fluctúa entre 1% al 2% de las ventas anuales como se muestra en el gráfico 10.



**Gráfico 10** Gasto en I+D+i 2016 al 2017 en la industria de AT de México

El gasto en actividades de investigación y desarrollo tecnológico entre el 2012 y 2014 (Tabla 5-103) en las empresas de alta tecnología de México se encontró que Baja California en el sector TI gasta hasta el .06%, en Chihuahua el sector Manufacturero con .08-.09%, en el Estado de México el sector Manufactura con .03-.08%, en Jalisco se destacan dos industrias; Manufactura y TI con un gasto entre el 1% y 1.5%. En Nuevo León se sitúa en la industria Automotriz y Manufactura con un gasto hasta el .08%. Puebla con el área Automotriz al igual que Querétaro con un gasto al .04%.

Las entidades que reportan mayor gasto en actividades de investigación y desarrollo tecnológica en los sectores de alta tecnología que las conforman son el Estado de México .02 al .08%, Jalisco del 01 al 1.5% y Nuevo León del 01 al .08%, manteniendo muy baja variación .01% porcentual en el periodo 2016-2017 en los diversos sectores.

Sobre las fuentes de los fondos dedicados a IDE en las empresas del sector AT se encontró como se muestra en el Gráfico 11, que el 61% de las empresas utilizan fondos propios, el 20% utilizan fondos privados, 5% los obtiene del sector gobierno, el 2% de la vinculación a fondos públicos generales universitarios, el 10% de instituciones privadas no lucrativas y el 7% del Exterior (Organismos internacionales).



Gráfico 11 Fuentes de fondos de inversión en IDT

El sector Automotriz obtiene fondos para la inversión en IDE de las seis fuentes propuestas manteniendo una mayor participación entre los sectores de AT, le sigue Manufactura con una participación en cinco de las fuentes y TI sus fuentes se encuentran entre los fondos de propios, privados y del sector gobierno.

De los fondos públicos generales universitarios se encuentran los sectores Automotriz (Jalisco) y Automotriz (Estado de México).

Fondos del sector gobierno utilizado como fuente de inversión en IDE se encuentra la industria Automotriz y Manufactura de Jalisco, y en TI en Baja California Norte. Fuentes en el exterior de organismos internacionales aparece una empresa de Automotriz en Jalisco y de Manufactura 2 en Nuevo León y Querétaro.

Como se muestra en el Gráfico 12-13 la inversión sustancial por parte de las 112 empresas de alta tecnología que participaron en el estudio, 64 se enfoca en la formación del capital humano como el recurso intangible más valioso para la organización, es la apuesta más fuerte de este sector tecnológico para el desarrollo de actividades en I+D+i, de las cuales Manufactura representa el 46%, Automotriz el 18% y TI el 24% del total de empresas.

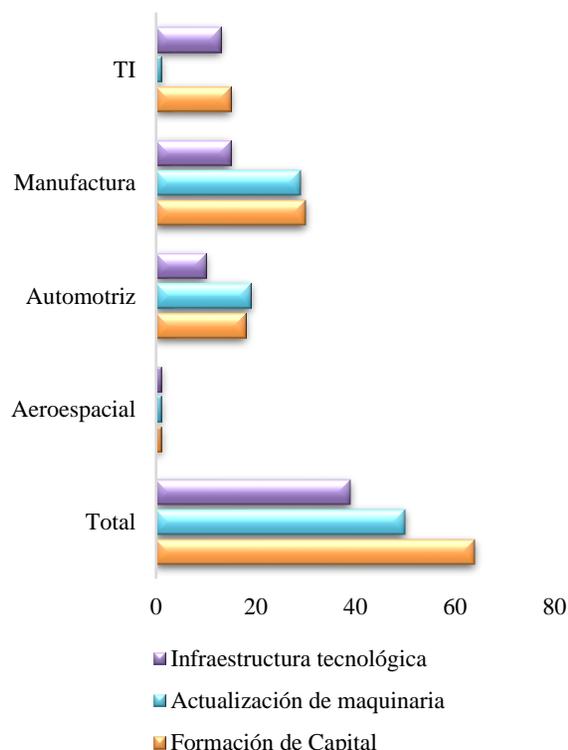
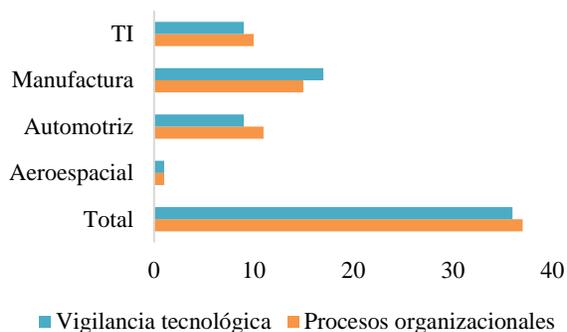


Gráfico 12 Inversión en I+D+i de las empresas de AT de México, parte 1

La segunda opción para inversión en I+D+i es la relacionada con la Actualización de maquinaria, con una acumulación de 50 empresas que seleccionaron esta opción, de la cual destaca Manufactura con el 58%, Automotriz 19%, Aeroespacial y TI con 21 2%.

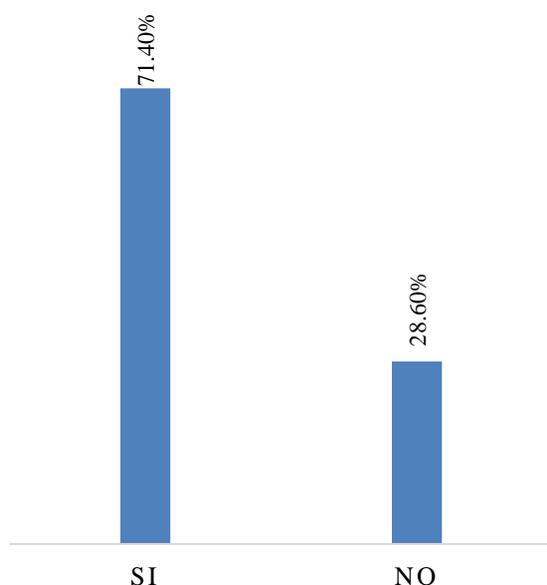


**Gráfico 13** Inversión en I+D+i de las empresas de AT de México, parte 2

La inversión en infraestructura tecnológica, procesos organizacionales y vigilancia mantienen una participación de empresas muy semejante, despuntando en el sector manufacturero.

**C. Alianzas.** Se indaga sobre los convenios de cooperación con diferentes sectores que mantienen las empresas de alta tecnología.

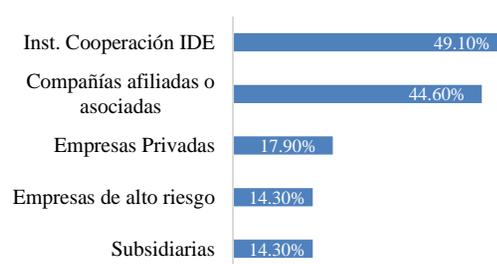
De acuerdo con los resultados obtenidos, 80 de las empresas mantienen alianzas de cooperación, las cuales representan el 71.4% del total de las empresas que participan en el estudio (Gráfico 14). El 39% pertenecen a Manufactura, el 27.5% Automotriz y 32.5% a TI.



**Gráfico 14** Alianzas de cooperación. Media= ,71. Desviación estándar = ,454. N=112

Las alianzas de las empresas de AT de México, con la categoría “sector productivo”, el 49.1% mantiene relación con instituciones de cooperación IDE (Gráfico 15) y con compañías afiliadas o asociadas como CANIETI, AMITI, AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz), CANACINTRA, INA (Industria Nacional de Autopartes), FEMIA (Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial), por mencionar algunas. Con el Gobierno, la alianza de mayor participación es la estatal con el 41.1% y con otras instituciones aparecen las privadas no lucrativas con el 55.4%

#### Sector productivo



**Gráfico 15** Alianzas y convenios de colaboración

De las alianzas por sector industrial y entidad federativa se encontró que en la categoría de Subsidiarias; tienen mayor participación las empresas del sector de Manufactura en las siete entidades federativas. Empresa de alto riesgo: el sector con mayor alianza es TI en el que participan cuatro entidades federativas y el segundo sector Automotriz. Con empresas privadas la mayor concentración de alianzas en la industria manufacturera con la participación de 6 entidades federativas y el sector automotriz.

En relación con los convenios de colaboración con Instituciones de Educación Superior, se identificó que sólo el 30% de las 112 empresas mantiene este tipo de alianza.

#### Agradecimiento

A las asociaciones y empresas de México que participaron en la encuesta aplicada para la realización de diagnóstico, por su valiosa contribución a este proyecto de investigación.

## Conclusiones

En cuanto al análisis descriptivo para el diseño del perfil del sector de alta tecnología en México, es importante señalar que el 60.7% de las empresas que participaron en el estudio cuenta con área de I+D+i, del cual el 73.5% son empresas de giro internacional a transnacional que cuentan con áreas internas y externas de investigación y desarrollo.

En el caso de las empresas nacionales se identificó que aparecen dentro de la clasificación de sector de Alta Tecnología en México se encuentran en esta clasificación por el giro o actividad de la empresa, y no por obtener resultados como parte de un intenso proceso de Investigación y Desarrollo Tecnológico (IDT).

Las empresas nacionales tuvieron una mayor participación en el estudio con el 45.5% de las cuales sólo 17 empresas (33.3%) cuentan con área de I+D+i, lo que demuestra que las empresas nacionales no tienen una rápida renovación de conocimientos, ni un continuo esfuerzo enfocado en investigación y desarrollo tecnológico, convirtiéndose en un área de oportunidad mediante la colaboración.

Para el financiamiento de actividades I+D+i es necesario señalar que sólo el 4.5% los obtiene mediante el sector gobierno, área de oportunidad para las estructuras y mecanismos de las políticas públicas para el impulso de actividades de investigación e innovación, mediante la colaboración.

La inversión para el desarrollo de actividades de I+D+i en las empresas del sector de alta tecnología de México, está enfocada a la Formación de Capital Humano, el recurso intangible más valioso para la organización ya que el conocimiento nuevo empieza siempre en la persona” (Nonaka, y Takeuchi, 2000) y a la actualización de maquinaria e infraestructura tecnológica, ya que las organizaciones que incorporan la tecnología o el desarrollo de los activos están en mejores condiciones que sus competidores para innovar (Fernández-Jardón, 2012).

