

ISSN 2523-0344

Volumen 2, Número 6 – Octubre – Diciembre - 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 6, de Octubre Diciembre 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 31 de Diciembre 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, *Elaboración de hojas de operación estándar para el mantenimiento del servicio mayor de una empresa automotriz del Sur de Sonora*, por BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena, GONZÁLEZ-VALENZUELA, Elizabeth, FORNÉS-RIVERA, René Daniel y KIMOTO-OKUDA, Sumiko, con adscripción en el Instituto Tecnológico de Sonora, como segundo artículo presentamos, *Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos*, por LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel, con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana, como tercer artículo presentamos, *Solución de problemas mediante la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos*, por GUZMÁN-SÁNCHEZ, Edgar Edin, RODRÍGUEZ-REALYVAZQUEZ, José Rafael, MOLINA GARDEA, Claudia Janeth y CORTES-CARRILLO, Francisco, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Chihuahua, como cuarto artículo presentamos, *Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla*, por CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, CARMONA-SILVA, José Luis y MÚÑIZ-MONTERO, Isabel, con adscripción en la Universidad Politécnica de Puebla y la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Contenido

Artículo	Página
Elaboración de hojas de operación estándar para el mantenimiento del servicio mayor de una empresa automotriz del Sur de Sonora BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena, GONZÁLEZ-VALENZUELA, Elizabeth, FORNÉS-RIVERA, René Daniel y KIMOTO-OKUDA, Sumiko <i>Instituto Tecnológico de Sonora</i>	1-12
Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel <i>Universidad Autónoma Metropolitana</i>	13-22
Solución de problemas mediante la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos GUZMÁN-SÁNCHEZ, Edgar Edin, RODRÍGUEZ-REALYVAZQUEZ, José Rafael, MOLINA GARDEA, Claudia Janeth y CORTES-CARRILLO, Francisco <i>Universidad Tecnológica de Chihuahua</i>	23-33
Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, CARMONA-SILVA, José Luis y MÚÑIZ-MONTERO, Isabel <i>Universidad Politécnica de Puebla</i> <i>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</i>	34-44

Elaboración de hojas de operación estándar para el mantenimiento del servicio mayor de una empresa automotriz del Sur de Sonora

Elaboration of standard operation sheets for the maintenance of the major service of an automotive company of the South of Sonora

BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena†*, GONZÁLEZ-VALENZUELA, Elizabeth, FORNÉS-RIVERA, René Daniel y KIMOTO-OKUDA, Sumiko

Instituto Tecnológico de Sonora

ID 1^{er} Autor: *Luz Elena, Beltrán-Esparza* / ORC ID: 0000-0003-2755-812X, Researcher ID Thomson: G-5037-2018, arXiv Author ID: luzelena_beltran, CVU CONACYT ID: 10 276136

ID 1^{er} Coautor: *Elizabeth, González-Valenzuela* / ORC ID: 0000-0003-3774-5324, Researcher ID Thomson: G-5042-2018, arXiv Author ID: elizabeth_gonzalez_v, CVU CONACYT ID: 10 276316

ID 2^{do} Coautor: *René Daniel, Fornés-Rivera* / ORC ID: 0000-0002-7438-0056, Researcher ID Thomson: G-3906-2018, arXiv Author ID: rene_fornes, CVU CONACYT ID: 280435

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

Resumen

Las empresas automotrices cada vez son más competitivas, con un objetivo en común de brindar un excelente servicio al cliente, reducir costos y aumentar las utilidades. El proyecto fue desarrollado para una empresa automotriz del sur de Sonora, en la cual no se cumplían con los objetivos en el taller de servicio por lo que se determinó la necesidad de elaborar las HOE (Hojas de operación estándar) por modelo del vehículo en el proceso mecánico del servicio mayor. La falta de las HOE's ocasionaba ineficiencia en el proceso, tiempos de ocio de los técnicos y quejas de los clientes. El procedimiento de esta investigación estuvo estructurado por los siguientes pasos: describir el área bajo estudio, analizar la HOE genérica, determinar las actividades que se deben realizar por cada modelo, determinar los tiempos de cada actividad, actualizar HOE genérica, elaborar y validar HOE's de cada modelo de vehículo. Al estandarizar las operaciones se aseguraron que las actividades de los técnicos sean más seguras y efectivas, se mejoró la productividad y la secuencia que realiza el técnico al realizar las actividades del servicio mayor. Al finalizar el proyecto se obtuvo como resultado la elaboración las HOE's cuyo impacto fue la estandarización en el proceso mecánico del servicio mayor.

