

ISSN 2523-0344

Volumen 2, Número 5 — Julio — Septiembre - 2018

Revista de Ingeniería Industrial

ECORFAN®

ECORFAN-Perú

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Revista de Ingeniería Industrial, Volumen 2, Número 5, de Julio a Septiembre 2018, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Perú. La Raza Av. 1047 No.- Santa Ana, Cusco-Perú. Postcode: 11500. WEB: www.ecorfan.org/republicofperu, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. ISSN 2523-0344. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre del 2018.

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

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

Revista de Ingeniería Industrial

Definición del Research Journal

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en el Área de Ingeniería y Tecnología, en las Subdisciplinas Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología.

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

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

Alcances, Cobertura y Audiencia

Revista de Ingeniería Industrial es un Research Journal editado por ECORFAN-México S.C en su Holding con repositorio en Perú, es una publicación científica arbitrada e indizada con periodicidad trimestral. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de la Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ingeniería y Tecnología. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

ROCHA - RANGEL, Enrique. PhD
Oak Ridge National Laboratory

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

GUZMÁN - ARENAS, Adolfo. PhD
Institute of Technology

CASTILLO - TÉLLEZ, Beatriz. PhD
University of La Rochelle

FERNANDEZ - ZAYAS, José Luis. PhD
University of Bristol

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

TELOXA - REYES, Julio. PhD
Advanced Technology Center

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

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

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

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

MEDELLIN - CASTILLO, Hugo Iván. PhD
Heriot-Watt University

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

VAZQUES - NOGUERA, José. PhD
Universidad Nacional de Asunción

VAZQUEZ - MARTINEZ, Ernesto. PhD
University of Alberta

AYALA - GARCÍA, Ivo Nefthalí. PhD
University of Southampton

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

MEJÍA - FIGUEROA, Andrés. PhD
Universidad de Sevilla

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

MARTINEZ - ALVARADO, Luis. PhD
Universidad Politécnica de Cataluña

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

ROBLEDO - VEGA, Isidro. PhD
University of South Florida

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

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

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

LÓPEZ - BONILLA, Oscar Roberto. PhD
State University of New York at Stony Brook

LÓPEZ - LÓPEZ, Aurelio. PhD
Syracuse University

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

PÉREZ - ROBLES, Juan Francisco. PhD
Instituto Tecnológico de Saltillo

SALINAS - ÁVILES, Oscar Hilario. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados -IPN

RODRÍGUEZ - AGUILAR, Rosa María. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

BAEZA - SERRATO, Roberto. PhD
Universidad de Guanajuato

MORILLÓN - GÁLVEZ, David. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

CASTILLO - TÉLLEZ, Margarita. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

SERRANO - ARRELLANO, Juan. PhD
Universidad de Guanajuato

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

ARROYO - DÍAZ, Salvador Antonio. PhD
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas

ENRÍQUEZ - ZÁRATE, Josué. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

HERNÁNDEZ - NAVA, Pablo. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica

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

CERCADO - QUEZADA, Bibiana. PhD
Intitut National Polytechnique Toulouse

QUETZALLI - AGUILAR, Virgen. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

DURÁN - MEDINA, Pino. PhD
Instituto Politécnico Nacional

PORTILLO - VÉLEZ, Rogelio de Jesús. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

ROMO - GONZALEZ, Ana Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

VASQUEZ - SANTACRUZ, J.A. PhD
Centro de Investigación y Estudios Avanzados

VALENZUELA - ZAPATA, Miguel Angel. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

SÁNCHEZ - HERRERA, Mauricio Alonso. PhD
Instituto Tecnológico de Tijuana

PALAFIX - MAESTRE, Luis Enrique. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

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

GONZALEZ - BERRELLEZA, Claudia Ibeth. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

REALYVÁSQUEZ - VARGAS, Arturo. PhD
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

MALDONADO - MACÍAS, Aidé Aracely. PhD
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

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

CASTRO - RODRÍGUEZ, Juan Ramón. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMIREZ - LEAL, Roberto. PhD
Centro de Investigación en Materiales Avanzados

VALDEZ - ACOSTA, Fevrier Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

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

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

TABOADA - GONZÁLEZ, Paul Adolfo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RODRÍGUEZ - MORALES, José Alberto. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

Comité Arbitral

ESCAMILLA - BOUCHÁN, Imelda. PhD
Instituto Politécnico Nacional

LUNA - SOTO, Carlos Vladimir. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

PEREZ - ORNELAS, Felicitas. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

CASTRO - ENCISO, Salvador Fernando. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

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

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

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

RUELAS - SANTOYO, Edgar Augusto. PhD
Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas

HERNÁNDEZ - GÓMEZ, Víctor Hugo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

OLVERA - MEJÍA, Yair Félix. PhD
Instituto Politécnico Nacional

CUAYA - SIMBRO, German. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

LOAEZA - VALERIO, Roberto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Uruapan

ALVAREZ - SÁNCHEZ, Ervin Jesús. PhD
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada

SALAZAR - PERALTA, Araceli. PhD
Universidad Autónoma del Estado de México

MORALES - CARBAJAL, Carlos. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RAMÍREZ - COUTIÑO, Víctor Ángel. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica

BAUTISTA - VARGAS, María Esther. PhD
Universidad Autónoma de Tamaulipas

GAXIOLA - PACHECO, Carelia Guadalupe. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GONZÁLEZ - JASSO, Eva. PhD
Instituto Politécnico Nacional

FLORES - RAMÍREZ, Oscar. PhD
Universidad Politécnica de Amozoc

ARROYO - FIGUEROA, Gabriela. PhD
Universidad de Guadalajara

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

GUTIÉRREZ - VILLEGAS, Juan Carlos. PhD
Centro de Tecnología Avanzada

HERRERA - ROMERO, José Vidal. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MARTINEZ - MENDEZ, Luis G. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

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

NÚÑEZ - GONZÁLEZ, Gerardo. PhD
Universidad Autónoma de Querétaro

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

CALDERÓN - PALOMARES, Luis Antonio. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

TREJO - MACOTELA, Francisco Rafael. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

TZILI - CRUZ, María Patricia. PhD
Universidad ETAC

DÍAZ - CASTELLANOS, Elizabeth Eugenia. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

ORANTES - JIMÉNEZ, Sandra Dinorah. PhD
Centro de Investigación en Computación

VERA - SERNA, Pedro. PhD
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

MARTÍNEZ - RAMÍRES, Selene Marisol. PhD
Universidad Autónoma Metropolitana

OLIVARES - CEJA, Jesús Manuel. PhD
Centro de Investigación en Computación

GALAVIZ - RODRÍGUEZ, José Víctor. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

JUAREZ - SANTIAGO, Brenda. PhD
Universidad Internacional Iberoamericana

ENCISO - CONTRERAS, Ernesto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

GUDIÑO - LAU, Jorge. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

MEJIAS - BRIZUELA, Nildia Yamileth. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

FERNÁNDEZ - GÓMEZ, Tomás. PhD
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

MENDOZA - DUARTE, Olivia. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

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

NAKASIMA - LÓPEZ, Mydory Oyuky. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

AYALA - FIGUEROA, Rafael. PhD
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

ARCEO - OLAGUE, José Guadalupe. PhD
Instituto Politécnico Nacional

HERNÁNDEZ - MORALES, Daniel Eduardo. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

AMARO - ORTEGA, Vidblain. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

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

CASTILLO - BARRÓN, Allen Alexander. PhD
Instituto Tecnológico de Morelia

CASTILLO - QUIÑONES, Javier Emmanuel. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

ROSALES - CISNEROS, Ricardo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México

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

CHÁVEZ - GUZMÁN, Carlos Alberto. PhD
Instituto Politécnico Nacional

MÉRIDA - RUBIO, Jován Oseas. PhD
Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital

INZUNZA - GONÁLEZ, Everardo. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

VILLATORO - Tello, Esaú. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

NAVARRO - ÁLVEREZ, Ernesto. PhD
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

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

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

RODRIGUEZ - ELIAS, Oscar Mario. PhD
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

ORTEGA - CORRAL, César. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

GARCÍA - GORROSTIETA, Jesús Miguel. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Cesión de Derechos

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

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

Declaración de Autoría

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

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

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

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

Detección de Plagio

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

Proceso de Arbitraje

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

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de Diseño de sistemas de producción, Gestión de calidad en los productos, Investigación de operaciones, Simulación informática, Cadenas de suministros, Certificación de calidad, Hidrometeorología y a otros temas vinculados a las Ingeniería y Tecnología.

Presentación del Contenido

Como primer artículo presentamos, *Consideraciones, Precauciones y Fallas en el Proceso de la Impresión 3D, Utilizando el Modelado por Deposición Fundida (FDM)*, por GUIZAR-GÓMEZ, Carlos Alberto, CAMACHO-ARRIAGA, Juan Cristóbal, CONEJO-MAGAÑA, Gilberto Daniel y BÁRCENA-CORTÉS, Abraham, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Morelia, como segundo artículo presentamos, *Mejoramiento en el proceso de decapado y electro-pulido de tubería inoxidable, un caso de estudio*, por REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio César, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, como tercer artículo presentamos, *Automatización y optimización en el proceso de marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio*, por REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, como cuarto artículo presentamos, *¿Cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing más utilizadas en las empresas petroquímicas de la Zona sur de Tamaulipas?*, por CASTILLO-FLORES, Angela Liliana, ARELLANO-BRIONES, Olimpia Danáe y FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Altamira & Universidad Tecnológica de Altamira.

Contenido

Artículo	Página
Consideraciones, Precauciones y Fallas en el Proceso de la Impresión 3D, Utilizando el Modelado por Deposición Fundida (FDM) GUIZAR-GÓMEZ, Carlos Alberto, CAMACHO-ARRIAGA, Juan Cristóbal, CONEJO-MAGAÑA, Gilberto Daniel y BÁRCENA-CORTÉS, Abraham <i>Instituto Tecnológico de Morelia</i>	1-7
Mejoramiento en el proceso de decapado y electro-pulido de tubería inoxidable, un caso de estudio REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio César <i>Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango</i>	8-16
Automatización y optimización en el proceso de marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús <i>Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango</i>	17-23
¿Cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing más utilizadas en las empresas petroquímicas de la Zona sur de Tamaulipas? CASTILLO-FLORES, Angela Liliana, ARELLANO-BRIONES, Olimpia Danée y FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo <i>Instituto Tecnológico de Altamira</i> <i>Universidad Tecnológica de Altamira</i>	24-30

Consideraciones, Precauciones y Fallas en el Proceso de la Impresión 3D, Utilizando el Modelado por Deposición Fundida (FDM)

Considerations, Precautions and Failures in the Process of 3D Printing, Using the Fused Deposition Modeling (FDM)

GUIZAR-GÓMEZ, Carlos Alberto†*, CAMACHO-ARRIAGA, Juan Cristóbal, CONEJO-MAGAÑA, Gilberto Daniel y BÁRCENA-CORTÉS, Abraham

Instituto Tecnológico de Morelia / Tecnológico Nacional de México

ID 1^{er} Autor: *Carlos Alberto, Guizar-Gómez* / **ORC ID:** 0000-0002-8725-0074, **CVU CONACYT ID:** 67742

ID 1^{er} Coautor: *Juan Cristóbal, Camacho-Arriaga* / **ORC ID:** 0000-0002-2766-2763, **CVU CONACYT ID:** 35496

ID 2^{do} Coautor: *Gilberto Daniel, Conejo-Magaña* / **ORC ID:** 0000-0002-0456-5610, **CVU CONACYT ID:** 412504

ID 3^{er} Coautor: *Abraham, Bárcena-Cortés* / **ORC ID:** 0000-0002-3706-5313

Recibido 25 de Julio, 2018; Aceptado 28 Septiembre, 2018

Resumen

Al utilizar las impresoras 3D es importante conocer su funcionamiento y sus capacidades, lo que permitirá al usuario sacarle el mayor provecho. Ardua tarea si tomamos en cuenta la cantidad de variables que intervienen en el proceso de impresión. Actualmente tienen más presencia en el mercado las de filamentos y los materiales más populares son los polímeros. Y es ahí donde está el interés de este trabajo, en la calidad o capacidades de impresión, en el proceso para llevar a cabo las mejores impresiones, minimizar los tiempos de preparación y de impresión, en el desperdicio de insumos, así como en las habilidades de los impresores. Este proyecto muestra algunas consideraciones, precauciones y fallas, que ocurren cuando se utiliza el modelado por deposición fundida (FDM por sus siglas en inglés), una tecnología que conocemos comúnmente como impresoras 3D de filamento fundido de polímeros. Se eligió este tipo de impresoras por ser hasta ahora las que tienen un costo de adquisición y de operación más bajo.

FDM, Impresión3D, Proceso

Abstract

When using 3D printers it is important to know their operation and their capabilities, which will allow the user to get the most out of it. Arduous task if we take into account the number of variables involved in the printing process. At the moment the filaments are more present in the market and the most popular materials are polymers. And that is where the interest of this work is, in the quality or printing capabilities, in the process to carry out the best impressions, minimize the preparation and printing times, in the waste of supplies, as well as in the skills of the printers. This project shows some considerations, precautions and failures, which occur when using fused deposition modeling (FDM), a technology commonly known as 3D filament polymer printers. This type of printers was chosen because they are the ones with the lowest acquisition and operating cost.

FDM, 3Dprinting, Process

Citación: GUIZAR-GÓMEZ, Carlos Alberto, CAMACHO-ARRIAGA, Juan Cristóbal, CONEJO-MAGAÑA, Gilberto Daniel y BÁRCENA-CORTÉS, Abraham. Consideraciones, Precauciones y Fallas en el Proceso de la Impresión 3D, Utilizando el Modelado por Deposición Fundida (FDM). Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-5:1-7.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (caguizar@yahoo.com)

Introducción

En la actualidad en las empresas del sector productivo, la manufactura aditiva está desplazando en muchos procesos de producción a la manufactura sustractiva. Siendo las impresoras 3D en sus muy diferentes tipos y capacidades quizás su principal herramienta o equipo para lograrlo, ya que cada día incorporan nuevas características como los materiales, el volumen de impresión, la resolución, entre otros. Todo ello con la única finalidad de disminuir costos, tiempos, riesgos y aumentar la capacidad y la calidad de la producción. (Sculpteo. 2017).