En relación con alianzas, sólo el 30.4% de las empresas colaboran con Instituciones de Educación Superior (IES) ya que consideran que la respuesta de la academia a problemas de la industria es muy lenta. Esta es un área de oportunidad mediante la colaboración en I+D con las universidades e institutos de investigación (Azagra-Caro, Archontakis, Gutiérrez-Gracia y Fernández-de-Lucio, 2006) para identificar oportunidades de innovación y transferencia de conocimiento.

La razón radica en que los investigadores se encuentran enfocados en el área académica y se ha vuelto primordial contribuir y aportar conocimiento en las empresas tecnológicas, una adecuada vinculación con la industria, sociedad, la academia y gobierno contribuyen a posicionar a México en el marco internacional de la economía del conocimiento.

## Referencias

- Alonzo, M. D. L. Á. V., & González, A. E. R. (2015). Diseño y validación de cuestionario para la exploración de capacidades de innovación para empresas de alta tecnología de México. *Revista QUID*, (25)
- Azagra-Caro, J. M., Archontakis, F., Gutiérrez-Gracia, A., y Fernández-de-Lucio, I. (2006). Faculty support for the objectives of university–industry relations versus degree of R&D cooperation: The importance of regional absorptive capacity. *Research Policy*, 35(1), 37-55.
- Barceló, M. (2001). *Hacia una economía del conocimiento*. Madrid: Esic.
- Báscolo, P. J., Castagna, A. I., & Woelflin, M. L. (2012). Intensidad tecnológica en la estructura productiva de Rosario. ¿Hacia una economía más intensiva en conocimiento? *PAMPA*, 1(8), 63-88.
- Burgelman, R. A., Chistensen, C. M. y Wheelwright, S. C. (2009). *Strategic management of technology and innovation*. Boston: McGraw-Hill.

- Caravaca, I., González, G., García, A., Fernández, V. y Mendoza, A. (2014). Conocimiento, innovación y estrategias públicas de desarrollo: análisis comparado de tres ciudades medias de Andalucía (España). *EURE (Santiago)* [online]. Vol.40, n.119, pp. 49-74. ISSN 0250-7161.
- Corral, P. y Ramos, C. (2012). "La industria en el desarrollo económico de México". *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, N° 170, 2012.
- Dankhe, G. L. (1976). Investigación y comunicación. In: DanHhe GL, organizador. *La comunicación humana ciencia social (DC)*: McGraw Hill, p. 385-454.
- Diario Oficial de la Federación (2013). Programa de Desarrollo Innovador 2013 2018. Secretaría de Gobernación México. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5326479&fecha=16/12/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5326479&fecha=16/12/2013)
- Dillman, D. A., Reips, U. D. y Matzat, U. (2010). Advice in surveying the general public over the internet. *International Journal of Internet Science*, 5(1), 1-4.
- Fernández-Jardón, C. M. (2012). Determinantes de la capacidad de innovación en PYMES regionales. *Revista de Administração da UFSM*, 5, 749-765.
- Fleiss, J. L. [1971]. Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin* 76, 378-382
- González, A. (2012). Hay 38 clústeres mexicanos. Noticias de la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI). 09/04/2012. Recuperado de: [canieti.org/Comunicacion/noticias/vista/12-](http://canieti.org/Comunicacion/noticias/vista/12-)
- González, M. A. P. (1998). Proyectos de vinculación: una metodología. *Ingenierías*, 1(2), 1.
- Gutiérrez, S. N. G. (2004). La vinculación en el ámbito científico-tecnológico de México. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, XXXIV, 47-94.
- Hatzichronoglou, T. (1997), "Revision of the High-Technology Sector and Product Classification", OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 1997/02, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/134337307632> Pág. 2 68
- Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., y Yildirim,
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P., (2010). Metodología de la investigación. Quinta edición. México: Editorial McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2002). Sector de alta tecnología. Instituto Nacional de Estadística, España. Recuperado de: <http://www.ine.es/daco/daco43/notaiat.pdf>
- \_\_\_\_\_. (2013). CNAE 2009. Clasificación Nacional de Actividades Económicas, España. Recuperado de: <http://www.ine.es/prensa/np895.pdf> [www.ine.es/daco/daco42/daco4217/1stsectcnae.xls](http://www.ine.es/daco/daco42/daco4217/1stsectcnae.xls)
- \_\_\_\_\_. (2015). Producto interno bruto a precios corrientes. Consultado en: [http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/notas\\_informativas/pib\\_prececr/NI-PIBCR.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/notas_informativas/pib_prececr/NI-PIBCR.pdf)
- Landis, J. R. y Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.
- McKenna, R. (1985). Market Positioning in High Technology. *California Management Review*, vol. 37, núm. 3. 82-108.
- Méndez, R. (2002). Innovación y desarrollo territorial: algunos debates teóricos recientes. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos – Regionales (EURE)*, 28(84), pp. 63–83.
- Mohr, J. J., Sengupta, S., y Slater, S. F. (2009). Marketing of high-technology products and innovations. Pearson Prentice Hall
- Molero-Zayas, J. M., e Hidalgo, A. (2003). Los sectores de alta tecnología. *Estructura Económica de Madrid* (pp. 441-468).
- Moriarty, R., y Kosnik, T. (1989). High Tech Marketing: Concepts, Continuity and Change. *Sloan Management Review*, vol. 30, 7-17.

- Nonaka, I. y Takeuchi, H. (2000). La empresa creadora de conocimiento. Harvard Business Review. Gestión del conocimiento. Germán Orbeagozo (Trad.). Bilbao. Ediciones Deusto, 200, 23-49.
- Oakey, R. P., Rothwell R. y Cooper, S. (1988). The management of innovation in high-technology small firms: innovation and regional development in Britain and the United States. London: Pinter.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE]. (2012). México mejores políticas para un desarrollo incluyente. Recuperado de: <http://www.oecd.org/mexico/Mexico%202012%20FINALES%20SEP%20eBook.pdf>
- Organización Mundial de las Naciones Unidas [ONU]. (2009). International Standard Industrial Classification of All Economic. Series M No. 4/Rev.4. Recuperado de [http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm\\_4rev4s.pdf](http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4s.pdf)
- Pérez, J. E. A. (2012). Asociaciones entre madurez de gestión del conocimiento y desempeño innovador: organización y personas, e interpretación. Revista Lasallista de Investigación, 9(1), 86-95.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (2013). Gobierno de la República de México. Recuperado de: <http://pnd.gob.mx/>.
- ProMéxico. (2013). Investment Map. Información estatal del sector aeroespacial. Recuperado de: <http://mim.promexico.gob.mx/JS/MIM/InformacionEstatal/sectores/AERO/listaesppdf>
- Real Academia Española. (2014). Tecnología. En Diccionario de la lengua española (23. Ed.). Recuperado de: <http://lema.rae.es/drae/?val=Tecnologia>
- Rodríguez-Pose, A. (2012). Los parques científicos y tecnológicos en América Latina: Un análisis de la situación actual. Banco Interamericano de desarrollo.
- Ruiz, D. C. (2008). México: Geografía económica de la innovación. Revista Comercio Exterior, Vol. 58, nº 11, noviembre, pp. 756–768. México.
- Ruiz, R. F. (2004). La innovación empresarial a través de I+D en Andalucía. Cuadernos de Geografía de la Universidad de Valencia, nº 75, pp. 053–074.
- Secretaría de Educación Pública. (2013). Educación Superior Pública. Subsecretaría de Educación Superior. Recuperado de: [http://www.ses.sep.gob.mx/wb/ses/educacion\\_superior\\_publica](http://www.ses.sep.gob.mx/wb/ses/educacion_superior_publica)
- Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México SCIAN (2013). México: INEGI, 2013. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/SCIAN/presentacion.aspx>
- Storey, D. J. y Tether, B. S. (1998). New technology-based firms in the European union: an introduction, Research Policy, 26.
- Tello, F. P. H., Moscoso, S. C., Abad, E. V., Egido, B. D., Sanduvete-Chaves, S., y García, M. I. B. (2015). Evaluación de programas de formación continua en contextos no estandarizados: complementariedad entre Análisis Factorial y Multinivel para la obtención de evidencias de validez de constructo. Anales de psicología, 31(2), 725-732.
- Triola, M. F. (2000). Estadística elemental. Prentice Hall.
- Tristán-López, A. (2008). Modificación al modelo de Lawshe para el dictamen cuantitativo de la validez de contenido de un instrumento objetivo. Avances en medición, 6(1), 37-48.
- Villalobos, M., & González, A. E. R. (2015). Diseño y validación de cuestionario para la exploración de capacidades de innovación para empresas de alta tecnología de México. QUID: Investigación, Ciencia y Tecnología, (25), 5.
- Zikmund, W. y Babin, B. (2009). Investigación de Mercados (Novena edición ed.). México DF, México: Cengage Learning

## Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC), basado en la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad de tono en los procesos de inyección-soplo de plástico

### Quality Assurance System (SAC), based on the Six Sigma methodology to reduce tone variability in plastic injection-blow processes

SOTO-LEYVA, Yasmin†\*, CARMONA-VELÁZQUEZ, Araceli, LIEVANO-MORENO, Claudia Patricia y AHUACATITLA-PÉREZ, José Miguel

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, México. Universidad Xicotepetl, A.C., México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Yasmin, Soto-Leyva* / ORC ID: 0000-0003-2652-7065, CVU CONACYT ID: 951464

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Araceli, Carmona-Velázquez* / ORC ID: 0000-0002-4334-0262, CVU CONACYT ID: 1062056

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Claudia Patricia, Liévano-Moreno* / ORC ID: 0000-0003-4407-0724, CVU CONACYT ID: 209534

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *José Miguel, Ahuacatitla-Pérez* / ORC ID: 0000-0001-5336-8966, CVU CONACYT ID: 951466

DOI: 10.35429/JTO.2020.14.4.22.31

Recibido 20 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

#### Resumen

La presente aplicación desarrolla un Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC), diseñado conforme a los requerimientos del proceso de producción de inyección-soplo correspondiente a la industria del plástico la cual aporta el 2.6% del PIB nacional. El objetivo plantea el mejoramiento cuantitativo del nivel Sigma de la empresa analizada, buscando una reducción del 20% en los costos generados por el problema denominado "variación de tono", originado en la línea productiva de inyección-soplo de plástico, basándose en la metodología Six Sigma (DMAIC). La metodología está constituida por cinco fases, mismas que permiten el logro del objetivo planteado: Fase 1. Definir problema, Fase 2. Recopilación y análisis de datos, Fase 3. Análisis de las causas y factores críticos del problema, Fase 4. Propuesta de mejora de implementación de herramientas para solucionar el problema, Fase 5. Controlar: diseño de un sistema de medición para asegurar la estabilidad de la calidad del producto. Con la implementación de las herramientas derivadas del análisis y de los resultados obtenidos en cada fase, se obtiene un nivel de 3.7  $\sigma$  incrementando en 0.3  $\sigma$ , con respecto al nivel Sigma inicial de 3.4, traducido en un ahorro económico anual de \$141,120.00.