Mantenimiento, Servicio Mayor, HOE

Abstract

Automotive companies are increasingly competitive, with a common goal of providing excellent customer service, reduce costs and increase profits. The project was developed for an automotive company in the south of Sonora, in which the objectives were not fulfilled in the service workshop, so it was determined the need to elaborate the HOE (Standard Operation Sheets) by model of the vehicle in the mechanical process of the major service. The lack of HOE's caused inefficiency in the process, leisure time for technicians and customer complaints. The procedure of this investigation was structured by the following steps: describe the area under study, analyze the generic HOE, determine the activities that must be carried out for each model, determine the times of each activity, update generic HOE, elaborate and validate HOE's of each vehicle model. By standardizing the operations, they ensured that the technicians' activities were safer and more effective, the productivity and the sequence that the technician performs when carrying out the major service activities were improved. At the end of the project, the HOEs were produced as a result, whose impact was the standardization in the mechanical process of the major service.

Maintenance, Major Service, HOE

Citación: BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena, GONZÁLEZ-VALENZUELA, Elizabeth, FORNÉS-RIVERA, René Daniel y KIMOTO-OKUDA, Sumiko. Elaboración de hojas de operación estándar para el mantenimiento del servicio mayor de una empresa automotriz del Sur de Sonora. *Revista de Ingeniería Industrial*. 2018. 2-6:1-12.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (luzelena,beltran@itson.edu.mx)

Introducción

El concepto que se ha tenido de la calidad a lo largo del tiempo ha evolucionado al mismo tiempo que lo hicieron las técnicas de administración. Atrás quedaron los días en que el principal enfoque del ejecutivo era dirigir su empresa a través de la gestión de la tesorería, de la implantación de técnicas agresivas de venta o de la detallada elaboración de una planificación estratégica. Para responder a los retos que plantea el entorno competitivo actual, se está revelando como la forma adecuada de administrar adopta un sistema de dirección estratégica con una fuerte orientación hacia la gestión de la calidad; esto es así por la apremiante necesidad de dirigir con un enfoque al cliente, relegando a segundo plano los tradicionales enfoques hacia el interior de la compañía. Un sistema de gestión de la calidad correctamente implantado asegura que todas las actividades empresariales van dirigidas hacia la satisfacción plena del cliente como primer y principal objetivo corporativo (Pérez, 1994).

Debido a las grandes transformaciones de la economía, los clientes son cada vez más exigentes, informados y conscientes del papel importante que juegan, porque son quienes valoran el producto. Los cambios de hábitos, estilos de vida y preferencias han transformado el panorama cultural, social y económico del mundo, obligando a las empresas a ser más flexibles, adecuar los productos y servicios a la nueva realidad, con nuevas formas de distribución y todo ello apoyados en los tres aspectos fundamentales de la competitividad: calidad, rapidez de respuesta y coste (Rajadell y Sánchez, 2010).

En una empresa de clase mundial es válido considerar que no sólo se trata de implementar herramientas, sino de adoptar una actitud de liderazgo y trabajar para crear una nueva cultura. El reto consiste realmente en modificar de manera positiva la cultura, y no sólo en introducir nuevas estrategias, herramientas o planes (Socconini, 2008).

Se destaca que la industria automotriz ha favorecido al impulso de las industrias siderúrgica, metalúrgica, metalmecánica, minera, petrolera, petroquímica, plástico, vidrio, electricidad, robótica e informática, utilizadas en la producción de automoviles.

Durante los últimos 20 años se ha evidenciado un acelerado proceso de modificación de funciones y responsabilidades en la cadena de valor automotriz, tendiente a preservar en la industria terminal las actividades de diseño de vehículos y dirección de la comercialización y finanzas (Piñeyro, Di Meglio y Piñero, 2011). La industria automotriz es una de las más dinámicas y competitivas de México y se ha consolidado como un jugador importante del sector a nivel global. En las últimas décadas, México ha llamado la atención de los principales actores del sector automotriz debido al crecimiento sostenido en la producción de vehículos y autopartes, así como la fortaleza y las perspectivas de crecimiento de su mercado interno. Hoy la industria automotriz mexicana vuelve a ser centro de atención en la escena global, debido a que vive un proceso de transición de un perfil orientado principalmente a la manufactura, a uno en el que la innovación y el diseño juegan un papel preponderante (ProMéxico, 2016).