Desde el surgimiento de la impresión 3D, su confiabilidad y la calidad como sistema o proceso van en aumento, lo que a su vez ha resultado en muy diversas aplicaciones. Ya que mientras en la fabricación tradicional existen límites y/o restricciones ya validados, con la impresión 3D se tiene la libertad en formas, en figuras y en cantidad. Logrando incluso tener procesos de producción de partes funcionales en una sola etapa. Al mismo tiempo, los precios han bajado constantemente hasta el punto donde algunos sistemas son económicos para las instituciones educativas, para las pequeñas empresas o bien para un usuario particular. (Farris-LaBar, D. Swartz, R. Tabshi, S. 2017).

Por otra parte podemos mencionar la cada vez más amplia variedad de materiales que se pueden utilizar con las impresoras 3D. Conforme avanza su desarrollo, el mercado ofrece más opciones de material en diversas presentaciones físicas como son filamentos, polvos o líquidos. Sobresaliendo principalmente los Polímeros y los materiales compuestos y dejando en un pequeño porcentaje a los materiales naturales como las maderas, las arenas o arcillas y los metales. (Sculpteo. 2017).

Es en esta variedad de modelos de impresoras, de materiales y de capacidades en el volumen y la velocidad de impresión, donde radica la potencial necesidad de adquirir experiencia en su manejo y aprovechamiento. Todo lo anterior tiene como factor común al proceso de impresión, ya que es en éste mismo donde se logra conocer, comprender y aplicar de forma permanente elementos ineludibles para que dicho proceso sea exitoso, con cualquier tipo de impresora, de su material o de su volumen. (Farris-LaBar, D. Swartz, R. Tabshi, S. 2017).

En este artículo se hace mención de las diferentes etapas o pasos y algunas de las consideraciones, precauciones y fallas que se pueden presentar específicamente en las impresoras 3D, que utilizan el Modelado por Deposición Fundida (FDM) como caso de estudio. Debido a su bajo costo de adquisición y operación, así como de su popularidad. Características que las hacen ideales como puerta de entrada y de capacitación, a la nueva era de la manufactura.

Desarrollo

Generalmente el proceso de la impresión comienza con un modelo 3D creado utilizando un software de Diseño Asistido por Computadora (CAD por sus siglas en inglés), enseguida el archivo de dicho modelo se exporta para una aplicación de impresión (*.STL). El archivo resultante se importa en la aplicación de la impresora 3D, para definir los parámetros, las guías o trayectorias y el espesor de como soltar el material, al hacer cada capa de material, entre otros. Cuando lanzas la impresión y después de un tiempo donde todas las capas del objeto han sido creadas, el proceso es finalizado.

Cuando el objeto se imprime, es muy común que no se puede usar o entregar directamente hasta que se haya lijado, laqueado, rebajado, punteado, pintado o cualquier otra acción, que sirva para dejarlo terminado con el acabado previsto.

Sin embargo, durante las primeras semanas o meses la experiencia de imprimir en 3D, puede no ser la mejor y más gratificante. Ya que existen muchas consideraciones o precauciones que se deben tener y estas generalmente se aprenden o se comprenden sobre la marcha, ya que el usuario no tiene el conocimiento previo para asimilarlas, lo que provoca las múltiples fallas durante el proceso.

Proceso de impresión

En el desarrollo de cualquier proyecto se llevan a cabo tantas iteraciones o cambios como sean necesarios, desde el modelo inicial del producto que se propone hasta llegar al modelo que se quería o incluso superarlo y es este producto, el que se presenta como prototipo funcional o pieza de producción. A continuación, se muestra en la figura 1, las etapas o pasos que se siguieron en este proyecto, como proceso de impresión.

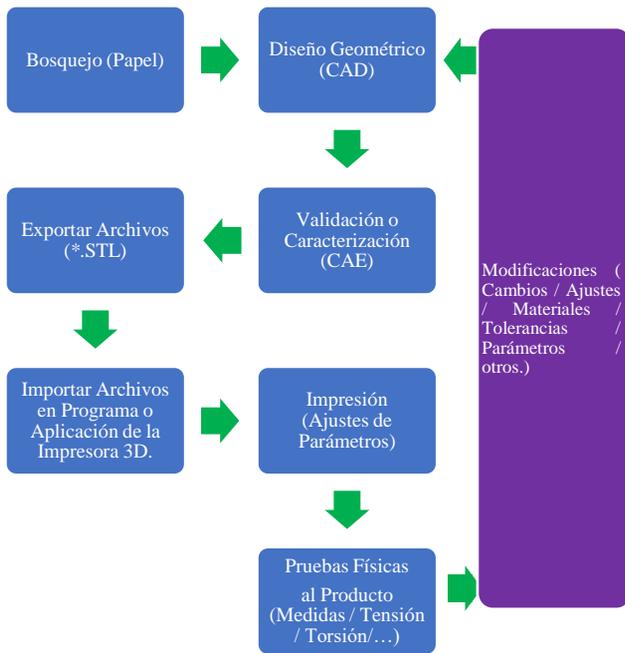


Figura 1 Proceso de impresión

Fuente: *Elaboración Propia*

En el primer paso, el bosquejo en papel nos permite darnos una idea de qué forma y dimensiones queremos que tenga la pieza.

En el segundo paso, se realiza el diseño geométrico con la ayuda de una computadora y un software o aplicación CAD, que nos permiten trazar con detalle y calidad el bosquejo y prepararlo para su validación.

En el tercer paso, se realizan todas las acciones, configuraciones y asignaciones específicas de los materiales y sus propiedades que deseamos utilizar y que el software CAE nos permite manipular. Toda esta selección, nos permitirá conocer con anticipación las propiedades o el comportamiento mecánico de cada elemento diseñado.

En el cuarto paso, una vez que terminamos cada una de las piezas en el software CAD/CAE, y ya está guardado el archivo fuente en nuestro equipo, procedemos a guardarlo con la extensión que nuestra impresora requiere como archivo fuente (convertirlo). El formato o extensión *.STL, que significa “estereolitografía”, es el más común de éstos.

En el quinto paso, el programa o la aplicación de la impresora 3D recibe el archivo *.STL y lo abre. Es en este momento que se debe generar el archivo del “objeto en capaz”, que puede ser (*.gcode, *.3w, entre otros).

Al realizar esto, se puede observar el objeto tal como será interpretado al momento de mandarlo para que sea impreso.

En el sexto paso, ya con el objeto “Supuestamente” listo para imprimir, es cuando se tienen que definir o asignar un muy amplio número de parámetros que lo configuran para lograr obtener las características físicas o propiedades mecánicas que realmente deseamos tener como usuarios del objeto impreso. Todo esto se realiza en la interfaz del programa de impresión que se esté utilizando con la impresora 3D. Enseguida se prepara o acondiciona físicamente la impresora (Cama de impresión, Condiciones ambientales del lugar donde se encuentra, Filamentos, Calentamiento, entre otros). Y claro una vez listos; Presionamos finalmente el botón “IMPRIMIR” y solo resta observar cómo se va(n) imprimiendo capa por capa nuestro(s) objeto(s).

En el Séptimo paso, felizmente ya tenemos nuestro objeto impreso. Ahora tenemos que proceder a detallarlo y dejarlo listo para utilizarlo. En este caso, serán utilizados como elementos para el ensamble de un vehículo. En otros casos pueden ser utilizados para realizarles pruebas mecánicas que ayuden a validar su utilidad o que ayuden a descubrir sus fallas.

En el Octavo paso *(solo en caso de ser necesario), se realizan todas las modificaciones al diseño, a las configuraciones o asignaciones específicas, a los parámetros de impresión, o cualquier otra que sea necesaria para lograr que realmente el objeto impreso cumpla con todo lo necesario para ser 100% funcional. Si este paso se ejecutó, implica que el proceso se volverá a realizar hasta que ya no sea necesario.

El presente trabajo descarta los primeros cuatro pasos y se centra en los pasos cinco al ocho, donde podremos apreciar una serie de Consideraciones, Precauciones y Fallas que han ocurrido durante nuestras experimentaciones y sin lugar a dudas, se deben considerar.

En el paso 5.- Se tienen que realizar varias acciones, primero se necesita un programa de control para la impresora. Existen diferentes opciones en el mercado de este tipo de programas; y generalmente cada fabricante de impresoras 3D ya incluye el programa que recomienda.

Una vez que se cuenta con un diseño 3D (archivo *.stl), se debe convertir a un archivo amigable con la máquina que la impresora pueda entender, llamado G-code o Código-G (archivo *.gcode). Para lograr esta conversión el software o aplicación de estratificación separará el diseño en muchas capas horizontales, las cuales pueden ser impresas una a la vez, proporcionando asimismo otra información complementaria tal como temperatura de la cama, temperatura de los extrusores, densidad de vaciado, entre otros. Esta parte del proceso, junto con el Programa de control (software de interfaz) y el firmware de la impresora, usualmente es referenciado como CAM (Manufactura Asistida por Computadora por sus siglas en inglés).

Todos estos archivos base de configuración para la impresora, están diseñados para ser usados en conjunto como si fueran una suite de programas. Cuando eres nuevo como impresor en 3D, se recomienda comenzar con las configuraciones base que el fabricante proporciona, pero una vez que tu conocimiento y experiencia crecen, puedes probar con otros programas de estratificación y comenzar a realizar tus propias configuraciones, acordes a cada objeto que se desea imprimir.

En el paso 6.- Se tiene que preparar la impresora, físicamente y hacer cosas como alimentar el material correcto (ABS o PLA), preparar la base sobre la cual se imprime, preparar las medidas operativas de la impresora (Temperatura de la cama, velocidad de impresión, entre otras propiedades) así como cuidar del proceso de impresión.

También se tiene que recrear la impresión virtual en el software de la computadora, asignando todos y cada uno de los parámetros que requiere nuestra pieza. Para ejemplificar lo anterior se muestra la Tabla 1, con una serie de propiedades (datos y/o parámetros) que se asignaron en el programa de la impresora para imprimir una pieza u objeto.

Nombre del archivo de pieza	brazo.gcode
Fecha de impresión	12/09/2016
Material de la impresión	Acrlonitrilo Butadieno Estireno (ABS)
Duración de la impresión	89 minutos
Resultado satisfactorio	No
Falla o defectos presentados	Se detecto deformacion en la punta del tubo La posible causa es el gradiente de temperatura que se tenia en el cuarto en este instante.

Capas y perímetros		
Altura de capas	0.3 mm	
Altura de la primera capa	0.25 mm	
Perímetros	2	
Capas solidas (superficial/fondo)	2 capas/3 capas	
Relleno		
Densidad	25%	
Patron de relleno	Rectilinear	
Combinacion de relleno por capa	cada capa	
Capas solidas cada	0	
Material de soporte		
Generar material	si	
Distancia de contacto	0.14mm en z	
Patron de soporte	Panal	
Velocidad		
Velocidad de perimetro	52 mm/s	
	Perimetro pequeño	65%
	Perimetro externo	70%
Relleno	72 mm/s	
	Relleno solido	65%
	Relleno solido superior	60%
Material de soporte	80 mm/s	
	Interfaz del material de soporte	50%
Velocidad de la primera capa	50%	
Extrusor usado		
No. De extrusor	5	
Diametro de extrusor	0.5 mm	
Temperaturas de extrusión		
Temperatura de la cama	115 °C	
Temperatura del extrusor	235 °C	
Filamento		
Diametro de filamento	1.7245 mm	

Tabla 1 Parámetros de impresión

Fuente: *Elaboración Propia*

Además debemos tener en cuenta otras consideraciones, como el cuidar de la orientación de la pieza. Esto es, el sentido del material que se va tendiendo o de “las fibras” que forman la impresión, ya que ésta consideración tiene gran importancia en la resistencia mecánica de las piezas y puede ser determinante en la vida útil de éstas. Por otra parte, el cómo debe ubicarse la pieza o las piezas en la cama de impresión, nos permite definir si se utilizará o no material de soporte y cuanto.

Consideración que puede aumentar el tiempo de impresión y encarecerla, debido al uso excesivo de material. La figura 2, muestra un ejemplo de todo lo anterior.

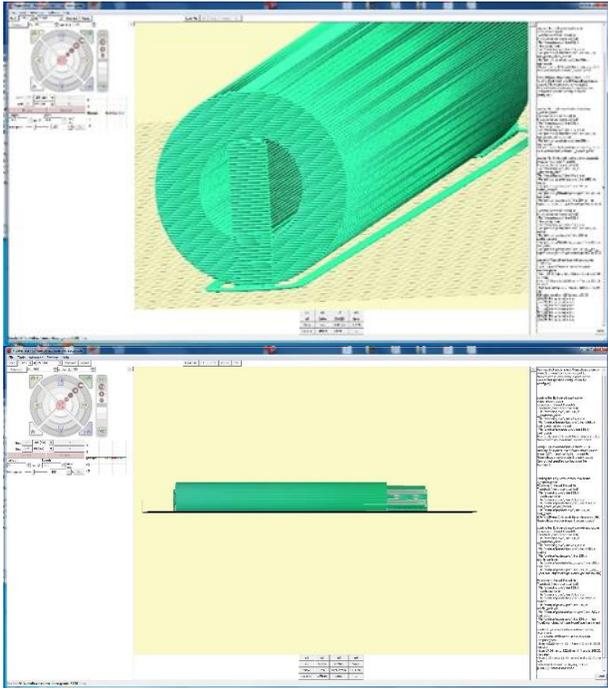


Figura 2 Software Pronterface® con la pieza
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede ver, esta pieza fue impresa en sentido horizontal, con material de relleno a todo lo largo del centro del tubo que esta hueco. La temperatura ambiental estuvo alrededor de 20°C y la temperatura del material recién extruido es aproximada a 220°C. En la figura 3 y en la figura 4, se muestran dos vistas de la pieza recién impresa y sin ningún detallado.