#### Six Sigma, Variación, SAC

#### Abstract

This application develops a Quality Assurance System (SAC), designed in accordance with the requirements of the injection-blow production process corresponding to the plastics industry, which contributes 2.6% of the national GDP. The objective raises the quantitative improvement of the Sigma level of the analyzed company, seeking a reduction of 20% in the costs generated by the problem called "tone variation", originated in the plastic injection-blow production line, based on the methodology Six Sigma (DMAIC). The methodology consists of five phases, which allow the achievement of the proposed objective: Phase 1. Define the problem, Phase 2. Data collection and analysis, Phase 3. Analysis of the causes and critical factors of the problem, Phase 4. Proposal for improvement of the implementation of tools to solve the problem, Phase 5. Control: design of a measurement system to ensure the stability of product quality. With the implementation of the tools derived from the analysis and the results obtained in each phase, a level of 3.7  $\sigma$  is obtained, increasing by 0.3  $\sigma$ , with respect to the initial Sigma level of 3.4, translated into an annual economic saving of \$ 141,120.00.

#### Six Sigma, Variation, SAC

**Citación:** SOTO-LEYVA, Yasmin, CARMONA-VELÁZQUEZ, Araceli, LIEVANO-MORENO, Claudia Patricia y AHUACATITLA-PÉREZ, José Miguel. Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC), basado en la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad de tono en los procesos de inyección-soplo de plástico. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-14:22-31.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: yasmin.soto@huauchinango.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Con el paso del tiempo las empresas productoras de plástico se han posicionado con mayor auge en el desarrollo económico del país, esto trae consigo que las organizaciones mejoren significativamente la productividad y la calidad de los productos, mediante la implementación de herramientas que permitan identificar y eliminar los principales problemas provenientes de la calidad de los productos que procesan (defectos) considerados responsabilidad del fabricante (Josep Solé Feliu, 1996), los cuales generan altos costos de reprocesos y pérdidas inmediatas de clientes potenciales.

La presente aplicación se efectuó en una empresa que fabrica diferentes tipos de envases de plástico, teniendo como principales clientes a la industria farmacéutica (ampolletas inyectables), alimenticia (recipientes, vasos, tapas) y cosméticos (estuches, depósitos, jaboneras), en el periodo comprendido de enero-julio 2019 la organización recibió un promedio mensual de 32 reclamos/inconformidades que originaron rechazos de lotes de producción, y reprocesos de los productos, ocasionando una disminución del 10% de los clientes que conforman la red de compra de los principales envases, debido a los defectos de variación de tono que presentan los productos representando una pérdida anual de 1.3 millones de pesos.

El proceso de pigmentación que permite asignar el tono a los envases se efectúa en el área de inyección-soplo, que está conformado por una mesa rotativa, que gira en pasos de 80-140 grados (Figura 1 Mesa rotativa “Proceso de pigmentación”). En la cara horizontal de la mesa se instalan 5 agujas especiales o varillas centrales (core rods), donde se fabrica la preforma que más tarde es soplada y pigmentada para formar el envase terminado.



**Figura 1** Mesa rotativa “Proceso de pigmentación”

*Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)*

La problemática de variación de tono se presenta por diversas causas supuestas: falta de homogeneización del concentrado sobre la resina, ciclo excesivamente rápido, material degradándose, exceso de pigmentos, falta de resistencia térmica del concentrado, etc. Para identificar y comprobar la causa raíz del problema se aplica una ACR (Análisis de Causa Raíz), posteriormente se aplican herramientas de Ingeniería para disminuir el nivel de variabilidad de tono que se presenta en los lotes de producto terminado (2.9% de las piezas finales), medido al inicio del proyecto en agosto 2019, contemplando que la empresa maneja un estándar máximo de productos (envases) con variabilidad de tono del 1.1%.

La búsqueda de la metodología idónea para el aseguramiento de la calidad que controle y mejore el proceso operativo, para aumentar notablemente el nivel Sigma, reducir los costos de reprocesamiento y disminuir los defectos generados por variación de tono, en el proceso de inyección-soplo de plásticos para la fabricación de envases trae consigo la selección e implementación de la metodología Six Sigma que tiene sus orígenes en la necesidad de mejorar y solucionar problemas complejos. Su creador fue el doctor Mikel Harry, que la desarrolló como una herramienta de control y disminución de la variación en los procesos complejos. Six Sigma, según López (2011), es un enfoque revolucionario de gestión que mide y mejora la calidad. Ha llegado a ser un método de referencia para, al mismo tiempo, satisfacer las necesidades de los clientes y lograrlo con niveles próximos a la perfección.

Puede ser analizada desde dos puntos de vista: estadístico y estratégico, en el primero, Six Sigma significa “seis desviaciones estándar de la media”, lo cual se traduce matemáticamente a menos 3.4 defectos por millón, mientras que, desde el segundo punto de vista, Six Sigma ajusta a los procesos con la mínima tolerancia de defectos posibles como una forma de reducir los desperdicios y las irregularidades tanto en los productos como en los servicios.

En el corazón de la metodología Six Sigma se encuentra el modelo DMAIC para los procesos existentes que caen por debajo de las especificaciones y buscan una mejora incremental (Bikram, 2015). Este consiste en la aplicación de un proceso estructurado en cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar, controlar (Pérez, 2014).

El aseguramiento de la calidad, o garantía de calidad, es, según la norma ISO 8402, el conjunto de acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto o servicio satisfará los requerimientos relativos a la calidad. Asimismo, según la familia de ISO 9000 el objetivo principal del SAC es garantizar la permanencia en el tiempo de los logros obtenidos.

Tomando en cuenta lo anterior el presente estudio tiene por objetivo desarrollar un Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC) con base en la metodología DMAIC correspondiente a Six Sigma, para el proceso de inyección-soplo de plástico, aplicando herramientas cuantitativas y cualitativas para la eliminación de las fuentes que ocasionan la variabilidad, enfocándonos al cumplimiento de la característica principal que define a los envases producidos: tonalidad.

### Metodología por desarrollar

A continuación, se presentan las fases correspondientes a la metodología:

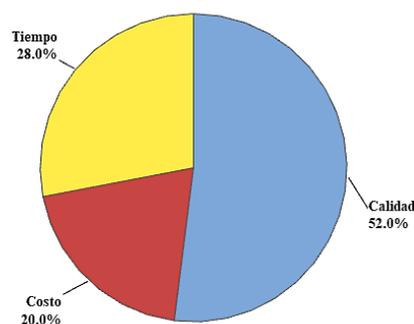
### Fase 1. Definir problema

La pérdida de clientes potenciales trajo consigo la aplicación de un análisis estadístico para determinar cuáles son los principales problemas que ocasionan el rechazo de los lotes de producción, las etapas que constituyen el estudio son:

- Etapa 1. Feed Back Clientes (análisis de reclamos/quejas).
- Etapa 2. Defectos presentados en área inyección-soplo.

Etapa 1. En primera instancia se realizó un análisis del total de los reclamos/quejas presentadas para conocer los factores que ocasionaban la pérdida de los clientes potenciales, las variables analizadas son: calidad, costo, tiempo de entrega (Gráfico 1 Feed Back Clientes (análisis de reclamos/quejas)).

Feed Back Clientes (análisis de reclamos/quejas)



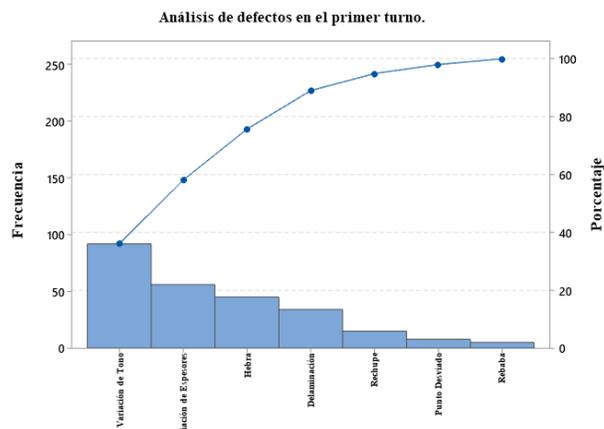
**Gráfico 1** Feed Back Clientes (análisis de reclamos/quejas)

Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

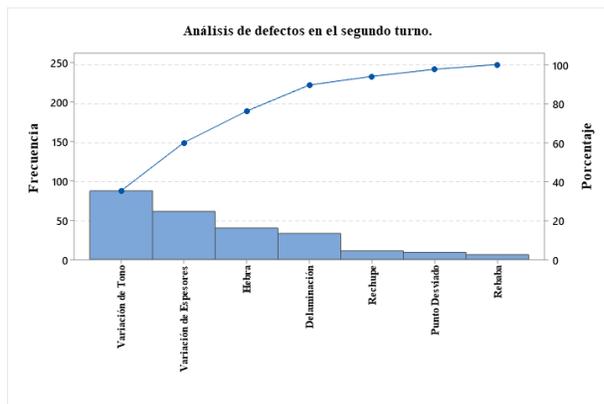
El estadístico histórico indica que las inconformidades presentan un porcentual de: calidad 52%, costo 20%, tiempo de entrega 28% siendo la calidad la fuente que origina en mayor grado la insatisfacción de los clientes originando la reducción de la cartera de clientes prevista para el año 2020.