La empresa donde se realizó el presente estudio es una agencia automotriz que busca la satisfacción de sus clientes, ofreciendo servicios integrales de calidad como la venta de automóviles, refacciones, mantenimiento automotriz, y compra-venta de automóviles seminuevos, comprometiéndose a mejorar continuamente en busca de la excelencia. El objeto bajo estudio es el área donde se realiza el proceso mecánico del servicio mayor que interacciona con las áreas de: recepción, taller de servicio, control, gerencia, oficinas de servicio y refacciones. El área de servicio cuenta con dos naves en las cuales hay 15 rampas y una alineadora, ver Figura 1.



Figura 1 Distribución del objeto bajo estudio: área de taller de servicio

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa (2017)

Las entradas del proceso del servicio mayor son los vehículos con fallas o con la necesidad del mantenimiento, las salidas son los vehículos con los trabajos solicitados por el cliente. En el área de taller de servicio se realiza el proceso mecánico que ofrece dos tipos de servicio y son: servicio menor y servicio mayor. El servicio menor se realiza cada 5,000 Km. y las principales actividades son cambio de aceite y cambio de filtro.

El servicio mayor se realiza cada 10,000 Km ó 6 meses, lo que ocurra primero. Este servicio contiene: cambio de aceite, inspección de balatas, discos rotores, tambores, pastillas de freno, cables y líneas de frenos, balanceo de neumáticos, revisión del sistema de enfriamiento del motor, cambio del filtro de aire del motor, reemplazo del líquido de frenos, revisión de mangueras del sistema de ventilación de los vapores del tanque de combustible, inspección del escape y embrague, revisión, balanceo y permutación de neumáticos, reemplazo de filtro de aire del compartimento de pasajeros, revisión de batería, con el objetivo de la satisfacción del cliente. A continuación se presenta el diagrama de Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Usuarios (PEPSU), ver Figura 2

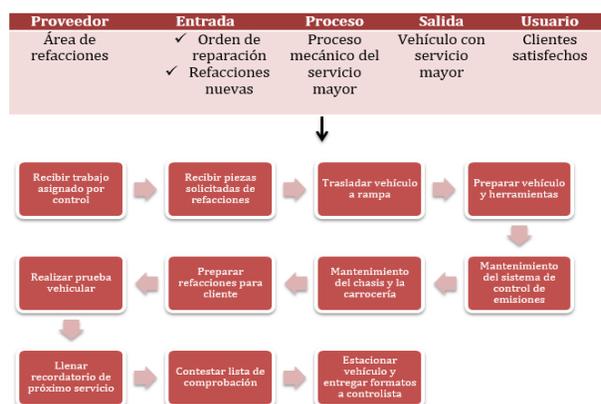


Figura 2 Diagrama PEPSU del proceso de servicio mayor
Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la empresa (2017)*

En la primera columna del diagrama se muestra el nombre del proveedor que es el encargado de abastecer la materia prima que se requiere. En la segunda columna se observan las entradas con las que debe contar para que se pueda empezar el proceso, la principal es la orden de reparación la cual es entregada por los asesores al encargado de control.

El proceso del servicio mayor se muestra detalladamente paso por paso desde que se recibe trabajo asignado por el responsable de control, se realiza el mantenimiento necesario y hasta la entrega de formatos a control. La salida que se logra al realizar el proceso es el vehículo con dicho servicio sin ninguna falla y a la hora prometida. Como usuario son los clientes satisfechos sin ninguna queja del servicio.

La empresa bajo estudio busca constantemente la mejora continua en sus procesos por lo que el gerente del área de servicio solicita un estudio para mejorar el proceso mecánico del servicio mayor de los vehículos. Tomando en cuenta la situación actual de dicho proceso se determinaron las siguientes variables, ver Tabla 1

Nombre de las Variables (nombre y unidad de medición)	Tipo de proceso	Cualitativa	Cuantitativa	Valor Real	Valor Ideal
Tiempo de ciclo de un servicio mayor (horas)	Proceso		X	1:58	1:00
Tiempo de ciclo del proceso del lavado (minutos)	Proceso		X	69	30
Cantidad de vehículos atendidos al día	Salida		X	47	65
Cantidad de quejas al mes	Entrada	X	X	19	0
Tiempo de entrega del proceso de servicio (horas).	Proceso		X	4:37	2:30

Tabla 1 Variables del objeto bajo estudio
Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la empresa (2017)*

Durante la observación del proceso mecánico del servicio mayor se tiene un tiempo de ciclo real de una hora con 58 minutos por lo que se busca reducir esa cifra lo más pegado a lo ideal que sería una hora.