Figura 3 Vista lateral del brazo
Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 4 Vista frontal del brazo
Fuente: *Elaboración Propia*

En este paso es conveniente tener las siguientes consideraciones:

- En caso de tener una impresora abierta (sin paredes o puerta), cuidar que no le caiga suciedad que pueda interferir con la impresión o la calidad de ésta.
- No acercarse o tocar el o los extrusores calientes.
- En caso de tener una impresora abierta (sin paredes o puerta), ubicarla en un lugar donde no se generen corrientes de aire.
- Si se cancela la impresión, retirar todo el material y acondicionar la cama nuevamente, para repetir el proceso.
- Al terminar correctamente la impresión será mucho más fácil de remover el objeto, una vez que la temperatura de la cama de impresión haya regresado a temperatura ambiente. Se debe de despegar el objeto sosteniéndolo cuidadosamente y haciendo palanca suavemente con un movimiento de lado a lado. Si esto no funciona, una hoja de afeitar plana o una espátula muy delgada, se pueden utilizar para hacer palanca suavemente alrededor de los bordes de la pieza hasta que ésta se desprege (precaución: es conveniente usar guantes protectores para hacerlo).

Además en este paso es conveniente tener las siguientes precauciones:

- Asegurarse que el material este depositándose con el espesor adecuado.
- Comprobar que la cama tenga la nivelación adecuada.
- Observar que el o los extrusor(es) no se sobrecaliente(n).
- Vigilar la extrusión o deposición de las capas, sobre todo si son objetos o piezas pequeñas.
- Asegurarse de que la vibración de la cama no afecte las piezas.
- Observar el efecto de pandeo (warping) y si es muy severo, detener la impresión.

- Corroborar que el filamento se está alimentando de manera correcta a la maquina.

En el paso 7.- Ya se cuenta con los objetos impresos que deberían poder utilizarse directamente en el vehículo o maquinaria para la cual fueron diseñados.

Sin embargo, en la realidad casi nunca es así. Las piezas deben pasar por un proceso de revisión visual, de retirar el material de soporte, de validar o corroborar las medidas y el peso. Y en casos específicos cuando sea necesario, realizarle pruebas de sus propiedades mecánicas:

- Esfuerzo cortante,
- Flexión,
- Tensión,
- Torsión y
- Tenacidad (impacto).

Lo anterior de acuerdo a la función que desempeñara el objeto o pieza. Finalmente, se le debe aplicar el tratamiento o acabado definitivo (Lijado, Pulido, Sellado, Pintado, Barnizado, entre otros). Durante este proyecto se adopto un proceso específico para realizar dicho acabado en las piezas, el cual ha dado muy buenos resultados independientemente del tamaño, forma o material empleado. El cual se describe a continuación.

- Tomar la pieza y con una lija de grado fino (puede ser de grado 1000), lijarla para que quede una superficie más uniforme, pero sin desgastar demasiado la pieza.
- Utilizar un frasco o contenedor de cristal preferentemente o en su caso de plástico grueso pero lo más transparente posible, que tenga una tapa hermética y que sea mucho más grande que la pieza a la cual se le quiere dar el baño.
- Tomar papel toalla de cocina y bañarlo con acetona, enseguida colocaremos este papel en el interior del frasco o contenedor junto a las paredes.
- Colocar la pieza en el frasco o contenedor sin tocar las paredes con el papel mojado, puesto que la acetona puede deshacerla.

- Cerrar el frasco o contenedor y dependiendo de la pieza será el tiempo que se debe de esperar. Por ejemplo, una pieza pequeña de 2.5 x 2.5 centímetros, requiere al menos 12 minutos, estando al pendiente y revisando la pieza cada 3 minutos, ya que el tiempo depende de muchos factores como la temperatura, la calidad de la acetona, entre otros.
- Pasado el tiempo y considerando visualmente que la pieza tiene ya un buen acabado, abrir con mucho cuidado el contenedor, retirar los papeles con la ayuda de guantes, pinzas o cualquier otra herramienta afín, y dejar el frasco o contenedor abierto con la pieza adentro para que ésta seque y solidifique sus paredes externas, al menos durante 5 minutos y finalmente sacarla con tranquilidad.

En el paso 8 (Opcional).- Como se mencionó anteriormente, si se llega a este paso es porque se detectaron fallas o características que no cumplen con las esperadas en una pieza u objeto impreso en cualquier paso previo. O bien, en las características y/o propiedades originalmente asignadas al objeto impreso. Enseguida se identifica la etapa desde la cual se debe modificar dicho objeto y se vuelven a ejecutar nuevamente las etapas restantes. Repitiendo el proceso las veces que sea necesario, hasta que se logren o se superen los resultados esperados, en todas y cada una de las piezas u objetos.

Conclusiones

El uso de las impresoras 3D de filamento, son sin lugar a dudas hasta hoy la opción más económica de impresión, tanto en el equipo como en los insumos. Sin embargo como se pudo observar, la resolución, la precisión o las tolerancias resultantes en las piezas impresas, dejan regularmente mucho que desear y muestran claramente que hay una gran área de oportunidad en el futuro para entregarlos con mejor calidad.

Como se puede apreciar, estos equipos y esta tecnología tienen la capacidad para manufacturar o imprimir prototipos incluso con geometrías complejas, en un lapso relativamente corto de tiempo, en comparación con la manufactura sustractiva tradicional.

La experiencia y las habilidades que tenga la persona que hace el trabajo de impresión, son fundamentales en este proceso. Logrando muchas de las veces hacer que las piezas resultantes, tengan una gran calidad aún a costa del diseñador y de las características de la pieza diseñada.

El acabado final de cada pieza debe corresponder al uso que ésta tendrá. Si es para una máquina o herramienta, no se debe poner mucho empeño en esta actividad. Sin embargo, si es una pieza de adorno, exhibición o algo similar, si requiere esmero y dedicación. Con el proceso propuesto para dicho acabado, se elimina esta distinción y todas, absolutamente todas las piezas, terminan con un acabado de gran calidad. Y lo que es mejor, a un costo muy económico.

Referencias

- Bárceñas Toribio, J. A., Duarte Moller, J. A., Ramírez Baltazar, J. C., & Orozco Gamboa, G. (2017). Prototipado 3D en celdas de combustible tipo PEM utilizando ABS y recubrimiento conductor eléctrico. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3-9: 46-51.
- Conejo Magaña, G. D., Guizar Gómez, C. A., Lara Hernández, R., & Ponciano Guzmán, J. N. (2017). Reingeniería en el diseño de productos. *Revista de Ingeniería Innovativa*. 1-1: 37-52.
- Díaz Marín, M., & Aura Castro, E. (2016). RESTAURACIÓN DE VIDRIO ARQUEOLÓGICO: RECONSTRUCCIÓN DE FRAGMENTOS FALTANTES MEDIANTE MODELADO E IMPRESIÓN 3D. *8th International congress on archaeology, computer graphics, cultural heritage and innovation*. Editorial Universitat Politècnica de València. 330-332.
- Farris-LaBar, D. Swartz, R. & Tabshi, S. (2017). *Diseño e impresión 3D en color*. Febrero 10, 2018, de Stratasys Sitio web: <http://www.stratasys.com/resources/search/white-papers/3d-printing-now-and-beyond>
- Horvath, S., 2015, 3D Printing with Matter Control, *Springer Science+Business Media*, First Edition, New York – USA.
- Kun, K. (2016). Reconstruction and Development of a 3D Printer Using FDM Technology. *Procedia Engineering*. Vol. 149, pp. 203 – 211.
- Macas Montaña, C. C., & Pilco Llerena, K. J. (2016). Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba*.
- Mejía Flores, H. (2016). Ventajas y Desventajas de las Impresoras 3D. *Revista Tecnológica, La Paz*, vol. 12, num. 18.
- Molina Osejo, J. V. (2016). Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes. 196 hojas. Quito: EPN.
- O'Dowd, P., Hoskins, S., Walters, P., & Geisow, A. (2015). Modulated Extrusion for Textured 3D Printing, *NIP & Digital Fabrication Conference*, pp. 173–178.
- Rodríguez, R., Hernandez, A., & Rainer, C. (2015). Impresión 3D de repuesto de quilla para propulsor eléctrico de embarcaciones. *Instituto de Ciencias y Tecnologías e Innovación*.
- Sculpteo. (2017). *¿Que es la Fabricación aditiva?*. Marzo 06, 2018, Sitio web: <https://www.sculpteo.com/es/servicios/fabricacion-aditiva/>
- Thrimurthulu, K., Pandey, P. M. & Venkata Reddy, N. (2004). Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling. *International Journal Mach. Tools Manufacture*, vol. 44, no. 6, pp. 585–594.

Mejoramiento en el proceso de decapado y electro-pulido de tubería inoxidable, un caso de estudio

Improvement in the process of pickling and electro-polishing of stainless pipe, a case study

REYES-LEÓN, Iván†*, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio César

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Av. Tecnológico No. 80 Col. 5 de Octubre, Huauchinango, Puebla, México

ID 1^{er} Autor: *Iván, Reyes-León* / ORC ID: 0000-0003-1294-0772, Researcher ID Thomson: ID: H-8715-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 903594

ID 1^{er} Coautor: *Gregorio, Castillo-Quiroz* / ORC ID: 0000-0002-1904-4172, Researcher ID Thomson: H-9402-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-785, CVU CONACYT ID: 162009

ID 2^{do} Coautor: *Elisa, Gonzaga-Licona* / ORC ID: 0000-0001-5745-6330, Researcher ID Thomson: I-1192-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 904035

ID 3^{er} Coautor: *Julio César, Martínez-Hernández* / ORC ID: 0000-0001-9528-156X, Researcher ID Thomson: I-3507-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 904537

Recibido 22 de Junio, 2018; Aceptado 28 Septiembre, 2018

Resumen

En este artículo se explica y detalla el diseño de un sistema para la mejora de los procesos de decapado y electro-pulido para la tubería de acero inoxidable, se determinó el proceso de manufactura e integración del sistema. El presente caso de estudio explica el diseño de un dispositivo de calentamiento para líquidos agresivos, así como la realización de una celda de electro-pulido para optimizar el proceso. El objetivo es solucionar las dos problemáticas principales detectadas en dichos procesos, la primera es, la necesidad de calentar las soluciones ácidas utilizadas y que debido al alto grado de corrosión de estas mismas se vuelve imposible utilizar métodos de calentamiento convencionales, la segunda es, definir relaciones de voltaje/amperaje para los distintos volúmenes y tipos de material de las piezas a electro-pulir. Esta metodología consta en obtener las diferentes propiedades y características fundamentales en los procesos antes mencionados como son: tipo de solución, pH, tipo de material, volumen de material, voltaje, amperaje y tiempo necesario para cada proceso. Al identificar estas características se contribuyó a realizar de forma industrial y estandarizada el proceso de decapado y electro-pulido para tubería.

Electro-Pulido, Proceso, Diseño

Abstract

In this article it explains and details the design of a system for the improvement of the processes of stripping and electro-polished for the pipeline of stainless steel, there decided the process of manufacture and integration of the system. The present case of study explains the design of a device of warming for aggressive liquids, as well as the accomplishment of a cell of electro-polished to optimize the process. The aim is to solve both principal problematic ones detected in the above mentioned processes, the first one is, the need to warm the acid used solutions and that due to the high corrosion index of these themselves becomes impossible to use conventional methods of warming, the second one is, to define relations of voltage / amperage for the different volumes and types of material of the pieces to electro-pulir. This methodology consists in obtaining the different properties and fundamental characteristics in the processes before mentioned like are: type of solution, pH, and type of material, volume of material, voltage, amperage and time necessary for every process. On having identified these characteristics one helped to realize of industrial and standardized form the process of stripping and electro-polished for pipeline.

Electro-Polishing, Process, Design

Citación: REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio César. Mejoramiento en el proceso de decapado y electro-pulido de tubería inoxidable, un caso de estudio. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-5:8-16.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (ingivanreyes_tec@hotmail.es)

Introducción

Hoy en día la demanda dentro de las diferentes industrias tanto médicas como alimentarias, exigen a los fabricantes de diferentes conexiones y maquinarias productos de mayor calidad, en este caso se exige tubería de acero inoxidable con un acabado final óptimo para el uso alimentario, por dicho motivo se implementará el uso de electro-pulido para lograr un mejor acabado final, obteniendo un producto de grado alimenticio óptimo, ya que el electro-pulido proporciona superficies lisas, de fácil limpieza y estéticamente agradables, exigidas por esta industria, además de su ventaja higiénica y de no tener contaminación.

El electro-pulido, es ampliamente utilizado en la metalografía, por ejemplo. Aceros inoxidables, aleaciones de cobre, aleaciones de aluminio, magnesio, zirconio y otros metales que son difíciles de pulir por métodos mecánicos convencionales. El pulido electrolítico puede eliminar completamente todos los restos de metal trabajado que queda de la molienda mecánica y operaciones de pulido.

Mediante el electro-pulido se pueden obtener acabados a espejo sobre superficies metálicas; este proceso es el inverso de la electrodeposición. Debido a que no hay contacto mecánico con la pieza de trabajo, el proceso es apropiado en particular para pulir formas irregulares. El electrolito ataca proyecciones y picos sobre la superficie de la pieza a una velocidad más alta que el resto de la superficie, produciendo una superficie lisa. El electropulido también se utiliza en operaciones de rebabeo (Kalpakjian, 2008).

El procedimiento de electro-pulido, se puede emplear con buenos resultados para una amplia paleta de metales y aleaciones metálicas, y en este punto es ampliamente inofensivo en cuanto a seguridad en el trabajo y protección del medio ambiente. El proceso tiene como resultado una superficie limpia e intacta. Por estos motivos, el electro-pulido se ha convertido en un tratamiento habitual para este acero, en las industrias donde los requisitos de resistencia a la corrosión y limpieza son especialmente elevados. Las aplicaciones típicas se encuentran en la industria farmacéutica, bioquímica y alimentaria.

Dado que el electro-pulido no implica un impacto mecánico, térmico o químico, se pueden someter a los mismos elementos pequeños y mecánicamente frágiles.

En este caso de estudio cuenta con diferentes problemas en los procesos de decapado y electro-pulido, los cuales son la falta de un sistema de calentamiento para las soluciones y la falta de un método de operación para el proceso de electro-pulido, en los cuales se debe expresar la relación voltaje/corriente para las distintas piezas a electro-pulir, en los que se deben considerar también el tipo de material del cual están fabricadas.

En el acero inoxidable, la eliminación de los componentes de la aleación varía según los mismos, y esto crea un efecto importante. Los átomos de hierro y níquel se extraen más fácilmente de la celda del cristal que los átomos de cromo. El proceso de electro-pulido se dirige preferentemente al hierro y al níquel, dejando una superficie rica en cromo.