Etapa 2. Se procedió a determinar el principal problema de calidad (defectos) que ocasiona los rechazos de lotes de producción de variabilidad que se presentó en los lotes de producción rechazados.

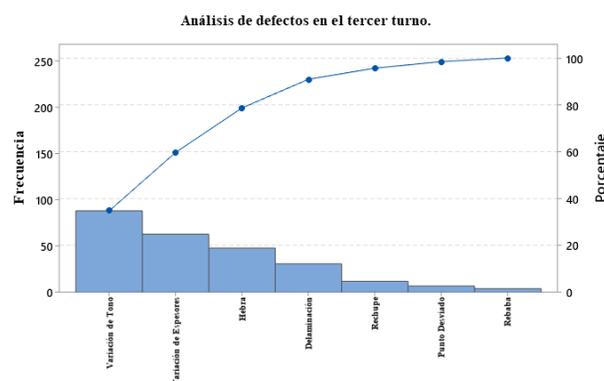
Se realizó un diagrama de Pareto por turno, para identificar la frecuencia con la que se presentan cada uno de los defectos, (Gráfico 2 Análisis de defectos en el primer turno, Gráfico 3 Análisis de defectos en el segundo turno, Gráfico 4 Análisis de defectos en el tercer turno). De manera general los defectos presentados son: variación de tono, variación de espesores, hebra, delaminación, rechupe, punto desviado y rebaba, tomando la información de los 3 diferentes turnos laborales.



**Gráfico 2** Análisis de defectos en el primer turno  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)



**Gráfico 3** Análisis de defectos segundo turno  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)



**Gráfico 4** Análisis de defectos en el tercer turno  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

Analizando los Gráficos 1, 2 y 3 observamos que el tipo de defecto que se presenta con mayor frecuencia es la variación de tono para el primer turno 36% para el segundo turno 35% y para el tercer turno 35% por lo que se aplicaran acciones correctivas a este tipo de defecto en primera instancia.

**Fase 2. Recopilación y análisis de datos**

El proceso de asignación de tonos se realiza en la zona de pigmentación que se encuentra ubicada en el área de inyección-soplo, contabilizando 10 máquinas dedicadas a esta operación (Figura 2 Máquinas para procesos de pigmentación), el proceso de asignación de tono se realiza mediante la fundición de pigmentos y colorantes en el cañón a temperaturas mayores a 210°, el material fundido es transportado por el husillo para ser inyectado en el centro de la preforma, la dosificación de la pigmentación debe ser precisa, previamente el molde preforma se apertura y es transferido a la siguiente estación.



**Figura 2** Máquinas para procesos de pigmentación  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

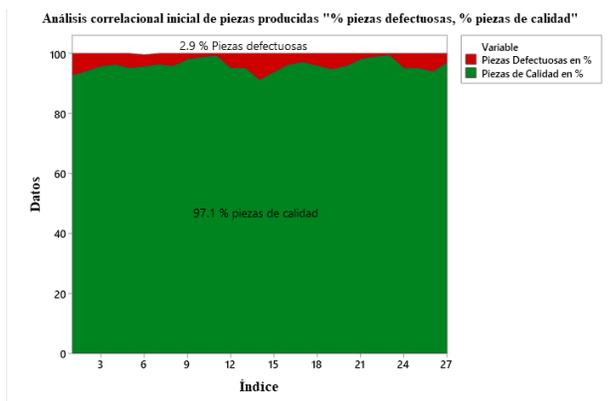
La metodología de análisis se efectuó aplicando un muestreo aleatorio a los envases procesados en las distintas máquinas y en horarios diversos, mediante el cual se determinaron las máquinas que ocasionaban mayor cantidad de defectos por variación de tono, los resultados obtenidos se muestran a continuación (Tabla 1 Control general de defectos por máquina).

Máquina	Frecuencia de presentación defectos	% Variación de tono
R-01	190	42.37%
R-02	82	23.10%
R-03	151	32.85%
R-04	150	32.72%
R-05	125	29.38%
R-06	195	45.57%
R-07	192	43.43%
R-08	148	31.13%
R-09	148	31.13%
R-10	124	29.00%
Promedio general	151	34.06%
Promedio Máquinas con mayor incidencia.	192	43.79%

**Tabla 1** Control general de defectos por máquina  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

Se detecta que las máquinas que presentan mayor concentración de defectos por variación de tono son R-01=42.37%, R-06=45.57%, R-07=43.43%, con un promedio de 192 defectos mensuales.

La frecuencia de presentación de defectos mensuales genera una proporción del 2.9% de piezas terminadas con defecto por variación de color y un correlacional de piezas de calidad del 97.1% (Gráfico 5 Análisis correlacional inicial de piezas producidas “% piezas defectuosas, % piezas de calidad”).



**Gráfico 5** Análisis correlacional inicial de piezas producidas “% piezas defectuosas, % piezas de calidad”  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

Esta proporción nos muestra que el valor Sigma actual es de 3.4  $\sigma$ , siendo un nivel por debajo de la calidad “normal” conforme al nivel Sigma promedio en las industrias productoras de plástico (Tabla 2 Abstracto de niveles de asignación Sigma).

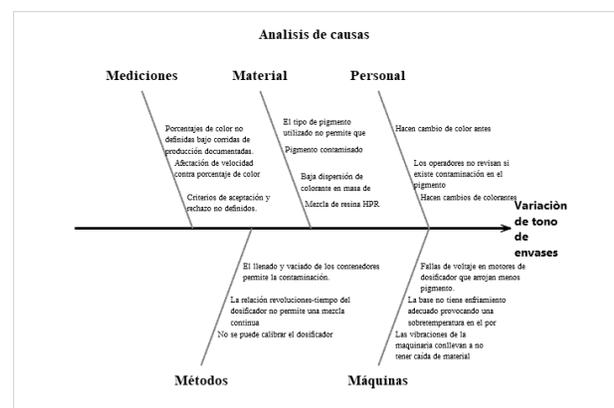
Sigma	% Unidades de Calidad	% Unidades defectuosas
4.0	99.38%	0.62%
3.9	99.18%	0.82%
3.8	98.9%	1.1%
3.7	98.6%	1.4%
3.6	98.2%	1.8%
3.5	97.7%	2.3%
3.4	97.1%	2.9%
3.3	96.4%	3.6%
3.2	95.5%	4.5%
3.1	94.4%	5.6%
3.0	93.3%	6.7%

**Tabla 2** Abstracto de niveles de asignación Sigma  
Fuente: [bookdown.org/asun\\_mayoral/book-l6s/dmaic2-medir.html](http://bookdown.org/asun_mayoral/book-l6s/dmaic2-medir.html) (2020)

**Fase 3. Análisis de las causas y factores críticos del problema**

Para el análisis de causas del problema se hace uso de la metodología ACR (Análisis de Causa Raíz), mediante la cual se identificó de forma reactiva las causas que originaban la variabilidad de tono.

Para la realización del estudio se analizan las máquinas que presentaron mayor nivel de incidencia R-01, R-06, R-07, los resultados se plasman en un Diagrama de Ishikawa (Figura 3 Diagrama de Ishikawa: Análisis de Causa Raíz).



**Figura 3** Diagrama de Ishikawa: Análisis de Causa Raíz  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

Derivado de los resultados del ACR, se realizó un estudio de las causas de mayor relevancia a través de la herramienta de los 5 ¿Por qué?’s (Tabla 3 Diagrama de los 5 ¿Por qué?’s).

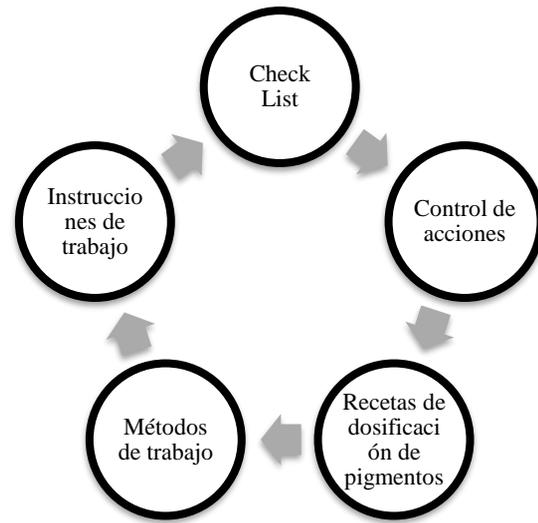
Causa	1°	2°	3°
	Contaminación de cubetas de pigmento con diferentes colores	Sobre ajustes a porcentajes de color	Criterios de aceptación o rechazo
1°	¿Por qué? Los operadores no “sopletean” de forma correcta ni previenen contaminación.	Los cambios de lote de pigmento provocan variaciones de color.	El criterio cambia según la persona que lo audita.
2°	¿Por qué? No son conscientes del grado de afectación.	Se mezclan los lotes de pigmento.	No están establecidos los límites de aceptación
3°	¿Por qué? No se sabe cuántas variaciones de color produce la contaminación.	No se tiene control de los lotes que llegan.	La medición es visual.
4°	¿Por qué? No hay un responsable a cargo.	No se registran las entradas de los lotes en el almacén.	No hay un equipo de medición mejor.
5°	¿Por qué? No hay un método que corrija a los operadores para tener su pigmento limpio.	No hay un método definido.	No se ha cotizado ningún equipo de medición.

**Tabla 3** Diagrama de los 5 ¿Por qué?’s  
Fuente: *Elaboración propia con información de la empresa (2020)*

La aplicación de la herramienta antes descrita permitió detectar las fuentes de origen del problema de variación de tono: contaminación, diferencia entre lotes de pigmentos, dosificación, homogenización.

**Fase 4. Propuesta de mejora implementación de herramientas para solucionar el problema**

El proceso de mejora incluye la aplicación de las herramientas siguientes: (Figura 4 Herramientas de mejoras implementadas).



**Figura 4** Herramientas de mejoras implementadas  
Fuente: *Elaboración propia (2020)*

La primera mejora está orientada a la eliminación de la diferencia entre los lotes de pigmentación: se instituyó un check list mediante el cual se corrige y previene la variación de color por contaminación de lotes de pigmentación, buscando reducir las quejas internas y externas que se generan por variación de tono, este check list deberá de ser llenado por los operadores al final de cada turno y así el operador siguiente estará enterado de las condiciones operativas del turno anterior, para poder continuar trabajando de una manera adecuada (Ver anexo 1; Figura 5 Check List).