El tiempo de ciclo del proceso de lavado se tiene un valor de 69 minutos cuando lo ideal serían 30 minutos. La cantidad de vehículos atendidos al día son 47 siendo lo ideal 65 vehículos. También se observó que el tiempo de entrega del proceso de servicio es de 4 horas con 37 minutos lo cual se busca reducir el valor a dos horas con 30 minutos.

Planteamiento del problema

Las hojas de operación estándar son documentos que definen el mejor método y los movimientos más eficientes para realizar una operación, eliminando la variación, los desperdicios y el desequilibrio de las mismas, permitiendo a los trabajadores que realicen las operaciones con mayor facilidad, rapidez y con el menor costo posible, teniendo siempre como prioridad la seguridad del trabajador, asegurando la satisfacción del cliente; haciendo siempre lo mismo y con la misma calidad.

En el caso de la empresa bajo estudio, el proceso de mantenimiento de servicio mayor es de cuatro horas con 37 minutos y se busca reducir el valor aproximadamente a dos horas con 30 minutos, además contaba con una hoja de operación estándar genérica no actualizada, por lo que no se tenían nuevos tiempos estándar para cada paso que los técnicos realizaban. Esto influía negativamente cuando se contrataban nuevos técnicos porque no había un tiempo definido y el personal de control de calidad no lograba revisar los vehículos al finalizar el servicio. Con todo lo anterior se establece lo siguiente: No existen hojas de operación estándar por modelo de vehículo, se cuenta solo con una hoja de operación estándar genérica sin actualizar, lo cual ocasiona ineficiencia en el mantenimiento del proceso de servicio mayor, tiempos de ocio de los técnicos en la realización de sus actividades y constantes quejas de los clientes.

Objetivo

Elaborar hojas de operación estándar en el mantenimiento del servicio mayor que se ofrece en la empresa para estandarizar operaciones de cada modelo vehicular.

Marco Teórico Manufactura esbelta

En los últimos años se ha escuchado el concepto de manufactura esbelta (o Lean Manufacturing en inglés) aplicado solamente en la manufactura, sin embargo es pertinente hacer mención que también es aplicable a cualquier área de la organización, la cual puede verse beneficiada por su pensamiento. Cabe señalar que la mayoría de los autores la definen como una filosofía enfocada en la reducción de desperdicios.

Según Socconini (2008), manufactura esbelta o ágil es el nombre que recibe el sistema Just In Time en Occidente. También se ha llamado Manufactura de Clase Mundial y Sistema de Producción Toyota. Se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o excesos, entendiéndose como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo.

Lean es un conjunto de “Herramientas” que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y del costo de producción. Algunas de estas herramientas son la mejora continua (kaizen), métodos de solución de problemas como cinco porqués y son sistemas a prueba de errores (poka yokes). En un segundo enfoque, se considera el “flujo de Producción” (mura) a través del sistema y no hacia la reducción de desperdicios. Algunas técnicas para mejorar el flujo son la producción nivelada (muri), Kanban o las tablas Heijunka (González, 2007).

- **Limitantes de productividad:** existen tres términos que comúnmente son utilizados en manufactura esbelta llamados las tres M's o limitantes de la productividad, que de manera integrada contribuyen a identificar y eliminar desperdicios y son:

Muri

Según Madariaga (2013), es la sobrecarga de personas y/o máquinas. La sobrecarga de las máquinas genera averías y defectos. La sobrecarga de las personas genera problemas de seguridad y calidad. La productividad de los negocios y las personas disminuye cuando se les impone una carga de trabajo que rebasa su capacidad. Si a los operadores se les exige que produzcan por arriba de sus límites normales, o cuando a las máquinas se les hace producir por encima de su capacidad, se provoca un agotamiento de los recursos más valiosos de la organización, disminuyendo así la productividad (Socconini, 2008).