La elaboración de una celda de electropulido utilizando los parámetros adecuados en conformidad con la norma (ASTM E 1558-93, 2017), brindará un producto final con la calidad que el mercado demanda, esto beneficiará a la empresa de forma monetaria, ya que se agregara un nuevo producto que tiene cada vez más demanda en la industria. Este acabado reduce la oxidación y la contaminación de los componentes de acero inoxidable usados en cocinas, industria láctea y de procesos automatizados para la producción alimentaria.

Gracias al electro-pulido se consigue una superficie perfectamente limpia, lo que ofrece una resistencia máxima a la formación de bacterias y depósitos de residuos.

Metodología

Diagnóstico del proceso de electro-pulido

Para que el sistema de electro-pulido funcione adecuadamente y se obtengan óptimos resultados en el proceso, el diseño es la parte más importante, ya que mediante simulaciones podemos hacer uso de todas las variables que se involucran y que sirven de referencia para dimensionar y seleccionar los materiales necesarios, que permitan el ensamble del sistema.

Los aspectos más importantes en el diseño del tanque para electro-pulido son la distribución de densidad de corriente en el electrolito y los electrodos; ya que una densidad de corriente no uniforme puede afectar en la operación de los procesos electroquímicos. En la mayoría de los casos, la porción de un electrolito sujeto a una densidad alta de corriente se degrada a una velocidad mayor. Al contrario, la porción del electrolito que está sujeto a corrientes bajas se usa ineficientemente, resultando en un pulido pobre. Además, un mal diseño causa sobre voltaje, lo cual resulta en pérdidas enormes de energía en los procesos. Las variables que influyen en los resultados del electropulido son las siguientes:

- Área superficial a ser pulida.
- Orientación de la muestra en el baño.
- Orientación del cátodo en el baño.
- Selección del material del cátodo.
- La relación del área superficial cátodo-ánodo.
- Distancia entre ánodo y cátodo.
- La profundidad de la muestra debajo de la superficie de la solución.
- Composición de la muestra, incluyendo impurezas.
- Envejecimiento del baño electrolítico y cambios de composición.
- Temperatura del baño.

A continuación, se muestra una representación general de una celda para electropulido, donde se observan los elementos que intervienen en el proceso como se aprecia en la figura 1.

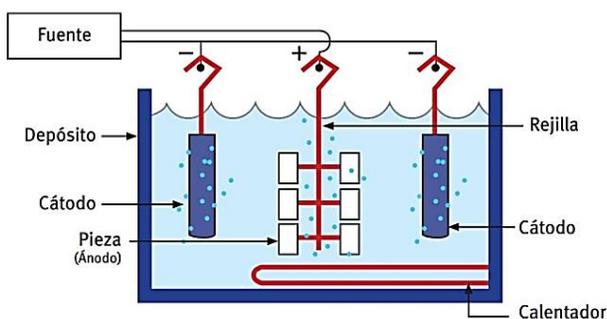


Figura 1 Representación del proceso de electro-pulido
Fuente: <http://blog.iminox.org.mx/?q=node/336>

Áreas de oportunidad en el proceso de electro-pulido

El proceso de electro-pulido actual realizado en la planta 2 de la empresa se lleva a cabo de forma empírica, ya que los voltajes y amperajes utilizados en el proceso se aplican de forma aproximada debido al mal estado de los medidores con los que cuenta la fuente de corriente directa utilizada.

A continuación se presenta una imagen del tanque de electropulido mostrado en la figura 2, con el cual se cuenta actualmente dentro de la empresa, este tanque tiene varias deficiencias como lo son: la falta de una base sólida para el mismo, así como la falta de soportes laterales los cuales ayudan a que este no se deforme debido al peso de la solución utilizada.



Figura 2 Tanque de electro-pulido a mejorar
Fuente: *Elaboración Propia*

La fuente de CD es la encargada de suministrar la energía necesaria para llevar a cabo la electrolisis en el tanque de electropulido, logrando así realizar el abrillantado deseado, dicha fuente de CD nos provee de un voltaje y amperaje que van desde los 0-15V y 0-2000A, así mismo se observó los fallos que presenta esta fuente los cuales son: mal estado en los medidores de voltaje y amperaje, mal estado en las perillas de los potenciómetros. Durante el proceso de electropulido realizado, se obtuvieron resultados aceptables en cuanto al acabado exterior. Pero, se observó un fallo en el proceso, el cual consiste en que las piezas no son electro-pulidas interiormente, ya que solo aproximadamente 2 cm del extremo hacia el centro de la pieza es electro-pulido, ver figura 3.



Figura 3 Fallo en el electro-pulido interno de las piezas
Fuente: *Elaboración Propia*

Dimensionamiento de las piezas a electropulir

Las dimensiones de las piezas a electro-pulir son fundamentales en el diseño de la celda, ya que el tamaño del sistema depende de estas. La norma (ASTM E 1558-93, 2017), recomienda que para obtener un resultado óptimo al momento de electro-pulir los tipos de acero inoxidable, el tamaño del área de cada pieza que estará en contacto con el electrolito sea de 1 dm^2 en un rango de corriente entre 5 a 25 Amp. Teniendo forma circular, cuadrada o cualquier otra que proporcione un área equivalente aproximada al valor especificado anteriormente. En cuanto al espesor, la pieza deberá tener la medida suficiente para poder ser manipulada sin ningún problema durante el proceso de pulido mecánico preliminar.

El diseño consiste en un método de fijación o montaje para las piezas a electro-pulir, que cumpla las siguientes necesidades:

1. Que garantice el mejor contacto eléctrico.
2. La conducción de la corriente sea uniforme y óptima.

Selección de la fuente de C.D

La elección de la fuente de CD es asunto de economía, funcionalidad, precisión, seguridad y del tamaño de la instalación. El voltaje de operación en el tanque, dependerá de las siguientes condiciones:

- La distancia desde el cátodo a las piezas.
- La densidad de corriente sobre las piezas que se electro-pulirán.
- La densidad de corriente del cátodo.
- La temperatura de operación.

- La agitación del electrolito.

Analizando la información anterior, se especificaron las características técnicas de la fuente que se utilizará.

- Voltaje de salida de 0 -15V.
- Corriente de salida 0-2000A.
- Voltaje de entrada 220V.
- Frecuencia 60 Hz.
- Fase: Trifásica.

Diseño del tanque para electro-pulido

Un factor sumamente importante en cualquier proceso electroquímico es el tamaño del sistema, ya que los cambios en el tamaño pueden afectar considerablemente las condiciones de operación del proceso. Es por eso que el principal requerimiento de un tanque para electro-pulido, es que mantenga la solución utilizada sin fugas y sin contaminación.

Las dimensiones de fabricación del tanque se determinaron por el tamaño de las piezas así como la cantidad de las mismas que se deseen tratar simultáneamente, o en su caso será limitada por la capacidad de corriente que proporcione la fuente de CD.

Se tomó en cuenta que el tanque se construyó de manera que pueda contener el volumen de solución deseado, más espacio libre, el cual se delimitara desde el nivel de la solución hasta el nivel superior del tanque, ver figura 4.

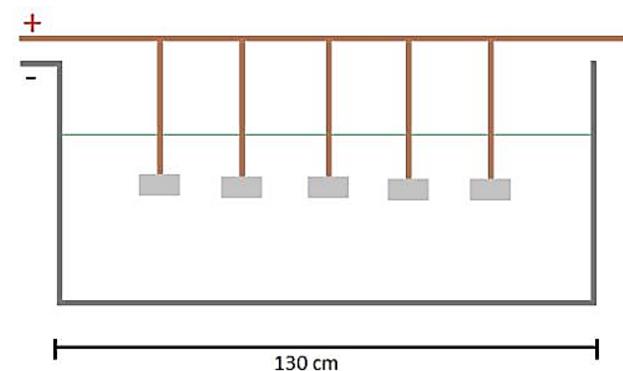


Figura 4 Longitud del tanque para electro-pulido
Fuente: *Elaboración Propia*

Como ya se planteó anteriormente, la selección del material con el cual se construirá el tanque debe ser químicamente resistente a las soluciones utilizadas para electropulir.

Dependiendo de la cantidad máxima de piezas, el tamaño del equipo puede variar desde un recipiente de vidrio de laboratorio, a tanques de acero inoxidable. Los materiales más comunes para la construcción de tanques son los siguientes:

- Acero inoxidable.
- Acero de bajo carbono recubierto.
- Vidrio.

En este caso se seleccionó el acero inoxidable tipo 304 en láminas de 1.6mm de espesor, que puede ser utilizado además, como cátodo, ya que presentan las características de mejor resistencia a la corrosión que los otros materiales planteados anteriormente, tienen una alta resistencia a la fluencia y pueden ser soldados, además de que es un tipo de acero que es manejado comúnmente en la planta.

Los soportes para piezas son fundamentales en la mejora del proceso ya que estas, no solo soportaran las piezas sino que también se hará circular la solución electropulidora a través de ellas, es por eso que se experimentó con distintos materiales para comprobar su resistencia a la corrosión ocasionada por la solución, después de estas pruebas se eligió como material para su construcción el teflón, se diseñaran para realizar pruebas con piezas de tubería de 1 ½", ver figura 5.

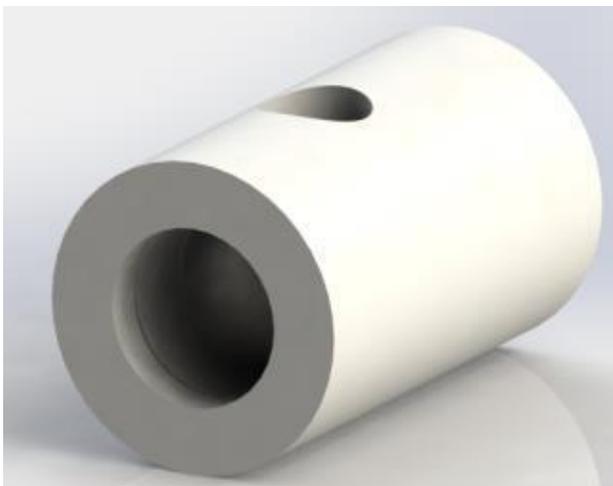


Figura 5 Diseño soporte para piezas
Fuente: Elaboración Propia

Otra parte fundamental para la mejora del proceso de electropulido fue determinar un tipo de bomba para líquidos agresivos como son los ácidos, para este caso se seleccionó una bomba centrífuga de 1 HP con impulsor de acero inoxidable T-304 el cual es altamente resistente a la solución que se utilizara para electro-pulir, ver figura 6.

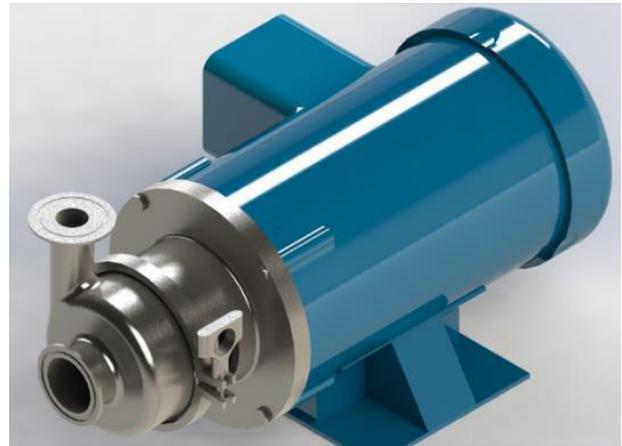


Figura 6 Diseño de bomba para ácidos
Fuente: Elaboración Propia

Se elaboró un nuevo tanque para este proceso debido a que la cantidad de solución que se utilizará, será menor a la del proceso actual, se seleccionó de nuevo lámina de acero inoxidable T-304 calibre 12 para la construcción de este depósito, dicho tanque será provisto de 3 tomas y/o salidas de ¾", en los cuales se conectarán los diferentes dispositivos, de los cuales se compondrá el proceso, ver figura 7.



Figura 7 Diseño del tanque para la solución
Fuente: Elaboración Propia

La barra conductora que se utilizará en esta mejora del proceso será de menor diámetro y longitud a la del proceso actual, tomando en cuenta el tipo de piezas que se electro-puliran se determinó que se utilizara una barra de cobre de 3/8" de diámetro por 50cm de largo, ver figura 8.



Figura 8 Diseño de la barra conductora
Fuente: Elaboración Propia

Para el proceso actual se diseñó una base rígida la cual soportará el peso del tanque de la solución así como los accesorios que se utilizarán para realizar la mejora del proceso de electro-pulido, para la construcción de esta base se utilizará ángulo de 1¼" con 1/8" de espesor, ver figura 9.



Figura 9 Diseño de base
Fuente: Elaboración Propia

Una vez seleccionados todos los elementos que se utilizarán en la mejora del proceso se realizó un modelado en solidworks. Un diseño óptimo en la mejora de las piezas del proceso, logrando así, obtener el siguiente modelo, ver figura 10.

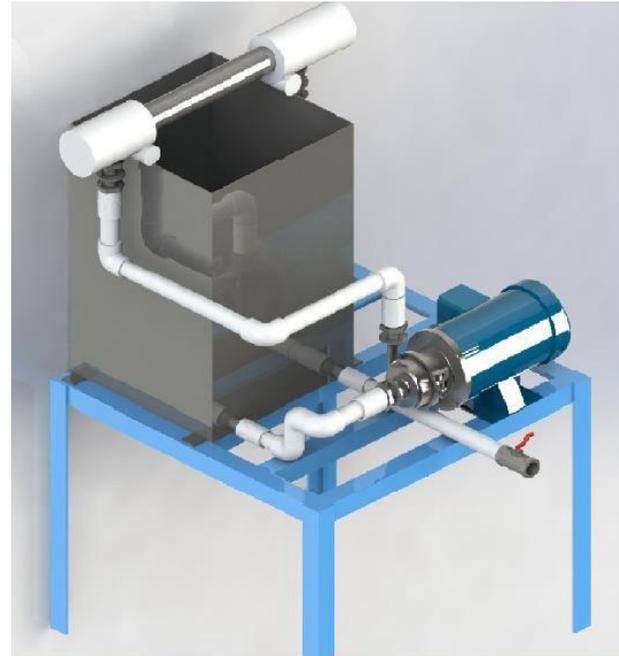


Figura 10 Modelo del sistema
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Para la realización de las pruebas de electro-pulido se especificó en el ensamble de la celda, la preparación de las probetas y la elaboración de los electrolitos, para poder establecer el procedimiento experimental que se debe ejecutar, logrando determinar las mejores condiciones de operación, con el fin de obtener los resultados y su respectivo análisis esperado.