Los procesos de contaminación que se presentan son reducidos con el uso de un control de acciones correctivas, preventivas y de mejora que permiten el aseguramiento de la calidad del producto, se mide en periodos de 27 días, durante los 3 turnos, teniendo como objetivo disminuir los niveles de contaminación que generan piezas con defectos de variación de tono en las máquinas R-01, R-06, R-07 (Anexo 2; Figura 6 Control de acciones).

La tercera mejora consiste en el diseño de recetas de dosificación de pigmentos/colorantes y establecimiento de políticas de homogenización para el desarrollo de las actividades operativas a través de la creación de métodos de trabajo e instrucciones de trabajo.

**Fase 5. Controlar: diseño de un sistema de medición para asegurar la estabilidad de la calidad del producto**

El método de aseguramiento se aplicó a través de la generación de un certificado de calidad que avala que los productos de cada lote cumplen con las especificaciones y características que el cliente requiere (puntos máximos y mínimos).

El certificado de calidad está diseñado conforme a los requerimientos de cada cliente contemplando el giro comercial al que pertenecen.

**Resultados**

Las distintas fases permitieron obtener los siguientes resultados:

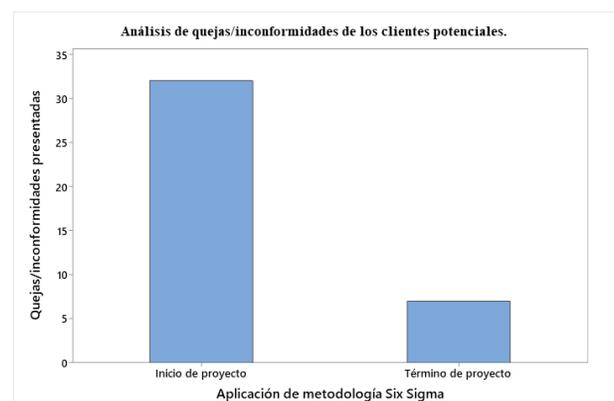
La Fase 1 denotó las principales causas que ocasionaban la disminución de los clientes potenciales, visualizando cuales son los defectos más frecuentes que ocasionan el rechazo de los lotes ya fabricados, considerando que por variación de tono se tiene en promedio el 35.33% de las pérdidas anuales.

La Fase 2 determinó las máquinas de inyección-soplo que generaban mayor cantidad de defectos, el análisis cualitativo proyectó un estudio asertivo determinando que las maquinas R-01= 42.37%, R-06=45.57%, R-07=43.43% exponen mayores probabilidades de fabricar piezas con variedad de tono, propiciando el análisis de las fichas técnicas y el proceso operativo que se lleva a cabo en cada una de ellas para con esto determinar las fuentes que originan el problema.

El proceso de recolección y análisis de datos trajo consigo el cálculo del nivel Sigma que se presentó al inicio del proyecto conforme al % de productos defectuosos generados a partir de la variación de tono:

- I. 2.9% de piezas defectuosas; 97.1% piezas de calidad= 3.4  $\sigma$  (Tabla 2. Abstracto de niveles de asignación Sigma).

Las propuestas generadas en la Fase 3, disminuyeron notablemente las fuentes de origen que ocasionaban piezas defectuosas, la creación de metodologías e instrucciones de trabajo para los operarios del área de inyección-soplo estandarizaron las actividades que se realizaban como parte del proceso de fabricación. La aplicación del check list redujo la presentación de quejas/inconformidades de manera externa, de un conteo de 32 al inicio de la aplicación se presentaron solo 7 al término del proyecto (Gráfico 6 Análisis de quejas/inconformidades de los clientes potenciales).



**Gráfico 6** Análisis de quejas/inconformidades de los clientes potenciales

Fuente: *Elaboración propia con información de la empresa (2020)*

Una vez aplicadas las herramientas de mejora se asignó un ciclo de validación de 27 días en los 3 turnos laborales, monitoreando la cantidad de defectos por variación de color originados en las maquinas R-01, R-06, R-07 (Tabla 4 Control de defectos de máquinas R-01, R-06, R-07; ciclo de validación).

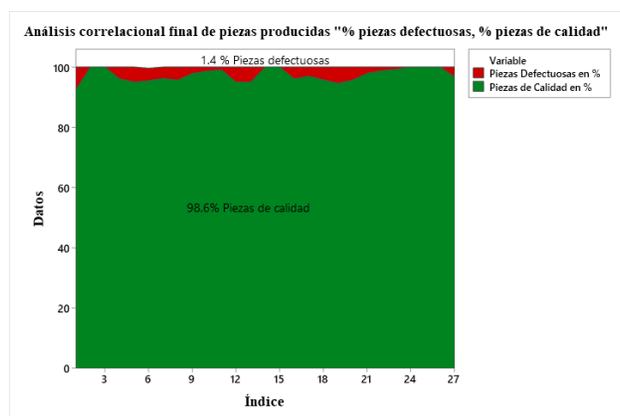
Máquina	Frecuencia de presentación de defectos	% Variación de tono
R-01	117	26.30 %
R-06	114	25.42 %
R-07	112	24.97 %
Promedio	115	25.56 %

**Tabla 4** Control de defectos de máquinas R-01, R-06, R-07; ciclo de validación

Fuente: *Elaboración propia con información de la empresa (2020)*

En promedio contabilizamos 115 defectos por variación de tono en los ciclos de validación que se monitorearon, es decir que se registró más de 1 variación de color por turno en las máquinas R-01, R-06, R-07, mostrando una disminución del 33% de incidencias con respecto a los 192 defectos promedio registradas al inicio del proyecto (Tabla 1 Control general de defectos por máquina).

La proporción correspondiente de piezas defectuosas por variación de color fue de 1.40%, lo que significa una reducción de 1.5% en el porcentaje de defectos contabilizados de manera inicial; con un correlacional de 98.60% piezas de calidad (Gráfico 7 Análisis correlacional final de piezas producidas “% piezas defectuosas, % Piezas de calidad”).



**Gráfico 7** Análisis correlacional final de piezas producidas “% piezas defectuosas, % Piezas de calidad”  
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

Esta proporción nos muestra entonces que el nivel Sigma actual es de 3.7  $\sigma$  (Tabla 3 Abstracto de niveles de asignación Sigma).

**Anexos**

**Anexo 1**

CHECK LIST DE ENTREGA Y RECEPCIÓN DEL TURNO DE LOS OPERADORES	FECHA			
	TURNO			
	OPERADOR QUE ENTREGA			
	OPERADOR QUE RECIBE			
ACTIVIDADES DEL OPERADOR QUE ENTREGA EL TURNO				
Actividades	Si	No	Observaciones	
Se realizó de manera correcta el llenado de la bitácora de producción.				
Se encuentra limpia y ordenada el área de trabajo.				
Se realizaron cambios de molde o de orden de producción.				
Se llenaron correctamente los formatos de parámetros de moldeo.				
Se pesó la preforma y la plasta resultante de las distintas máquinas.				
Se llenaron correctamente los formatos de avisos de falla.				
Se modificaron los parámetros de moldeo durante el turno.				
Se monitoreo cada una de las maquinas que estuvieron trabajando.				
Se inspeccionó que el pigmento no estuviera contaminado.				
Se inspeccionó que el pigmento líquido no estuviera asentado en el fondo.				
Se aplicó cambio de pigmento.				
ACTIVIDADES DEL OPERADOR QUE RECIBE EL TURNO				
Actividades	Si	No	Observaciones	
Se realizó de manera correcta el llenado de la bitácora de producción.				
Se encuentra limpia y ordenada el área de trabajo.				
Se realizaron cambios de molde o de orden de producción.				
Se llenaron correctamente los formatos de parámetros de moldeo.				
Se pesó la preforma y la plasta resultante de las distintas máquinas.				
Se llenaron correctamente los formatos de avisos de falla.				
Se modificaron los parámetros de moldeo durante el turno.				
Se monitoreo cada una de las maquinas que estuvieron trabajando.				
Se inspeccionó que el pigmento no estuviera contaminado.				
Se inspeccionó que el pigmento líquido no estuviera asentado en el fondo.				
Se aplicó cambio de pigmento.				
Nota: El operador que recibe el turno, en caso de no estar de acuerdo con algún punto que este marcado como "realizado" por el operador que entrega el turno, hacerlo saber marcando la inconformidad en las observaciones y comunicar al supervisor del turno.				

**Figura 5** Check List

Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

## Anexo 2

FORMATO		CÓDIGO DEL DOCUMENTO	DEL	
Acción correctiva/ Preventiva/ de Mejora		FO-LB242-008		
		VERSIÓN	HOJA	
Datos Generales		Numero de acción	de	
Fuente de identificación				
<input type="checkbox"/>	Revisión por la	<input type="checkbox"/>	Reclamación del cliente	
<input type="checkbox"/>	Auditoria externa	<input type="checkbox"/>	Otro (Especifique):	
<input type="checkbox"/>	Auditoria interna	<input type="checkbox"/>	Incumplimiento:	
Acción tomar:	a Correctiva <input type="checkbox"/>	Preventiva <input type="checkbox"/>	De mejora <input type="checkbox"/>	
Planta de origen:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/>	
Categoría de Hallazgo:	<input type="checkbox"/> Mayor	<input type="checkbox"/> Menor	<input type="checkbox"/> Oportunidad de mejora	
Nombre del cliente:	Fecha de reporte: _____			
Producto/Proceso	_____			
Quien reporta:	Se reporta a: _____			
<b>2. Descripción del problema</b>				
¿Quién participa en el problema? _____				
¿Qué es el problema? _____				
¿Cuándo ocurrió el problema? _____				
¿Cómo ocurre el problema? _____				
¿La solicitud de acción procede? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				
<b>3. Acciones inmediatas de contención</b>				
No.	Actividad	Fecha	Supervisor	Firma
1				
2				

**Figura 6** Control de acciones

Fuente: Elaboración propia con información de la empresa (2020)

### Agradecimiento

Al Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango y a la academia de Ingeniería Industrial por permitir el desarrollo de este trabajo de investigación.