González (2007), establece que muri es sobrecargar equipos u operadores solicitándoles que se desempeñen a un nivel más alto del cual están diseñados.

Mura

Madariaga (2013), plantea que es la variación en los procesos productivos. Obliga a sobredimensionar los recursos, personas, equipos y materiales para la situación más desfavorable o a sobrecargar los recursos existentes.

Según Socconini (2008), mura se refiere a la falta de uniformidad generada desde los elementos de entrada de los procesos, como los materiales, las especificaciones, el entrenamiento, las habilidades, los métodos y las condiciones de la maquinaria; esto produce, a su vez, una falta de uniformidad en los procesos, lo que se traduce en la generación de productos o servicios que tampoco son uniformes.

González (2007), establece que muri es la desigualdad en las operaciones. Además cualquier producción de más, que no fue demandada por el cliente si no fue por un problema en la producción, genera que el proceso de producción primero esté aprisa y luego tenga que esperar.

Muda

Según González (2007), es una actividad que consume recursos sin crear valor para el cliente. Dentro de este concepto se presentan dos tipos de muda, donde las primeras serán difíciles de eliminar inmediatamente (agregan un valor de negocio), y las segundas son aquellas actividades que pueden ser eliminadas fácilmente a través de un proceso kaizen.

Kaizen

Es una palabra japonesa que significa “mejora”. Sin embargo, sólo recibió el término de “continua” hasta que sus principios empezaron a ser adoptados por organizaciones occidentales. Kaizen es una forma poderosa de hacer mejoras en todos los niveles de la organización, y hoy en día la practican las corporaciones líderes de todo el mundo. Su principal utilidad radica en su aplicación gradual y ordenada, que implica el trabajo conjunto de todas las personas en la empresa para hacer cambios sin hacer grandes inversiones de capital (Socconini, 2008).

Mientras Hernández y Godínez (2014), afirman que es una filosofía de mejora continua en pasos incrementales. Cada proceso debe ser evaluado y mejorado continuamente en términos de tiempo, recursos, calidad y otros aspectos relevantes. Los eventos kaizen resultan extremadamente efectivos para mejorar rápidamente un proceso mediante la implementación de herramientas que ayudan a:

- Reducir los desperdicios (menos mudas)
- Mejorar la calidad y reducir la variabilidad (menos muras)
- Mejorar las condiciones de trabajo (menos muris).

El objetivo de un evento kaizen es que al finalizar cada proyecto de mejora, la empresa vea cambios en los resultados de los procesos al ir eliminando sus fuentes de pérdida (muri, mura, muda). El desperdicio en el trabajo total de un proceso debe ser cada vez menor, con lo cual se aprovechan mejor los recursos del negocio y se incrementa su rentabilidad y respuesta al cliente (Socconini, 2008).

Trabajo estándar

Es una descripción precisa de cada actividad de trabajo al especificar los tres elementos principales y son: Rapidez de la demanda (tiempo Takt), la secuencia estándar de las operaciones de trabajo y el trabajo (inventario) en proceso estandarizado. El trabajo estandarizado se implementa para maximizar la eficiencia de mano de obra y la maquinaria mientras asegura las condiciones seguras de trabajo (Hernández y Godínez, 2014).

Según Socconini (2008), el trabajo estándar tiene su fundamento en la excelencia operacional. Sin el trabajo estandarizado no se puede garantizar en las operaciones siempre se elaboren los productos de la misma manera. El trabajo estandarizado hace posible aplicar los elementos de manufactura esbelta ya que define de la manera más eficiente los métodos de trabajo para lograr la mejor calidad y los costos más bajos. Para entender el trabajo estándar no hace falta más que observar (midiendo) el trabajo de los operadores. La importancia de implementar el trabajo estándar al estandarizar las operaciones, es que se establece la línea base para evaluar, administrar los procesos y evaluar su desempeño, lo cual será el fundamento de las mejoras.

La documentación de las operaciones estándar se utiliza desde que se obtiene información relevante de los procesos, como los tiempos de operaciones, cuando se requiere conocer la secuencia de las operaciones y su relación con el tiempo takt y, la rapidez de la demanda una vez que se ha mejorado el proceso para documentar los nuevos métodos establecidos y para capacitar al personal en su nuevo puesto.

El trabajo estándar que se utiliza para realizar las mediciones de tiempo correspondientes y capturarlas, diseñar o documentar la secuencia optimizada de la capacidad y documentar las instrucciones de operación.