Debido a que el proceso está constituido por una serie de elementos que no son fijos, esta se tiene que ensamblar en el momento que se va a realizar algún procedimiento de electro-pulido a un material; se estableció una guía donde se describe el proceso de ensamble, como sigue:

1. Sujetar el tanque a la base para evitar que este se mueva al momento de realizar las pruebas.
2. Ensamblar los elementos que soportan a la barra conductora:
 - Introducir la barra de cobre conductora en los aislamientos de teflón haciendo coincidir los orificios roscados.
 - Alinear los orificios roscados de los aislamientos de teflón en las bases soldadas al tanque de electropulido.
 - Verificar que exista continuidad en la barra conductora para garantizar el funcionamiento del circuito.

3. Montar los soportes para piezas en la barra conductora.
4. Colocar los cables conductores en las conexiones del tanque positivo y negativo.

Para la conexión del tanque a la fuente de CD se presenta el siguiente esquema, ver figura 11:

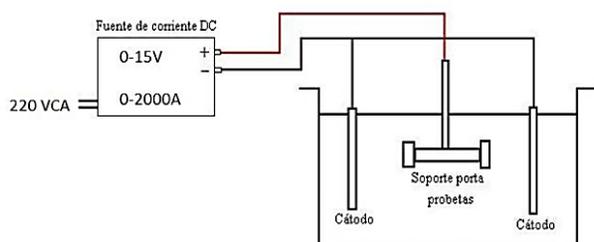


Figura 11 Conexión del tanque a la fuente de CD
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se mencionó anteriormente en el proceso de electro-pulido se determinó un fallo, donde las piezas mostraban un desperfecto en el acabado interior, ya que solo se logró electro-pulir alrededor de 2 cm del extremo de la pieza al centro de la misma. Una vez realizado el modelo en solidworks se obtuvieron las medidas de cada pieza y conexión que se utilizará para el montaje del sistema, de manera que se reducen las pérdidas de material al momento de la manufactura del sistema, tomado en cuenta los modelos de cada una de las piezas del sistema se realizó la manufactura y programa de mantenimiento, ver anexo 1, logrando el siguiente resultado, ver figura 12:



Figura 12 Manufactura del sistema
Fuente: *Elaboración Propia*

Con base al proceso actualizado y mejorado, se realizó la selección del electrolito que nos permitan obtener los mejores resultados según la norma (ASTM E 1558-93, 2017), existe una serie de electrolitos que pueden ser utilizados en el electro-pulido y sus respectivos usos. En la tabla 1 son presentados los componentes químicos en el orden de mezclado. Este orden ha sido establecido para prevenir posibles reacciones peligrosas en la elaboración de los electrolitos y sus condiciones de operación de acuerdo a los materiales.

Material	Fórmula del electrolito	Densidad de corriente (A/cm ²)	Voltaje (V)	T °C	Tiempo (min)
Acero Inoxidable 304	-Agua destilada 140ml. -Etanol 750ml -Ácido perclórico 50ml.	0.3-1,3	8-20	27	1
Aluminio 6061	-Agua destilada 200ml. -Etanol 380ml. -Ácido fosfórico 400ml.	0.15-0.35	27-30	30-40	4-6
Cobre 110	-Agua destilada 350ml. -Ácido fosfórico 700ml.	0.06-0.1	1.2-2.0	27	15-30

Tabla 1 Soluciones de electro-pulido
Fuente: *Elaboración Propia*

El proceso anterior cumplía con la función de pulir piezas de tubería de forma adecuada en cuanto a acabado exterior, pero mostraba el desperfecto en el acabado interior, el cual se solucionó con la mejora de este proceso, ya que este sistema está diseñado para atacar directamente la cara interna de cada pieza logrando así electropulir ambos lados de las piezas deseadas, ver figura 13.



Figura 13 a) Proceso anterior b) Proceso actual
Fuente: *Elaboración Propia*

Para que el electropulido se acepte como una herramienta adecuada en el proceso para analizar materiales, debe cumplir con las normas de procedimiento respectivas.

Anexo 1 Programa de mantenimiento

Periodo	Actividad
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener libre de polvo, humedad, u otro elemento extraño a la celda, especialmente los electrolitos y la fuente de energía. - Mantener libre de sustancias corrosivas los ánodos, cátodos, barras conductoras, y elementos que así lo requieran. - Limpieza de las barras conductoras.
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que no exista evaporación de las soluciones electropulidoras. - Verificar que los elementos componentes de la celda se encuentren libre de óxido y corrosión.
Trimestral	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar la válvula de drenaje, a fin de evitar fugas por la misma. - Verificar la buena sujeción de los ganchos en los cátodos. - Verificar la carga de las baterías del pHmetro y cronómetro.
Anual	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar inspecciones de las sustancias electrolíticas (por medio del control o medición pH) - Limpieza de la fuente de corriente (DC)

Tabla 2 Programa de mantenimiento

Fuente: *Elaboración Propia*

Agradecimiento

Al Instituto Tecnológico Superior de Huachinango y a la Academia de Ingeniería Mecatrónica por el apoyo, disponibilidad y confianza depositada para llevar a cabo este proyecto.

Conclusiones

El desarrollo del electropulido como un método de acabado de superficies, posee ventajas técnicas como es la reducción en las operaciones manuales para pulir probetas, especialmente cuando se trata de aceros inoxidables, los cuales son materiales difíciles de pulir mecánicamente.

Se estableció la importancia que juega cada uno de los elementos que forman parte del tanque, en la obtención de un adecuado proceso de electro-pulido, con el fin de obtener piezas con un acabado óptimo para su comercialización.

Queda demostrado que la construcción de la celda electrolítica es factible técnica y económicamente desde el punto de vista de los costos y los materiales que se establecieron en el proceso de diseño.

Aunque existen muchos factores que afectan los resultados del pulido y ataque electrolítico, solamente se consideran tres de ellas, las cuales pueden ser controladas directamente, como lo son la distancia entre ánodo-cátodo, el voltaje aplicado a la celda y tiempo de duración del proceso y dependen del tipo de electrolito.

Se determinó el proceso constructivo de cada uno de los elementos que conforma la celda electrolítica, así mismo se observó que los materiales de construcción que se utilizaron son compatibles con los diferentes electrolitos que se elaboraron y que soportaron las condiciones de operación a las cuales fueron sometidos.

Con la implementación industrial y estandarizada del proceso de electropulido para la tubería de acero inoxidable, tuvo un impacto favorable en la reducción de los tiempos de operación, disminución de costos de producción y mejora en las condiciones de trabajo del personal encargado de este proceso.

Se contribuyó con el desarrollo tecnológico de la empresa, utilizando un sistema mecánico de electro-pulido, sustituyendo así el proceso tradicional y complejo. De acuerdo con los beneficios de la implementación del sistema se redujeron los costos de producción en un 20% así como los tiempos de operación los cuales se redujeron en un 30%, demostrando que la mejora en el proceso de decapado y electro-pulido para la tubería de acero inoxidable fue viable tanto técnica como económicamente.

Referencias

ASM Handbook, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volumen 9, Metallography and Microstructure, Printed in the United States of America, 1995, pagina 53-74.

Graham-Pinkerton, Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos, Traducción de la Segunda Edición en Inglés, Compañía Editorial Continental S. A. México-España, Primera Edición en Español, 1967.

Norma ASTM E 1558-93, Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens. Consultado el 10 de marzo del 2017.

Norma ASTM E 407-93, Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, Consultado el 13 de marzo del 2017.

Norma ASTM E 3-95, *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*, Consultado el 14 de marzo del 2017.

Kalpakjian Serope (2008), *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México. Editorial Pearson Education.

Automatización y optimización en el proceso de marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio

Automation and optimization in the process of marking of stainless pipe, a case study

REYES-LEÓN, Iván†*, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Av. Tecnológico No. 80 Col. 5 de Octubre, Huauchinango, Puebla, México

ID 1^{er} Autor: *Iván, Reyes-León* / ORC ID: 0000-0003-1294-0772, Researcher ID Thomson: ID: H-8715-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 903594

ID 1^{er} Coautor: *Gregorio, Castillo-Quiroz* / ORC ID: 0000-0002-1904-4172, Researcher ID Thomson: H-9402-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-785, CVU CONACYT ID: 162009

ID 2^{do} Coautor: *Elisa, Gonzaga-Licona* / ORC ID: 0000-0001-5745-6330, Researcher ID Thomson: I-1192-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 904035

ID 3^{er} Coautor: *Edgar Jesús, Cruz-Solís* / ORC ID: 0000-0003-4083-0888, Researcher ID Thomson: I-4334-2018, arXiv Author ID: 0000-0002-7970-7855, CVU CONACYT ID: 904718

Recibido 20 de Junio, 2018; Aceptado 20 Septiembre, 2018

Resumen

La presente investigación muestra el diseño, manufactura e integración de un sistema automatizado para marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio, con el fin de reducir tiempos y mejora en la optimización del proceso. La propuesta de diseño de dicho sistema de automatización se conforma por medio de un proceso de control eléctrico, neumático y electrónico. Donde su primera función detectará la pieza a rotular, la colocará en un riel de rodillos, permitiendo que un gripper de expansión la sujete, deslizándola por debajo del cabezal de la impresora; el gripper está montado sobre un brazo conducido con un moto-reductor por medio de poleas y cable de acero, se colocó otro tren de rodillos de salida, permitiendo a un pistón neumático levantarlo, y colocarlos en la mesa para su posterior empaque. Este sistema automatizado será una herramienta útil para la reducción de tiempos en el proceso de marcado, viéndose reflejado inmediatamente en el aumento de producción, llevando a cabo el análisis por medio de un software de simulación, que permitirá observar la mejora continua, dando paso a encontrar su punto de optimización del proceso.

Diseño, Tubería, Proceso

Abstract

The present investigation shows the design, manufacture and integration of a system automated for marked with stainless pipeline, a case of study, in order to reduce times and improvement in the optimization of the process. The offer of design of the above-mentioned system of automation conforms by means of a process of electrical, pneumatic and electronic control. Where his first function will detect the piece to labelling, he will place it in a rail of rollers, allowing to a gripper of expansion to hold her, sliding it below the compress of the printer; the gripper is mounted on an arm led with a moto-reductor by means of pulleys and cable of steel, there was placed another train of rollers of exit, allowing to a pneumatic piston to raise it to place them in the table for his later packing. This automated system will be a useful tool for the reduction of times in the process of marked, meeting reflected immediately in the increase of production, carried out the analysis for a software of simulation, that allows to observe the constant improvement, giving I happen to find his point of optimization of the process.

Design, Pipe, Process

Citación: REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGA-LICONA, Elisa y CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús. Automatización y optimización en el proceso de marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-5: 17-23.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (ingivanreyes_tec@hotmail.es)

Introducción

Actualmente existe un interés en el desarrollo de automatización a bajo costo, buscando aumentar la producción de cualquier tipo de industria, en este caso específico se habla de una empresa cien por ciento mexicana, fundada en el año 1966, iniciándose en el ramo de la fabricación de Tubo, Conexiones y Bombas en Acero Inoxidable bajo las normas dictadas por la ASTM (por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials) y en diferentes aleaciones de Acero Inoxidable, donde la función principal del sistema es el marcado de la tubería, según las especificaciones de la norma para cada tipo de tubería a marcar.

El tener una herramienta con un sistema de control automático de marcado de tubería inoxidable representara un mayor beneficio si se tiene la metodología ideal, para reducción de tiempo productivo, y garantizar un proceso continuo en el proceso de marcado de tubería, el cual contiene especificaciones como nombre de la empresa, tipo de tubería y calibre (Norma ASTM E 1558-93).

Lo más importante y por todo lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de realizar aplicaciones reales para la automatización de los procesos, en este caso en específico, el marcado de tubería inoxidable, para mejorar los procedimientos existentes con la mayor reducción de tiempo posible. El sistema automatizado resulta ser una forma viable, confiable y de gran ventaja para la empresa, se aplican nuevas tecnologías y se aumenta la productividad, resulta ideal para mantenimientos requeridos al rediseñar el área del nuevo sistema, además de contar con un manejo factible por medio de control analógico.

El control analógico es aquel en el que las variables a controlar y las que se procesan en el sistema se presentan de forma continua, de modo que las relaciones que aparecen entre las señales de entrada y salida son ecuaciones y funciones continuas. Este artículo presenta el diseño e integración de un sistema automatizado para inserción, marcado y extracción continua de tubería. Ya que este mismo proceso de marcado de tubería inoxidable es realizado mediante una impresora de tinta que es operada manualmente por un operador y dos ayudantes.

La razón principal, denota la necesidad de implementar un proceso o metodología automatizada que optimice el marcado de tubería inoxidable de manera más sencilla, eficiente y rápida.

Metodología

Diagnóstico general del proceso de marcado

El proceso de marcado en la tubería de acero inoxidable es muy importante, ya que las normas así lo exigen, se identifica la necesidad de realizar la automatización y mejoramiento del proceso de marcado, con el fin de reducir tiempo y aumento de la producción antes mencionada.

Este proceso se realizó por medio de un control eléctrico, el cual, en su primera función detectará la pieza a rotular, la colocará en un riel de rodillos, donde un gripper de expansión lo sujetará y lo deslizará por debajo del cabezal de la impresora, el gripper está montado sobre un brazo conducido, con un carro, donde un motorreductor por medio de poleas y cable de acero, se colocará en otro tren de rodillos de salida, y un pistón neumático los levantara para colocarlos en la mesa para su posterior empaque.

Áreas de oportunidad en el proceso de marcado

En la figura 1 se muestra el diagrama del proceso de marcado de la tubería de acero inoxidable actual.

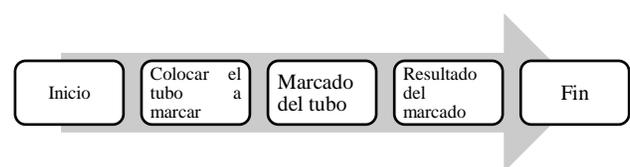


Figura 1 Diagrama del proceso actual

Fuente: Elaboración Propia

En base al proceso antes mencionado se detectaron los siguientes puntos importantes:

- El operador necesita de dos auxiliares para realizar el marcado.
- Tiempo muerto en carga y descarga de la tubería.
- El proceso es manual y empírico.
- En algunos casos se desconoce el proceso.