### Conclusiones

Con la implementación del ciclo DMAIC correspondiente a la metodología Six Sigma se generó un sistema de aseguramiento de la calidad (SAC) el cual tiene como objetivo principal la reducción de la variación de tono de las piezas terminadas, proceso que se efectúa en la zona de pigmentación del proceso de inyección-soplo de plástico.

El sistema de aseguramiento de la calidad originó un aumento de  $0.3 \sigma$  con respecto al nivel de  $3.4 \sigma$  registrado al inicio del proyecto el cual generaba un costo mensual por productos defectuosos de \$24,442.50, al final del proyecto se establece un nivel de  $3.7 \sigma$  que deriva un costo mensual por productos defectuosos de \$12,682.50, la mejora antes mencionada trae consigo un beneficio económico mensual de \$11,760.00 representando un ahorro del 48% de los costos generados por variación de tono, proyectando un beneficio anual de \$141,120.00.

De igual forma se disminuyó en un 78% las quejas/inconformidades por parte de los clientes asegurando la aceptación futura de los pedidos fabricados.

La aplicación antes analizada confirma que la selección correcta de la metodología (DMAIC), y la aplicación de herramientas de Ingeniería traen consigo múltiples beneficios cuantitativos y cualitativos que aportan directamente al área de calidad y productividad de las organizaciones productivas, mejorando significativamente el nivel de satisfacción de los clientes.

### Referencias

Albert, E. N., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma.

Bikram Singh Kjit (2015). Wrap the scrap with DMAIC: Strategic Deployment of Six Sigma in Indian Foundry Smes. Anchor Academic Publishing.

Bookdown.org/asun\_mayoral/book-16s/dmaic2-medir.html

Duncan Acheson, J. (1996). Control de Calidad Y Estadística Industrial. Editorial Alfaomega. México.

Eckes, George. (2006). El Six Sigma para todos. Editorial Norma.

Fuchs C. & Benjamini Y. (1994). Multivariate Profile Charts for Stastiscal Process Control. Technometrics, 36 pp. 182 - 195.

Lande, M., Shrivastava, R. L., & Seth, D. (2016). Critical success factors for Lean Six Sigma in Smes (small and medium enterprises). *The TQM Journal*.

López, C. (2011) La metodología Seis Sigma ¿qué es? ¿Para qué sirve? ¿Cómo se aplica? ¿Requerimientos para su implementación? ¿Etapas de implementación? Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/recursos/experto/catsexp/pagans/ger/no12/6sigma.html>

López, G. (2001). Metodología Six-Sigma: calidad industrial. Artículo consultado en EBSCO, Baja California, México, Investigador del instituto de Ingeniería, UABC.

Pérez-López, E., & García-Cerdas, M. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista tecnología en Marcha*, 27(3), ág-88.

Peter S. Pande, R. P. (2000). *The Six Sigma way*. McGraw-Hill.

Rivera, L. N. M. (2006). *Seis Sigma/Six Sigma: Guía Para Principiantes/Guide for Beginners*. Panorama Editorial.

Socconini, Luis; Reato, Carlo. (2019) *Lean Six Sigma. Sistema de gestión para liderar empresas*. MARGE BOOKS.

Terrés-Speziale, A. M. (2007). SIX SIGMA: determinación de metas analíticas. *Rev Mex Patol Clin*, 54(1), 28-39.

Timans, W., Ahaus, K., van Solingen, R., Kumar, M., & Antony, J. (2016). Implementation of continuous improvement based on Lean Six Sigma in small-and mediumsized enterprises. *Total Quality Management & Business Excellence*, 27(3-4), 309-324.

Yang, C. C. (2004). *Multivariate statistical methods and Six Sigma*. Volumen uno. Número uno.

Zhang, M., Wang, W., Goh, T. N., & He, Z. (2015). Aplicación completa de Six Sigma: un caso de estudio. *Planificación y Control de Producción*, 26(3), 219-234.

## Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras

### Implementation of lean manufacturing tools in a locomotive maintenance and service company

FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda†\*, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores

*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, México.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Rosa Hilda, Félix-Jácquez / **ORC ID:** 0000-0001-6961-341X, **Researcher ID Thomson:** E-9292-2018, **arXiv Autor ID:** rhfélix, **CVU CONACYT ID:** 388127

ID 1<sup>er</sup> Coautor: María Merced, Cruz-Rentería / **ORC ID:** 0000-0001-7498-0484, **Researcher ID Thomson:** N-4046-2018, **arXiv Autor ID:** MECHE, **CVU CONACYT ID:** 342989

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Ma. Dolores, Delgado-Celis / **ORC ID:** 0000-0003-0141-497X, **Researcher ID Thomson:** M-1649-2018, **arXiv Autor ID:** ma.dolores, **CVU CONACYT ID:** 611148

**DOI:** 10.35429/JTO.2020.14.4.32.39

Recibido 25 de Julio, 2020, Aceptado, 30 de Diciembre, 2020

#### Resumen

La mejora continua es un elemento clave para la competitividad de las empresas que buscan aumentar la calidad de un proceso, un producto o un servicio. Este proyecto tiene como objetivo la aplicación de la mejora continua en un proceso de servicio y mantenimiento de locomotoras, que trabaja para la industria ferroviaria en el país. Se identificó una baja eficiencia y productividad en la remanufactura de ejes y ruedas en el área de Combos, lugar donde se realizó el proyecto de mejora. Se utilizó la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC), mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta, con el fin de eliminar o reducir actividades que no agregan valor. Como resultado, se logró la reducción de tiempos de transporte, la estandarización de las operaciones y la mejora en la seguridad del personal. Lo anterior en conjunto, impactó de manera significativa en el tiempo ciclo de los procesos, logrando incrementar la eficiencia en un 7.52%.

**Mejora continua, DMAIC, Manufactura Esbelta**

#### Abstract

Continuous improvement is a key element for the competitiveness of companies seeking to increase the quality of a process, product, or service. This project aims to apply continuous improvement in a locomotive service and maintenance process, which works for the railway industry in the country. Low efficiency and productivity were identified in the remanufacturing of axles and wheels in the Combos area, where the improvement project was carried out. The Define, Measure, Analyze, Improve and Control (DMAIC) methodology was used through the application of lean manufacturing tools to eliminate or reduce activities that do not add value. As a result, reduced transport times, standardization of operations, and improved staff safety were achieved. The above together significantly impacted the time cycle of processes, managing to increase efficiency by 7.52%.

**Continuous improvement, DMAIC, Lean manufacturing**

**Citación:** FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores. Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2020. 4-14:32-39.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rosa.fj@slp.tecnm.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

En el ámbito de la manufactura y los servicios, la estrategia de la manufactura esbelta es un enfoque de calidad y productividad que se ha venido implementando con éxito en las empresas de clase mundial. Este proyecto se realizó en una compañía posicionada como líder en tecnología global y abastecimiento de la industria ferroviaria que ofrece contratos de servicios de mantenimiento, reparación de componentes, así como remanufactura de piezas de locomotora.

La empresa había estado registrando no conformidades generadas por los tiempos de producción superiores al estándar, la cantidad de productos en proceso, la calidad de los productos y el costo generado por desperdicio de tiempo en transporte y búsqueda de materiales.

Desde el inicio de este proyecto se hizo énfasis en una nueva distribución de la planta, así como la parametrización de los procesos actuales, mediante la implementación de herramientas de manufactura esbelta, especialmente en el análisis de los métodos actuales. Se hizo un mapeo del proceso, así como la aplicación de estrategias de mejora en la estandarización del proceso, implementación de la administración visual y acciones encaminadas a la seguridad.

Un elemento de medición de la aplicación de la manufactura esbelta es la productividad asociada a la cantidad de horas hombre, ya que el costo de éstas disminuye, debido a que se suprimen tiempos muertos en los procesos de producción.

En el área de Ejes y Ruedas se aplicó la metodología DMAIC utilizando herramientas de manufactura esbelta para mejorar los procesos productivos.

## Marco Conceptual

### Mejora Continua

La mejora continua de los procesos consiste en aplicar metodologías que permitan optimizar, de manera cuantitativa y sistemática, el comportamiento y resultados de los procesos, incrementando su eficiencia.

Toda organización que aspire a ser competitiva deberá buscar mecanismos que permitan elevar el desempeño de sus procesos, ya que son éstos los que le agregan valor para la satisfacción de los clientes y otras personas interesadas: accionistas, empleados y proveedores, así como para la comunidad (Bonilla, Díaz, Kleeberg y Noriega, 2010).

### Metodología DMAIC

Para poder realizar mejoras significativas de manera consistente en una organización, es importante seguir una metodología que utilice un formato estructurado y disciplinado (Felizzola y Luna, 2014). El proyecto en estudio está soportado en la metodología compuesta de cinco etapas o fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, comúnmente llamada DMAIC, por sus siglas en inglés (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) (Gutiérrez, 2013).

En la primera etapa de Definición se enfoca el proyecto, se delimita y se sientan las bases para su éxito. Se define cuál es el problema que se desea abordar para la mejora.

La etapa de Medir tiene como propósito entender y cuantificar la magnitud del problema que se aborda con el proyecto. Se deberán medir las variables y establecer una ruta de seguimiento, que permitan en la siguiente etapa analizar la situación.

Se continúa con la etapa de Analizar, que tiene como meta identificar la causa raíz del problema al identificar las X vitales, además de entender cómo es que éstas generan el problema y confirmar las causas con datos.

Referente a la etapa de Mejorar, su objetivo es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz; es decir, asegurarse de que se corrige o reduce el problema.

Para finalizar, en la etapa de Control, una vez que las mejoras deseadas han sido alcanzadas, se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas. Aquí se formaliza el cierre del proyecto.

## Manufactura esbelta

El término manufactura esbelta, se conoce por primera vez en un proyecto de investigación del MIT, para conocer las mejores prácticas de las industrias automotrices a nivel global (Womack, Jones y Roos, 1990). Este grupo encontró que Toyota tenía prácticas que podían ser compartidas, publicando el aprendizaje en la obra titulada *La máquina que cambió al mundo*. La manufactura esbelta, es una práctica de producción que considera que el gasto de recursos para cualquier objetivo que no sea la creación de valor para el cliente final, es un desperdicio (Jones y Womack, 2012). Desperdicio es cualquier ineficiencia en el uso de equipo, material, trabajo, o capital.

La filosofía de la manufactura esbelta se basa en la eliminación del desperdicio o de actividades que no agregan valor. Las actividades de valor agregado son aquellas operaciones que transforman, convierten o cambian un producto y por las cuales el cliente está dispuesto a pagar. Por otra parte, se consideran actividades de no valor agregado aquellas que no resultan en un cambio o transformación del producto, que el cliente no está dispuesto a pagar por ellas (Ibarra y Ballesteros, 2017).

Se presenta en este apartado la descripción de los principales términos aplicados en el proyecto, y que van a nutrir la metodología de la implementación.

**Kaizen:** Término acuñado en Japón, se considera un sinónimo de mejora continua, la búsqueda incesante de mejores niveles de desempeño en materia de calidad, costo, tiempo de respuesta, velocidad de ciclo, productividad, seguridad y flexibilidad entre otros (Ibarra y Ballesteros, 2017). Es la acumulación gradual de muchos pequeños mejoramientos hechos por todos los miembros de la empresa (Rivera, 2017), (Bonilla, Díaz y Noriega, 2010).

**Mapas de la Cadena de Valor (VSM):** son representaciones gráficas del flujo de información y de materiales, desde que se coloca la orden, pasando por los proveedores, hasta que el material llega a la empresa para ser transformado y finalmente se despacha el producto terminado a los clientes.

El objetivo principal de estos mapas es el de resaltar oportunidades de mejoramiento mostrando los puntos en los que se desperdicia tiempo a través de la existencia de inventarios en proceso y demoras innecesarias (Rivera, 2017).

**5S:** De la misma forma en que Kaizen aporta la disciplina del mejoramiento continuo, 5S es el fundamento de la cultura de manufactura esbelta. 5S viene de cinco palabras japonesas que han sido utilizadas para mostrar una evolución desde el orden y la limpieza del sitio de trabajo hasta la disciplina personal (Rivera, 2017).

**Trabajo estándar:** En procesos que buscan la mejora continua, es necesario generar y seguir procedimientos operativos estandarizados. Los estándares facilitan la incorporación del conocimiento individual en el acervo de la empresa, además de posibilitar el entrenamiento de nuevos trabajadores y los análisis de procesos para mejoramiento continuo (Ohno, 1991).

**Takt time:** La palabra *takt* viene del alemán *taktzeit* que significa ritmo, compás; hablando en términos para la ingeniería industrial es tiempo de ciclo, pero a diferencia del tiempo de ciclo que se conoce, este mide el ritmo de trabajo en una planta de manufactura (Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez y Escanamé, 2017).

## Descripción de la Metodología

### Etapas de Definición

El combo es la parte más importante del sistema de propulsión de una locomotora, formado por un juego de ruedas y un motor de tracción; hay dos productos diferenciados en la línea: EMD Combo y AC Combo. En el área de Ejes y Ruedas se realiza uno de los procesos de ensamble del combo que afecta su tiempo ciclo. En los últimos dos años, se había estado presentando un incremento en los tiempos de ensamble, motivo por el cual la empresa conformó un equipo de colaboradores externos, para atacar este problema y lograr reducir los tiempos de ensamble y así cumplir con la demanda del cliente.

La meta inicial fue identificar y reducir los desperdicios en todo el proceso de remanufactura de Ejes y Ruedas, para lograr incrementar la eficiencia al menos en un 5%.

La propuesta de acción fue aplicar herramientas de manufactura esbelta mediante una metodología que permitiera implementar de forma estructurada y organizada las mejoras definidas para alcanzar la meta propuesta en el proyecto.

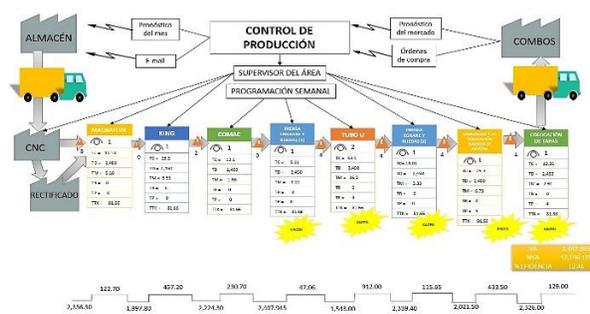
**Etapas de Medición**

**Mapa de la Cadena de Valor (VSM) actual y futuro**

El mapa de la cadena de valor muestra el esquema general del proceso; el del estado actual representa la situación inicial de la cadena de valor. En este mapeo se pueden observar los inventarios en proceso, el flujo de la información y de los materiales de cada operación relacionada con su capacidad, disponibilidad y eficiencia. Además, proporciona información sobre la demanda del cliente, la forma de procesar la información del cliente a la empresa y de la empresa a los proveedores, y la manera en que se suministra la información a los procesos.

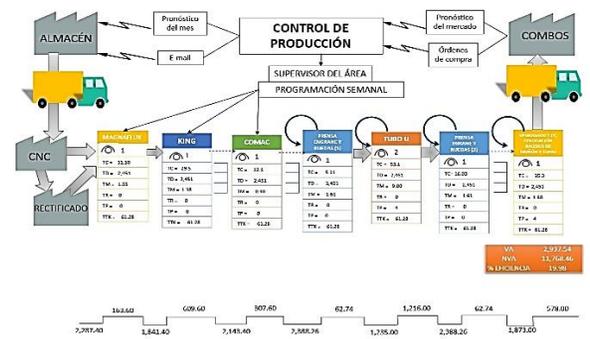
El mapa de la cadena de valor futuro, representa la mejor solución a corto plazo para la operación, tomando en cuenta las mejoras que se van a incorporar al sistema productivo. Es importante señalar que el mapa de la cadena de valor futuro representa parte del plan de acción para implementar herramientas que ayuden a mejorar las condiciones del proceso, basado en la identificación, eliminación y control de las actividades que no aportan valor al producto.

El primer paso para medir el proceso es realizar el VSM de los procesos en el área de estudio, donde se muestran todas las operaciones, así como el registro del tiempo ciclo de las estaciones, tiempo de valor agregado y tiempo de no valor agregado para cada proceso. Ver figura 1.



**Figura 1** VSM actual  
Fuente: Elaboración propia

Una vez elaborado el VSM actual, se diseñó el VSM futuro, tomando en cuenta las prioridades y metas para lograr la implementación de las mejoras, con los recursos y el tiempo disponibles para el proyecto. Ver figura 2.



**Figura 2** VSM futuro  
Fuente: Elaboración propia

El resumen de los tiempos de valor agregado (VA) y no valor agregado (NVA), como resultado del análisis de los VSM actual y futuro se muestran en la tabla 1. La eficiencia actual del proceso, medida con el mapeo de la cadena de valor, resultó en un 12.46%.

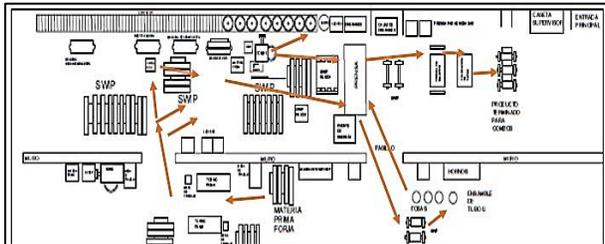
Mapeo	VA (Min)	NVA (Min)	Eficiencia
Actual	40.79	286.60	12.46
Futuro	48.959	196.141	19.98

**Tabla 1** Eficiencia del VSM actual y futuro  
Fuente: Elaboración propia

**Estudio de tiempos y movimientos**

El diagrama de espagueti es el registro de movimientos y tránsito de los operadores para conseguir los materiales y encontrar áreas de oportunidad en el transporte. Como se muestra en la figura 3, se dibuja el recorrido entre operaciones, con el propósito de obtener las distancias que recorren los operadores para efectuar su trabajo.

Con esta información, se determina la distancia antes de implementar nuevas mejoras relacionadas con los diferentes procesos. Esto contribuyó además a obtener el *takt time* de cada operación.



**Figura 3** Diagrama de espagueti  
Fuente: Elaboración propia

Mientras que *takt time* es el tiempo necesario para completar una pieza de acuerdo con la demanda del cliente, el tiempo ciclo es la suma de todas las actividades para completar una pieza. Es importante definir ambos para su comparación. La tabla 2 presenta el tiempo de ciclo por cada estación en el proceso.

Estación	Tiempo ciclo (min)
Magnaflux	11.10
King	29.50
Comac	12.10
Prensa 1	5.11
Tubo U	53.10
Prensa 2	16.03
Juego vertical	25.90
Colocación de tapas	12.10
<b>Tiempo ciclo total</b>	<b>164.94</b>
<b>Takt time</b>	<b>61.28</b>

**Tabla 2** Tiempo ciclo y takt time  
Fuente: Elaboración propia

### Hoja de combinación de trabajo estándar

La hoja de combinación de trabajo estándar se utiliza para obtener la máxima eficiencia operador-máquina, colocando aquellas operaciones que un operador debe ejecutar al inicio, durante y después de cada turno con sus tiempos y secuencia. Estas hojas fueron creadas para cada operador, e incluyen actividades de limpieza al inicio y al final de cada turno, como se muestra en la figura 4.

**Figura 4** Hoja de combinación de trabajo estándar de la operación de Magnaflux  
Fuente: Elaboración propia

### Etapas de Análisis

A través de los datos recabados en la etapa de medición, se identificaron las principales causas que originaron los desperdicios.

En la etapa de Análisis se establecen los factores determinantes para la implementación de las mejoras, así como las herramientas adecuadas para atacar cada problemática presentada. Un resumen de este análisis se presenta en la Tabla 3.

Análisis	Herramientas de manufactura esbelta	Desperdicio para eliminar
Herramientas no configuradas y organizadas	Configuración de herramientas (Shadow Boards)	Movimiento Espera
Estaciones de trabajo no definidas	5 S Lay out	Movimiento Transporte
No hay un flujo en el proceso	Flujo de una pieza	Transporte Espera Movimiento
El proceso no está estandarizado	Balanceo de la línea y trabajo estándar	Sobreproducción Movimiento Transporte Espera
Los materiales no llegan correctamente	Planeación de requerimiento de materiales	Movimiento

**Tabla 3** Análisis de los críticos X en el proceso  
Fuente: Elaboración propia

### Etapas de Mejora

La implementación de la mejora es la actividad más importante para un proyecto de manufactura esbelta.