El personal de planta son los encargados de limpiar el tubo a marcar, colocarlo sobre los rodillos de deslizamiento, considerando que el peso es distinto de cada tubo de acuerdo al número de cédula, sin embargo tienen que auxiliar al operador para deslizar el tubo y colocarlo en la mesa, como se observa en la figura 2, posteriormente rotularlo como se aprecia en la figura 3 y posteriorme empaquetarlo.



Figura 2 Preparación de la tubería a rotular
 Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 3 Mesa de tubería en espera a ser rotulada
 Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño del sistema control

El control utilizado para el desarrollo del proyecto es un control analógico, utilizando variador de velocidad, timer relay, contactor, switch de carga, distribuidor de energía, relay de protección, panel de control, protectores suplementarios, transformador de 440V/240V AC, fuente regulada, microswitch y sensores de proximidad, mostrado en el diagrama de la figura 4.

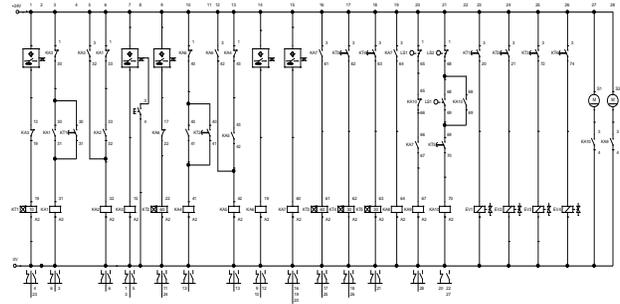


Figura 4 Diagrama de control
 Fuente: *Elaboración Propia*

Diseño de la estructura

A través del software SolidWorks se realizaron los siguientes diseños de estructuras y elementos para el sistema:

- Mesa de inserción y extracción de tubería.
- Mesa de rodillos para el deslizamiento del tubo.
- Rodillos.
- Bases de rodillos.
- Brazos de inserción y extracción.
- Brazo para cilindros neumáticos.
- Carro del brazo para cilindros.
- Riel de guía para carro porta brazo.

Mesa donde se colocará tubería de acero inoxidable en el que se muestra en la figura 5, la mesa en la que se retirará la tubería de acero inoxidable y se aprecia en la figura 6.



Figura 5 Estructura de colocación de tubería
 Fuente: *Elaboración Propia*



Figura 6 Estructura de retiro de tubería
 Fuente: *Elaboración Propia*

Rodillo para un mejor desplazamiento y menor carga de la tubería de acero inoxidable, se observa en la figura 7.

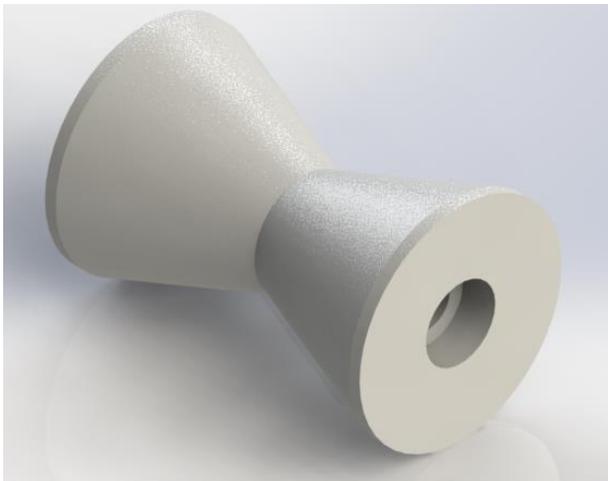


Figura 7 Rodillo de deslizamiento
 Fuente: *Elaboración Propia*

El carro del brazo para cilindros, es el que permite el desplazamiento de brazo a lo largo de la mesa de rodillos, ver figura 8.



Figura 8 Carro del brazo para cilindros
 Fuente: *Elaboración Propia*

El riel, es el que guía el desplazamiento del brazo, ver figura 9; por medio de un carro mostrado en la figura 8.



Figura 9 Riel de guía
 Fuente: *Elaboración Propia*

En la figura 10, se observa la guía de carro y brazo terminado.



Figura 10 Guía de carro con brazo
 Fuente: *Elaboración Propia*

Una manufactura es un producto industrial, es decir, es la transformación de la materia prima en un producto totalmente terminado. A continuación, se puede observar en la figura 11 la visualización 3D de la estructura del sistema de marcado.

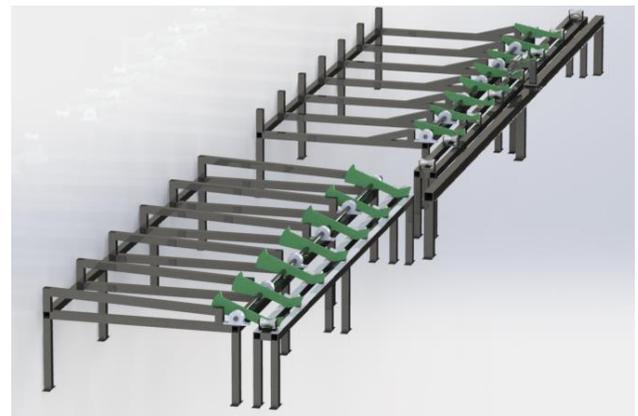


Figura 11 Estructura del sistema de marcado de tubería
 Fuente: *Elaboración Propia*

El sistema de operación automático mostrado en la figura 11 tiene las siguientes funciones:

- Realizado por una mesa de inserción de tubo por medio de brazos que lo colocaran en posición en los rodillos de desplazamiento.
- Un brazo de pistones neumáticos se colocará por dentro del tubo para expandir un gripper, que se encuentra en un carro, que se acciona por un moto-reductor ayudado de poleas y cable de acero.
- Desplazar el tubo por en medio de los rodillos y el cabezal de la impresora.
- Al finalizar el recorrido, unos brazos mecánicos extraerán el tubo, colocandolo sobre una mesa para su posterior empaquetamiento.
- Su primera función detectará la pieza a rotular, la colocará en un riel de rodillos, donde un gripper de expansión lo sujetará y lo deslizará por debajo del cabezal de la impresora, el gripper está montado sobre un brazo mecánico conducido con un carro, donde un moto-reductor que acciona poleas y cables de acero lo colocará en otro tren de rodillos de salida y, un pistón neumático los levantará para colocarlos en la mesa para su posterior empaque.

El diagrama de bloques de la figura 12 propone el proceso automatizado, evidentemente con la estructura del sistema de marcado mostrado en la figura 11, que permitirá minimizar el tiempo de operación, utilizando únicamente un solo operador para esta acción.



Figura 12 Diagrama de bloques
Fuente: Elaboración Propia

Resultados

La tabla 1 muestra información del sistema actual y propuesto, en relación al tiempo promedio de cada proceso. Cabe mencionar que, para el proceso actual, los datos expresados se obtuvieron en una muestra de 40 tomas, utilizando el formato que se puede apreciar en el anexo 1 (NIEBEL & Freivalds, Duodécima ed.). Los datos para el proceso propuesto son derivados a corde al sistema automatizado.

Sistema	Proceso	Tiempo (Seg) \bar{x}
Actual: Sistema de operación manual	Inicio	5
	Colocar el tubo a marcar	35
	Marcado del tubo con las especificaciones de la norma	55
	Resultado del marcado	45
	Inspección de marcado	15
	Total	155
Propuesta: Sistema de operación automático.	Inicio	3
	Colocar el tubo a marcar	7
	Marcado del tubo con las especificaciones de la norma	25
	Resultado del marcado	15
	Inspección de marcado	8
	Total	58

Tabla 1 Tabla comparativa de tiempos
Fuente: Elaboración Propia

A continuación en la figura 13 se presenta el modelo realizado en el Software *Rockwell ARENA*, el cual representa el proceso propuesto del sistema de operación automatizado.

Según (Aldo Fábregas, 2007), menciona que *ARENA* es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo.

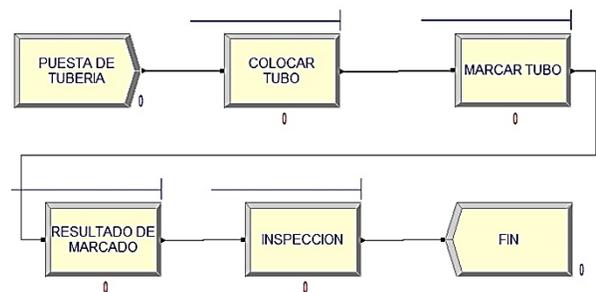


Figura 13 Modelo de simulación
Fuente: Elaboración Propia

Para este modelo de simulación se utilizaron los datos en base al sistema propuesto de la tabla 1, en el que se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Porcentaje de utilización: Menciona la utilización máxima a corde a cada proceso de operación (Tabla 2) (Gráfico 1).

Proceso de marcado	% Utilización
Colocar	100
Marcar	99
Resultado	55
Inspección	27

Tabla 2 Porcentaje de utilización
Fuente: *Elaboración Propia*

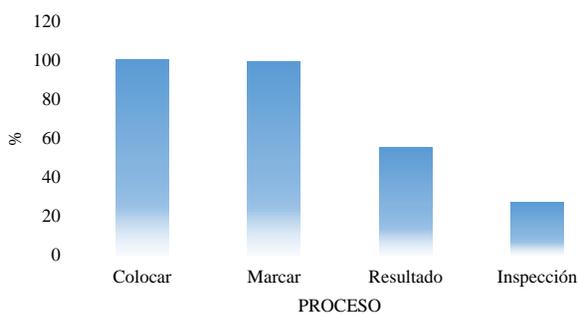


Gráfico 1 Porcentaje de utilización en cada proceso
Fuente: *Elaboración Propia*

2. Tiempo total de utilización: Especifica el tiempo utilizado total de cada proceso; es decir; que en una hora, cuanto tiempo tardó en realizar el proceso, ver tabla 3 y gráfico 2.

Proceso	Tiempo de Utilización (seg)
Colocar	512
Marcar	144
Resultado	143
Inspección	144

Tabla 3 Tiempo de utilización
Fuente: *Elaboración Propia*

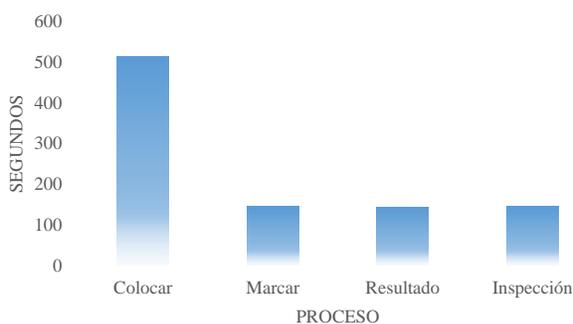


Gráfico 2 Tiempo de utilización en cada proceso
Fuente: *Elaboración Propia*

Es importante resaltar, que nuestra simulación obtuvo un resultado de 143 tubos de acero inoxidable que serán procesados, y únicamente ejecutado con la ayuda de un operador. Lo anterior se obtuvo mediante la ejecución del modelo de simulación en un tiempo de una hora, con 40 réplicas realizadas en el software anteriormente mencionado.

No obstante, el proceso con el que actualmente se cuenta, procesa hasta un máximo de 59 tubos de acero inoxidable, implementado manualmente con tres operadores, efectuado en un tiempo de una hora. Bajo la necesidad que el proceso actual se ejecuta de manera manual, poner en funcionamiento el sistema automatizado nos brindará los siguientes beneficios:

- Se asegurará una mejora en la calidad del producto bajo la Norma (ASTM E 1558-93).
- Se optimizarán los tiempos como se aprecia en la tabla 1, incrementando de manera directa la producción en relación al sistema actual, tal y como se observa en el gráfico 3 que compara el proceso actual y propuesto en relación al número de tubos de acero inoxidable procesados.
- Se obtendrá una reducción sustancial de costos, puesto que se justifica el trabajo con la utilización de un solo operador y aumento de producción.
- Flexibilidad para adaptarse a diferentes dimensiones, es decir, este sistema tendrá la capacidad de ajustarse en relación al diámetro de la tubería.

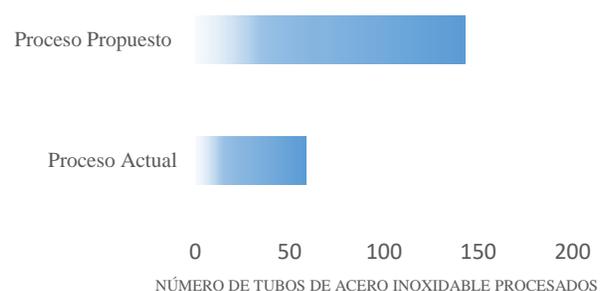


Gráfico 3 Número de tubos procesados
Fuente: *Elaboración Propia*

¿Cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing más utilizadas en las empresas petroquímicas de la Zona sur de Tamaulipas?

What are the most used Lean Manufacturing tools in the petrochemical companies of the South Zone of Tamaulipas?

CASTILLO-FLORES, Angela Liliana†, ARELLANO-BRIONES, Olimpia Danáe y FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo

Tecnologico Nacional de México/I.T. de Altamira – Universidad Tecnológica de Altamira

ID 1^{er} Autor: *Ángela Liliana, Castillo-Flores*

ID 1^{er} Coautor: *Olimpia Danáe, Arellano-Briones*

ID 2^{do} Coautor: *Luis Guillermo, Fernández-García*

Recibido 25 de Junio, 2018; Aceptado 28 Septiembre, 2018

Resumen

Lean Manufacturing surge en el sistema de producción Toyota, por muchos autores esta filosofía tiene como objetivo reducir los desperdicios, estas herramientas tienen el enfoque de la identificación y eliminación de desperdicios y la creación de valor. La fuerza de este sistema de producción se encuentra en determinarlo como un sistema de dirección adaptado a la era de mercados globales. En la filosofía lean, el "valor" es definido desde la perspectiva del cliente en términos de costo, producto, funciones, etc. La importancia del valor del cliente se muestra por los dos niveles del enfoque lean: estratégico y Operacional (Hines, Holweg, & Rich, 2004). El objetivo principal de este trabajo es determinar cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing aplicadas en el nivel operativo de las empresas industriales de la zona sur del estado de Tamaulipas establecidas en el corredor industrial de Altamira. Esta investigación es del tipo exploratorio ya que hasta el momento no hay registros de estos datos. Este artículo concluye que menos del 70 % de las empresas encuestadas aplican las herramientas de Lean Manufacturing, y que el área de mayor aplicación son los departamentos de producción seguido por el departamento de mantenimiento.

Esbelta, Herramientas, Estrategia.Lean

Abstract

Lean Manufacturing arises in the production system Toyota, for many authors this philosophy aims to reduce waste, these tools have the focus of the identification and elimination of waste and the creation of value. The strength of this production system lies in determining it as a management system adapted to the era of global markets. In lean philosophy, "value" is defined from the customer's perspective in terms of cost, product, functions, etc. The importance of customer value is shown by the two levels of the lean approach: strategic and operational (Hines, Holweg, & Rich, 2004). The main objective of this paper is to determine which are the Lean Manufacturing tools applied at the operational level of the industrial companies of the southern zone of the state of Tamaulipas established in the industrial corridor of Altamira. This research is of the exploratory type since until now there are no registers of these data. This article concludes that less than 70% of the surveyed companies apply the Lean Manufacturing tools, and that the area of greatest application are the production departments followed by the maintenance department.

Lean, Tools, Strategic

Citación: CASTILLO-FLORES, Angela Liliana, ARELLANO-BRIONES, Olimpia Danáe y FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo. ¿Cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing más utilizadas en las empresas petroquímicas de la Zona sur de Tamaulipas? Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-5: 24-30.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Lean Manufacturing surge en el sistema de producción Toyota, por muchos autores esta filosofía tiene como objetivo reducir los desperdicios. Se sabe que Lean tiene dos enfoques, el primero como la identificación y eliminación de desperdicios (muda) y agregar valor a los productos, a este sistema productivo de le atribuyen dos enfoques el filosófico y el operacional (Jauregui, Pamela & Gisbert, 2017).

A pesar de que este sistema lleva más de 4 décadas desde su consolidación, al día de hoy se desconoce el grado de aplicación de sus herramientas en las empresas industriales de la zona sur de Tamaulipas. El objetivo principal de este trabajo es determinar cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing aplicadas en el nivel operativo de las empresas industriales de la zona sur del estado de Tamaulipas establecidas en el corredor industrial de Altamira.

Revisión teórica de las Herramientas de Lean Manufacturing.

Lean Manufacturing se conoce como una serie de herramientas y técnicas de gestión que ayudan

Lean manufacturing es una filosofía de gestión derivada de la empresa Toyota, el término de Lean manufacturing, se le conoce a una serie de herramientas que ayudan a reducir el gasto de recursos para cualquier objetivo que no sea la creación de valor para el cliente final como desperdicio (Čiarnienė & Vienažindienė, 2012). Se han identificado diversas herramientas atribuidas a este sistema, entre las que destacan el Kanban, Poka Yoke, Mapero de procesos, 5's, SMED, Jidoka, Nivelado de producción, los sistemas de sugerencias, entre otras más (Womack, Jones, Roos, & Chaparro, 2018).

Sin embargo a estas herramientas también se le atribuyen prácticas o subsistemas como lo son el Justo a Tiempo (JIT), el Mantenimiento Productivo Total (TPM), La Mejora Continua, entre otras prácticas de gestión (Jauregui, Pamela & Gisbert, 2017). Se han atribuido hasta 101 herramientas de este sistema de gestión productivo (Pavnaskar, Gershenson y Jambekar, 2003).

Sin embargo a pesar de que se observan diversos trabajos de investigación sobre las herramientas de Lean Manufacturing, no se observan trabajos que den a conocer cuáles son las herramientas más utilizadas por las empresas de industriales de la zona sur de Tamaulipas.

En la Tabla 1, se muestra una breve descripción de algunas de las herramientas de Lean Manufacturing así como el objetivo de la misma.

El objetivo principal de este trabajo es determinar cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing aplicadas en el nivel operativo de las empresas industriales de la zona sur del estado de Tamaulipas establecidas en el corredor industrial de Altamira.

Esta investigación es del tipo exploratorio ya que hasta el momento no hay registros de estos datos. Este artículo concluye que menos del 70 % de las empresas encuestadas aplican las herramientas de Lean Manufacturing, y que el área de mayor aplicación son los departamentos de producción seguido por el departamento de mantenimiento

Metodología

Este trabajo es un estudio exploratorio. El medio para la recolección de los datos será a través de un cuestionario estructurado dirigido hacia a supervisores y/o jefes del área de producción y mantenimiento en cada empresa, considerando hasta 25 herramientas, sin embargo en este artículo sólo se muestran las más representativas según sus datos, las cuáles son 12, en el anexo 1 se describe a detalle la descripción de la herramienta y el objetivo que cada una de ellas pretende alcanzar.

Las características de las empresas son: empresas del sector industrial, de tamaño grande, ubicados en la zona industrial del sur de Tamaulipas

Lean Tool	What Is It?	How Does It Help?
5S	Organize the work area: Sort (eliminate that which is not needed); Sort (eliminate that which is not needed); Set In Order (organize remaining items); Shine (clean and inspect work area); Standardize (write standards for above); Sustain (regularly apply the standards)	Eliminates waste that results from a poorly organized work area (e.g. wasting time looking for a tool).
Visual Factory	Visual indicators, displays and controls used throughout manufacturing plants to improve communication of information.	Makes the state and condition of manufacturing processes easily accessible and very clear – to everyone.
Heijunka (Level Scheduling)	A form of production scheduling that purposely manufactures in much smaller batches by sequencing (mixing) product variants within the same process.	Reduces lead times (since each product or variant is manufactured more frequently) and inventory (since batches are smaller).
Jidoka (Autonomation)	Design equipment to partially automate the manufacturing process (partial automation is typically much less expensive than full automation) and to automatically stop when defects are detected.	After Jidoka, workers can frequently monitor multiple stations (reducing labor costs) and many quality issues can be detected immediately (improving quality).
Just-In-Time (JIT)	Pull parts through production based on customer demand instead of pushing parts through production based on projected demand. Relies on many lean tools, such as Continuous Flow, Heijunka, Kanban, Standardized Work and Takt Time.	Highly effective in reducing inventory levels. Improves cash flow and reduces space requirements.
Kaizen (Continuous Improvement)	A strategy where employees work together proactively to achieve regular, incremental improvements in the manufacturing process.	Combines the collective talents of a company to create an engine for continually eliminating waste from manufacturing processes.
Kanban (Pull System)	A method of regulating the flow of goods both within the factory and with outside suppliers and customers. Based on automatic replenishment through signal cards that indicate when more goods are needed.	Eliminates waste from inventory and overproduction. Can eliminate the need for physical inventories (instead relying on signal cards to indicate when more goods need to be ordered).

Poka-Yoke (Error Proofing)	Design error detection and prevention into production processes with the goal of achieving zero defects..	It is difficult (and expensive) to find all defects through inspection, and correcting defects typically gets significantly more expensive at each stage of production.
Single Minute Exchange of Die (SMED)	Reduce setup (changeover) time to less than 10 minutes. Techniques include: Convert setup steps to be external (performed while the process is running), Simplify internal setup (e.g. replace bolts with knobs and levers), Eliminate non-essential operations, Create standardized work instructions.	Enables manufacturing in smaller lots, reduces inventory, and improves customer responsiveness.
Standardized Work	Documented procedures for manufacturing that capture best practices (including the time to complete each task). Must be “living” documentation that is easy to change.	Eliminates waste by consistently applying best practices. Forms a baseline for future improvement activities.
Takt Time	The pace of production (e.g. manufacturing one piece every 34 seconds) that aligns production with customer demand. Calculated as $\text{Planned Production Time} / \text{Customer Demand}$.	Provides a simple, consistent and intuitive method of pacing production. Is easily extended to provide an efficiency goal for the plant floor ($\text{Actual Pieces} / \text{Target Pieces}$).
Value Stream Mapping	A tool used to visually map the flow of production. Shows the current and future state of processes in a way that highlights opportunities for improvement.	Exposes waste in the current processes and provides a roadmap for improvement through the future state.

Tabla 1 Herramientas de Lean

Fuente: <http://www.leanproduction.com/top-25-lean-tools.html>

Resultados

De las encuestas aplicadas dirigidas a jefes o supervisores de las áreas de mantenimiento y de producción, Se obtuvieron los siguientes resultados.

En el Gráfico 1, la herramienta VSM (Mapeo de Procesos) se observa que en el área de producción se aplica ésta herramienta en alrededor de un 60 %, en cuanto al área de mantenimiento sólo lo aplican 40 % de las empresas encuestadas.

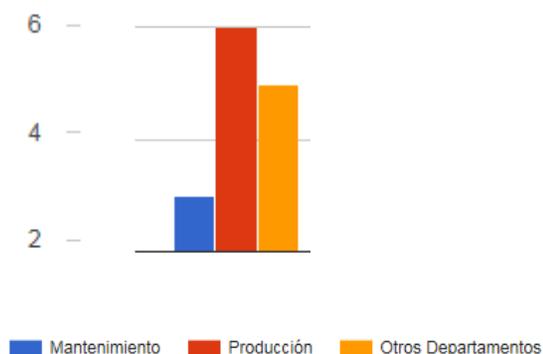


Gráfico 1 Herramienta VSM

En el Gráfico 2 Se observa que la herramienta de Takt Time (Producción sincronizada con Takt Time), es aplicada en alrededor del 50 % de las empresas en el área de producción, y se aprecia que en el área de mantenimiento de las empresas encuestadas, ésta herramienta no es utilizada.

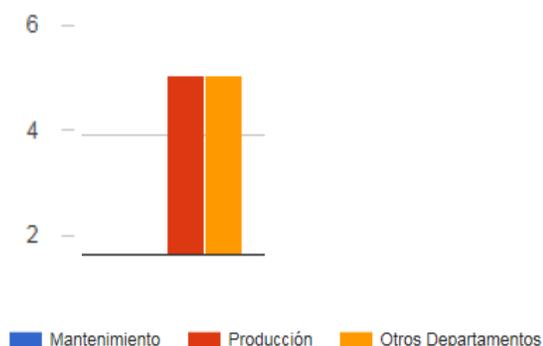


Gráfico 2 Porcentaje Takt Time (Producción sincronizada con Takt Time)

En cuestión de la aplicación de las 5s, en el Gráfico 3 se observa que tanto en el área de producción, mantenimiento y otros departamentos, son utilizadas éstas herramientas de Orden y Limpieza.

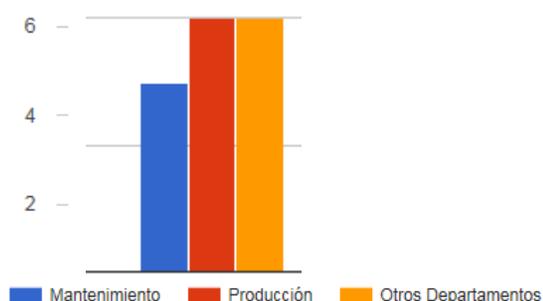


Gráfico 3 5s

Con respecto a la herramienta de Administración visual y controles Visuales, el Gráfico 4 destaca la aplicación en un porcentaje mayor al 50% en las áreas de mantenimiento y producción.

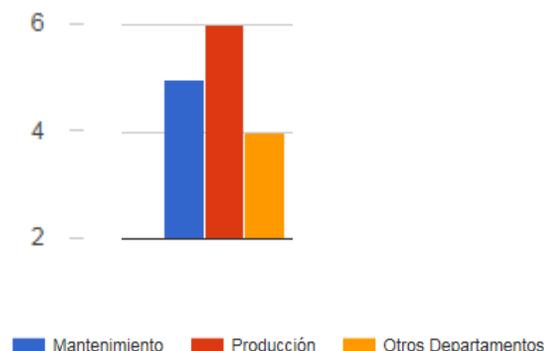


Gráfico 4 Administración visual y controles Visuales.

En la utilización del SMED o intercambio rápido de máquinas, es menester señalar que menos del 50% de las empresas hacen uso de ésta herramienta

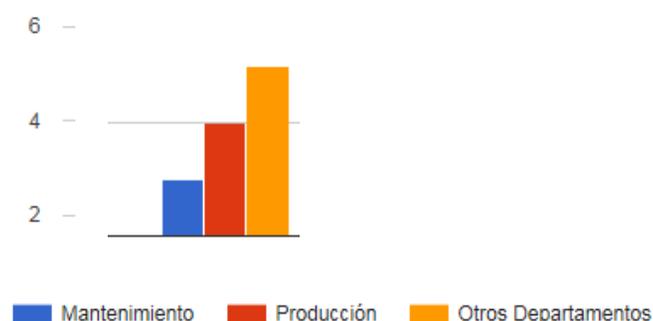


Gráfico 5 SMED

Una herramienta característica de las herramientas de Lean Manufacturing es la herramienta de KANBAN (Sistemas de Jalar la producción), en la encuesta aplicada se manifestó una nula aplicación de esta herramienta en el área de mantenimiento, siendo más utilizada en el área de producción y otros departamentos. (Gráfico 6)



Gráfico 6 Kanban

Con respecto a los sistemas a prueba de errores, Poka Yoke, la encuesta aplicada arrojó que se aplica en mayor medida en el área de producción, alrededor del 50% y aunque también se aplican éstos controles en el área de mantenimiento su utilización es menor.

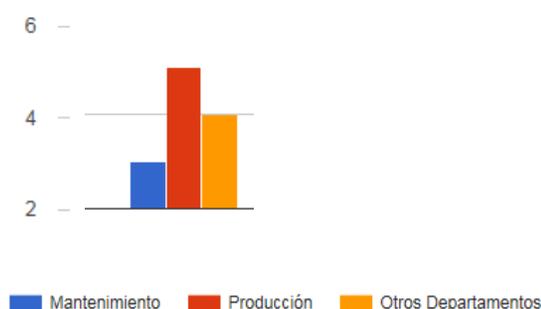


Gráfico 7 Poka Yoke

Con respecto al trabajo estandarizado, se observa que está herramienta es aplicada en su mayoría de las empresas encuestadas, en las áreas de mantenimiento producción y otros departamentos (Gráfico 8).