En esta etapa se implementaron 11 *kaizen* (mejoras) en toda la línea, y que se reflejaron en los tiempos de ciclo y las distancias recorridas en el área de Ejes y Ruedas.

A continuación, se describen las mejoras que impactaron en los resultados obtenidos del proyecto.

**Detección de riesgo y 5 S**

Cuando se realizó el análisis de tiempos y movimientos, se detectaron riesgos ergonómicos en los procesos, que el equipo de trabajo valoró para diseñar algunos dispositivos que se ajustaran a la antropometría de los operadores, y que pudieran realizar un trabajo de manera segura. Además, se realizaron acciones de 5 S como clasificar, ordenar y limpiar el área de trabajo. Véase figura 5.



**Figura 5** Mejoras ergonómicas y 5S  
Fuente: Elaboración propia

En el área de desmontaje del tubo en U, los operadores sostienen varios componentes; uno de ellos es un tirador de carrera que tiene un peso de 22 kg. Se fabricó una mesa móvil donde se colocan los diferentes elementos requeridos en la operación, impactando en la reducción del tiempo ciclo y la distancia recorrida, y minimizando el riesgo ergonómico para el operador. En operación de montaje, los operarios deben transportar piezas para colocarlos en el pistón de la prensa y montar los cojinetes en cada extremo del eje del juego de ruedas. Cada rodamiento tiene un peso de 45 kg. Se diseñó un carro con la altura adecuada para descargar e instalar los cojinetes sin poner en riesgo al operador.

Esta mejora impactó en la reducción del tiempo ciclo y el riesgo ergonómico. La documentación del riesgo ergonómico fue aprobada por el área de Ergonomía, Higiene y Seguridad (EHS). La fabricación de los carros se realizó con materiales reciclados por lo que su costo fue mínimo; los ahorros estimados por EHS están basados en los costos que pagaría la empresa por enfermedades relacionadas con la carga excedida de los pesos, como se muestra en la tabla 4.

Riesgos Ergonómicos	Peso EHS (Kg)	Ahorros (Dólares)
Desensamble de Tubo U	32	\$47,738.0
Desensamble de carreras	22	\$54,753.3
Desensamble de ruedas	20	\$27,376.6
Montaje de cojinetes	45	\$77,852.3

**Tabla 4** Ahorros estimados en la eliminación de riesgos ergonómicos  
Fuente: elaboración propia

**Mejoras en la administración visual**

Un aspecto activo de la filosofía de la manufactura esbelta es la administración visual; el equipo del proyecto se dedicó a potenciarlo, realizando las mejoras que a continuación se describen y se muestran en la figura 6.

- Marcado y pintura de áreas, herramientas y accesorios para cada modelo de Combo.
- Marcado de contenedores de chatarra y letreos.
- Colocación de hojas de proceso en área de Ejes y Ruedas y área de Combo.
- Diseño de tablero de nivelación de demanda.
- Pizarra de actividades estandarizadas.



**Figura 6** Administración visual en área de Combos  
Fuente: Elaboración propia

## Etapa de Control

Luego de aplicar diversas herramientas de la manufactura esbelta, se continuó con la creación e implementación de controles para el seguimiento de acciones que aseguren y mantengan los resultados alcanzados.

La información obtenida fue registrada en el sistema de control de la empresa para la implementación de controles que ayuden aseguramiento de acciones para asegurar resultados en el tiempo.

El equipo desarrolló dos planes de control, uno para los controles *kaizen* y el otro para la administración visual. Ambos planes, se utilizan para el control de cajas de herramientas, niveles 5'S, mantenimiento de áreas, máquinas y la mejora continua para el área de Ejes y Ruedas y el área de Combos.

Dichos planes se elaboraron para lograr todos los requisitos de la aplicación combinada como lo son el nuevo *lay out*, hojas de seguridad y demás puntos de calidad y procesos.

## Resultados

### Impacto en el proceso

Con la implementación de todas las mejoras realizadas con la metodología de la Manufactura esbelta, se obtuvieron los siguientes resultados. Ver tabla 5.

Metas	Línea base %	Resultados %
1. Determinar el trabajo estándar	30	100
2. Definir el <i>takt time</i>	70	100
3. Definir el inventario estándar en proceso SWIP	40	100
4. Desarrollar el VSM actual y futuro	0	100
5. Definir el flujo de material	50	100
6. Mejorar la administración visual del área	20	100

**Tabla 5** Resultados finales que superan las metas iniciales

Fuente: *Elaboración propia*

## Impacto económico

El impacto económico del proyecto se midió en los siguientes indicadores:

- Ahorro del tiempo ciclo laboral de 23.03% (de 164.94 a 126.94 de ciclo), que representa 149,931 dólares en la remanufactura de modelos Combo.
- Ahorro de riesgo ergonómico 160,030 dólares, que son los posibles pagos por incapacidad médica calculados por la compañía.

## Agradecimiento

Se agradece a la empresa por las facilidades para implementar y concluir este proyecto.

## Conclusiones

El objetivo de este proyecto fue aumentar la productividad aplicando herramientas de manufactura esbelta con la metodología DMAIC. Al término de éste se logró una eficiencia de la línea de Ejes y Ruedas de 7.52%, por encima del 5% planeado. La metodología de trabajo de la manufactura esbelta se basa en el conocimiento y desempeño de las personas y el uso de indicadores. Son los equipos de trabajo los que al final resuelven los problemas. Por esta razón, es recomendable capacitar a los operadores de línea en los temas de trabajo estándar y la técnica de las 5S, con el fin de sensibilizarlos sobre la situación de los procesos y aprovechar así su conocimiento y experiencia en piso, ya que mantener y sostener los resultados dependerá de ellos en cierta forma.

## Referencias

Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg, F. y Noriega, M. T. (2010). Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas. Universidad de Lima, Fondo Editorial.

Felizzola, H. y Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 263-277. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>

Ibarra, V., y Ballesteros, L. (2017). *Manufactura Esbelta. Conciencia Tecnológica*, (53). Consultado en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=944/94453640004>

Jones D.T. y Womack. J.P. (2012). *Lean Thinking: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Grupo Planeta.

Ohno, T. (1991). *El sistema de producción Toyota: Más allá de la producción a gran escala*. 3a ed. Barcelona: Gestión 2000

Rivera, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implementación de Lean Manufacturing. *Heurística*, No. 15-2013, (15), 91-106.

Tapia, J., Escobedo, T., Barrón, E., Martínez, G. y Estebané, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Ciencia & trabajo*, 19(60), 171-178. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492017000300171>

Womack, J. P., Jones, D. T. y Roos, D. (1990), *The Machine that Changed the World*, Macmillan, New York, NY.

# Instrucciones para la Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

---

## [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)*

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 Operaciones Tecnológicas. Año 1-1: 1-11 (Times New Roman No. 10)

---

---

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

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

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

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

Enfocar claramente cada una de sus características

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

Explicación de las secciones del Artículo

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

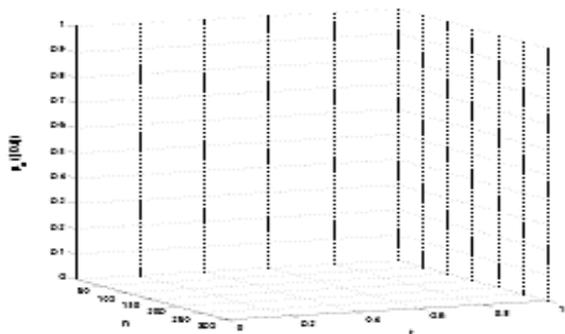
[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

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

## Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas-Editables

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

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



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.



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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.


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

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

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

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

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

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

## Metodología a desarrollar

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

## Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

## Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

## Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

## Conclusiones

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

## Referencias

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

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

## Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

## Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

## **Reserva a la Política Editorial**

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

## Copyright y Acceso

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

Título del Artículo:

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

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

### Responsabilidades del Editor

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

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

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

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

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

### Responsabilidades del Consejo Editorial

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

### Responsabilidades del Comité Arbitral

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

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

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

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

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

### **Responsabilidades de los Autores**

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

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

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

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

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

### **Servicios de Información**

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

RESEARCH GATE (Alemania)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citas-Google)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

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

HISPANA (Información y Orientación Bibliográfica-España)

#### **Servicios Editoriales**

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Artículo con PLAGSCAN

Evaluación de Artículo

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Artículo

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Traducción

Publicación de Obra

Certificado de Obra

Facturación por Servicio de Edición

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

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

**ECORFAN®**

**Editor en Jefe**

BARRERO-ROSALES, José Luis. 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® Taiwan), [sponsorships@ecorfan.org](mailto:sponsorships@ecorfan.org)

**Licencias del Sitio**

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

**Oficinas de Gestión**

69 Calle Distrito YongHe, Zhongxin. Taipei-Taiwán.

# Revista de Operaciones Tecnológicas

“Construcción de un sensor electroquímico para determinación de gases contaminantes en el aire (CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>), empleado una tarjeta Arduino”

**LOZANO-CAMARGO, María Luisa, RODRÍGUEZ-GÓMEZ, Cristian Hugo, GALICIA-LUIS, Laura y TALAVERA-ROMERO, Fernando**  
*Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México*  
*Universidad Autónoma Metropolitana*

“Perfil del sector de alta tecnología en México: Una aproximación a la realidad”

**VILLALOBOS-ALONZO, María de los Ángeles & ROMO-GONZÁLEZ, Ana Eugenia**  
*Universidad Tecnológica de Jalisco*

“Sistema de Aseguramiento de Calidad (SAC), basado en la metodología Six Sigma para reducir la variabilidad de tono en los procesos de inyección-soplo de plástico”

**SOTO-LEYVA, Yasmin, CARMONA VELÁZQUEZ, Araceli, LIEVANO-MORENO, Claudia Patricia y AHUACATITLA-PÉREZ, José Miguel**  
*Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango*  
*Universidad Xicotepetl*

“Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras”

**FÉLIX-JÁCQUEZ, Rosa Hilda, CRUZ-RENTERÍA, María Merced y DELGADO-CELIS, Ma. Dolores**  
*Instituto Tecnológico de San Luis Potosí*