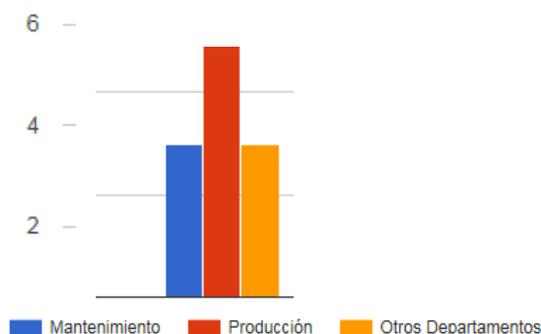


Gráfico 8 Trabajo estandarizado

Con respecto a la utilización de la herramienta de detección automática de defectos y paro de línea, Jidoka. Se observa que ésta herramienta es utilizada tanto en las áreas de producción, como en las de mantenimiento, incluso en otras áreas aunque en menor porcentaje alrededor de un 30%. (ver Gráfico 9).

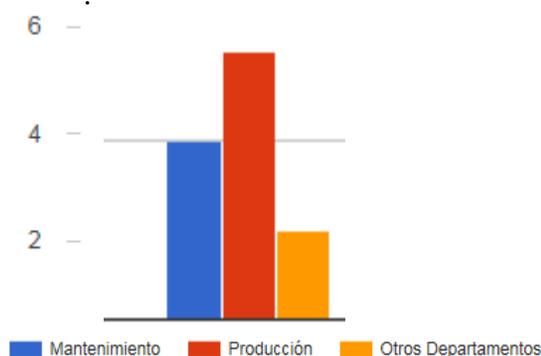


Gráfico 9 Jidoka

De la herramienta de producción nivelada, Heijunka, se puede observar una mayor utilización en el área de producción en más del 50% y en menor aplicación en las áreas de mantenimiento. (ver Gráfico 10).

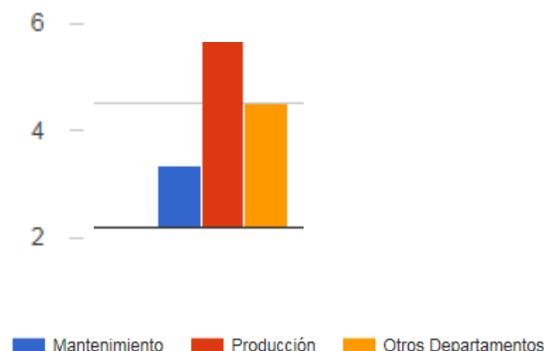


Gráfico 10 Heijunka

Con respecto a la utilización de la herramienta de Kaizen y la solución de problemas, se puede observar que de las empresas encuestadas, el porcentaje de aplicación de éstas herramientas es muy homogéneo en todos los departamentos sobresaliendo la utilización en el área de producción. (ver Gráfico 11).

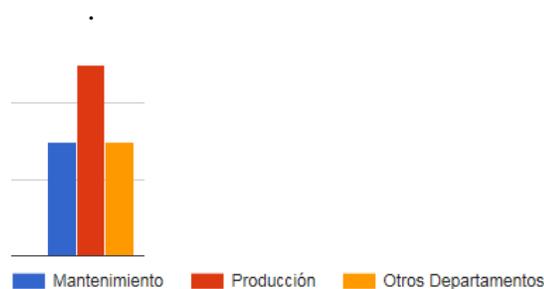


Gráfico 11 Kaizen

En cuestión de la aplicación de las prácticas del Justo a tiempo (JIT), se observa poca utilización en el área de mantenimiento y otras áreas, sin embargo alrededor del 60 % de las empresas aplican éstas prácticas en el área de producción (ver Gráfico 12).

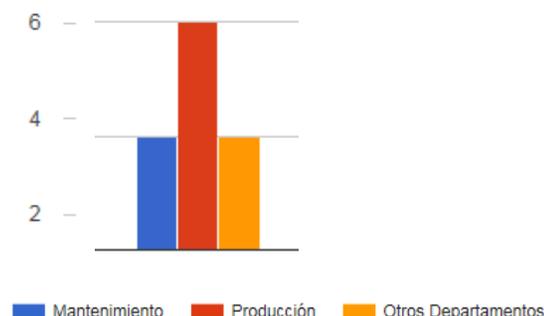


Gráfico 12 JIT

Conclusiones

En este trabajo de investigación realizado a través de preguntas estructuradas para conocer la aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing en las áreas de Producción, Mantenimiento y otras áreas en las Empresas Industriales del sur de Tamaulipas, se observa que existe una aplicación de la mayoría de las herramientas en más del 50% de las empresas encuestadas en el área de producción, sin embargo no se puede decir lo mismo en el área de mantenimiento y en otras áreas.

Es recomendable realizar estudios sobre la efectividad de las herramientas utilizadas y el impacto que éstas tienen sobre el desempeño organizacional en las empresas en cuestión.

Anexo 1

Lean Tool	What Is It?	How Does It Help?
5S	Organize the work area: Sort (eliminate that which is not needed); Sort (eliminate that which is not needed); Set In Order (organize remaining items); Shine (clean and inspect work area); Standardize (write standards for above); Sustain (regularly apply the standards)	Eliminates waste that results from a poorly organized work area (e.g. wasting time looking for a tool).
Visual Factory	Visual indicators, displays and controls used throughout manufacturing plants to improve communication of information.	Makes the state and condition of manufacturing processes easily accessible and very clear – to everyone.
Heijunka (Level Scheduling)	A form of production scheduling that purposely manufactures in much smaller batches by sequencing (mixing) product variants within the same process.	Reduces lead times (since each product or variant is manufactured more frequently) and inventory (since batches are smaller).
Jidoka (Autonomation)	Design equipment to partially automate the manufacturing process (partial automation is typically much less expensive than full automation) and to automatically stop when defects are detected.	After Jidoka, workers can frequently monitor multiple stations (reducing labor costs) and many quality issues can be detected immediately (improving quality).
Just-In-Time (JIT)	Pull parts through production based on customer demand instead of pushing parts through production based on projected demand. Relies on many lean tools, such as Continuous Flow, Heijunka, Kanban, Standardized Work and Takt Time.	Highly effective in reducing inventory levels. Improves cash flow and reduces space requirements.
Kaizen (Continuous Improvement)	A strategy where employees work together proactively to achieve regular, incremental improvements in the manufacturing process.	Combines the collective talents of a company to create an engine for continually eliminating waste from

		manufacturing processes.
Kanban (Pull System)	A method of regulating the flow of goods both within the factory and with outside suppliers and customers. Based on automatic replenishment through signal cards that indicate when more goods are needed.	Eliminates waste from inventory and overproduction. Can eliminate the need for physical inventories (instead relying on signal cards to indicate when more goods need to be ordered).
Poka-Yoke (Error Proofing)	Design error detection and prevention into production processes with the goal of achieving zero defects..	It is difficult (and expensive) to find all defects through inspection, and correcting defects typically gets significantly more expensive at each stage of production.
Single Minute Exchange of Die (SMED)	Reduce setup (changeover) time to less than 10 minutes. Techniques include: Convert setup steps to be external (performed while the process is running), Simplify internal setup (e.g. replace bolts with knobs and levers), Eliminate non-essential operations, Create standardized work instructions.	Enables manufacturing in smaller lots, reduces inventory, and improves customer responsiveness.
Standardized Work	Documented procedures for manufacturing that capture best practices (including the time to complete each task). Must be “living” documentation that is easy to change.	Eliminates waste by consistently applying best practices. Forms a baseline for future improvement activities.
Takt Time	The pace of production (e.g. manufacturing one piece every 34 seconds) that aligns production with customer demand. Calculated as Planned Production Time / Customer Demand.	Provides a simple, consistent and intuitive method of pacing production. Is easily extended to provide an efficiency goal for the plant floor (Actual Pieces / Target Pieces).
Value Stream Mapping	A tool used to visually map the flow of production. Shows the current and future state of processes in a way that highlights opportunities for improvement.	Exposes waste in the current processes and provides a roadmap for improvement through the future state.

Referencias

Arrieta Posada, J. G., Botero Herrera, V. E., Martínez, R., & Jimena, M. (2010). Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 15(28), 141-170.

Čiarnienė, R., & Vienažindienė, M. (2012). Lean manufacturing: theory and practice. *Economics and management*, 17(2), 726-732.

Correa, F. G. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas. *Panorama Administrativo Journal*, 2(2), 85-112

CASTILLO-FLORES, Ángela Liliana, FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo y ÁNGELES-RESENDIZ, Luis Alfredo. Impacto del TPM en el Desempeño Operativo de las Empresas Industriales del Sur de Tamaulipas. *Revista de Ingeniería Industrial*. 2018.

Hines P., Holweg M., and Rich, N. (2004), "Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 24, no. 10, pp. 994 -1011.

Jauregui, R., Pamela, A., & Gisbert Soler, V. (2017). Lean manufacturing: herramienta para mejorar la productividad en las empresas. In *3C Empresa, Investigación y pensamiento crítico*(pp. 116-124). Area de Innovacion y Desarrollo, SL-3 Ciencias.

Sánchez, M. J. G., Gómez, J. M. C., Bolea, L. G., Arjona, M. H., & Ceballos, S. S. (2012). Diseño de un modelo para implantar LEAN con éxito. In *XVI Congreso de Ingeniería de Organización: Vigo, 18 a 20 de julio de 2012* (pp. 1518-1525).

Torres, M. I. B. (2012). Aproximación del enfoque por procesos y principios Lean para la producción de índigo en una empresa textil. *Revista Universidad EAFIT*, 46(158), 52-63.

Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075-3090 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.

Vinodh, S., & Joy, D. (2012). Structural equation modelling of lean manufacturing practices. *International Journal of Production Research*, 50(6), 1598-1607.

Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., & Chaparro, F. O. (2018). *La máquina que cambió el mundo*. Profit

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^{er} Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1^{er} Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2^{do} Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3^{er} Coautor

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

International Identification of Science - Technology and Innovation

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

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

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

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

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

Resumen (En Español, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Resumen (En Inglés, 150-200 palabras)

Objetivos
Metodología
Contribución

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

Citación: Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Autor†*, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 1er Coautor, Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 2do Coautor y Apellidos (EN MAYUSCULAS), Nombre del 3er Coautor. Título del Artículo. Revista de Ingeniería Industrial. 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]

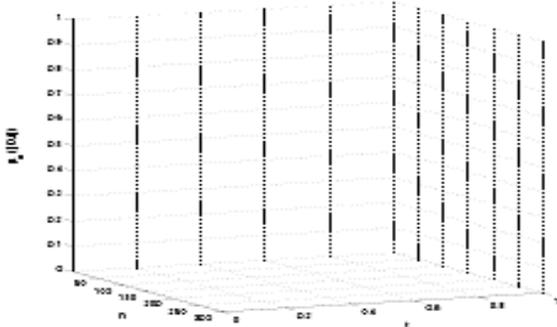


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

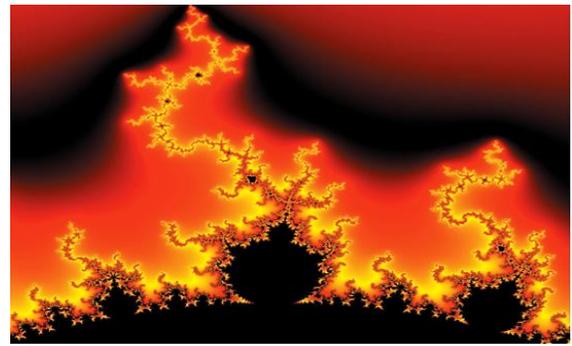


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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 Titulo 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 Ingeniería Industrial 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 Ingeniería Industrial 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 Perú considere pertinentes para divulgación y difusión de su Artículo cediendo sus Derechos de Obra.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de este Artículo se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en el Artículo.

Copyright y Acceso

La publicación de este Artículo supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding Perú para su Revista de Ingeniería Industrial, 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)

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

244 - 2 Itzopan Calle. La Florida, Ecatepec Municipio México Estado, 55120 Código postal, MX. Tel: +52 1 55 2024 3918, +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 4640 1298; Correo electrónico: contact@ecorfan.org
www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editora en Jefe

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Redactor Principal

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Editor Ejecutivo

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

Editores de Producción

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Administración Empresarial

REYES-VILLAO, Angélica. BsC

Control de Producción

RAMOS-ARANCIBIA Alejandra. BsC

DÍAZ-OCAMPO Javier. BsC

Editores Asociados

OLIVES-MALDONADO, Carlos. MsC

MIRANDA-GARCIA, Marta. PhD

CHIATCHOUA, Cesaire. PhD

SUYO-CRUZ, Gabriel. PhD

CENTENO-ROA, Ramona. MsC

ZAPATA-MONTES, Nery Javier. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. MsC

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan),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

Oficinas de Gestión

244 Itzopan, Ecatepec de Morelos–México.

21 Santa Lucía, CP-5220. Libertadores -Sucre–Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal –Madrid-España.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 La Raza Avenue -Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Southwest Avenue, San Sebastian – León-Nicaragua.

6593 Kinshasa 31 – Republique Démocratique du Congo.

San Quentin Avenue, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 Kilometro, American Highway, House Terra Alta, D7 Mixco Zona 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Captain, CP-2060. Luque City- Paraguay.

Distrito YongHe, Zhongxin, calle 69. Taipei-Taiwán.

Revista de Ingeniería Industrial

“Consideraciones, Precauciones y Fallas en el Proceso de la Impresión 3D, Utilizando el Modelado por Deposición Fundida (FDM)”

GUIZAR-GÓMEZ, Carlos Alberto, CAMACHO-ARRIAGA, Juan Cristóbal, CONEJO-MAGAÑA, Gilberto Daniel y BÁRCENA-CORTÉS, Abraham

Instituto Tecnológico de Morelia

“Mejoramiento en el proceso de decapado y electro-pulido de tubería inoxidable, un caso de estudio”

REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGALICONA, Elisa y MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio César

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango

“Automatización y optimización en el proceso de marcado de tubería inoxidable, un caso de estudio”

REYES-LEÓN, Iván, CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, GONZAGALICONA, Elisa y CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango

“¿Cuáles son las herramientas de Lean Manufacturing más utilizadas en las empresas petroquímicas de la Zona sur de Tamaulipas?”

CASTILLO-FLORES, Angela Liliana, ARELLANO-BRIONES, Olimpia Danée y FERNÁNDEZ-GARCÍA, Luis Guillermo

Instituto Tecnológico de Altamira

Universidad Tecnológica de Altamira