Mejora continua

En toda empresa la mejora continua debe ser permanente y global, en este sentido siempre se debe buscar la forma de incrementar el enfoque al cliente para tener un mejor conocimiento de sus necesidades y mejores prácticas para satisfacerlos (Gutierrez 2006). Este mismo autor menciona que la mejora continua es consecuencia de una forma ordenada de administrar y mejorar los procesos al identificar las causas o restricciones, así como también estableciendo proyectos de mejora y estandarizando los efectos positivos para proyectar y controlar el nuevo nivel de desempeño.

Gonzalez (2006), plantea que la mejora continua de una organización esta en la gente y no en las estrategias que implementen, a partir de ellos surgen grandes ideas que ayudan a mejorar los procesos para avanzar en el camino de la eliminación de las actividades que no agregan valor. Además Cuatrecasas y González (2017), establecen que la mejora continua es uno de los pilares fundamentales sobre los que se asienta la calidad total.

Fraga (2012), define la mejora continua como una serie de actividades recurrentes que se utilizan para aumentar la capacidad de cumplir con los requisitos en el tiempo. Por último ISO (2015) menciona que la mejora continua es una actividad recurrente para mejorar el desempeño de un proceso.

Hoja de operación estándar

Para poder producir y ofrecer productos y servicios de calidad a menor costo y entregarlos oportunamente, es necesario establecer ciertas reglas que rijan y controlen el trabajo de cada uno de los trabajadores, con el fin de dar resultados que espera la compañía y sobre todo el cliente. La estandarización es de gran relevancia para la organización ya que impacta en la mejora de los procesos y ofrece la mejor forma de realizar el trabajo. Para lograr la estandarización en las líneas de producción se utiliza un formato denominado Hoja de Operación Estándar, el cual desarrolla claramente las operaciones que deben ser realizadas en el orden que deben seguir,; además se encuentran al alcance del operario para ser consultadas en el momento que se requieran.

Según Fraga (2012), las hojas de operación estándar es un formato para la estandarización de operaciones en donde se detalla la operación, se determina el orden de los pasos principales y por último se registra el tiempo de ejecución y los recursos a utilizar en cada operación.

Es el método de trabajo por el cual se elimina la variación, desperdicio y el desequilibrio, realizando las operaciones con mayor facilidad, rapidez y menor costo, teniendo siempre como prioridad la seguridad, asegurando la plena satisfacción del cliente; hace siempre lo mismo y de la misma manera. La operación estándar debe de incluir todos los requisitos importantes dentro de la organización e incluirlos para que estos se realicen de forma sistemática. (Sangri y Sánchez, 2015).

Es el mejor método de producción para cumplir con los objetivos de calidad, costo, volumen y fecha de entrega (Rodríguez y Vargas, 2010).

Según Alducin (2015), establece que para la elaboración de las Hojas de Operación Estándar (HOE) es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Tomar tiempos de las líneas a mejorar.
2. Confirmar tiempo estándar de ensamblaje de una pieza y el estándar a producir por hora.
3. Tomar fotos de las actividades más críticas del proceso para la ayuda visual.

Otro método para realizar las HOE's, es el siguiente (Fraga, 2012):

1. Introducción de la información al sistema: en este paso se introdujo al sistema del consorcio la secuencia de las operaciones previamente acordada y validada, también para explicar mayor detalle de las operaciones, esta información son: puntos clave (la parte más importante al realizar la operación), razón de punto clave (especificar porque es la parte más importante) e imágenes (que detallen la operación visualmente).
2. Impresión de las Hojas de Operación Estándar: una vez registrada toda la información dentro del sistema, se procede a la impresión de las HOE's. Primero son impresas en formato pdf, para ser revisadas antes de su impresión en físico, con la finalidad de evitar un consumo de papel innecesario. Una vez revisadas, se procede la impresión en físico de las HOE's.
3. Colocación de las HOE's en carpetas: una vez impresas en físico, las HOE's son colocadas en carpetas de colores según el modelo de los automóviles. Con la finalidad de que el operario pueda reconocer rápidamente la carpeta que desea.
4. Recolección de firmas para validación de información: los documentos se presentan ante los supervisores quienes revisan la información y firman para validar la introducción de las HOE's en los puestos de trabajo.
5. Colocación en los puestos de trabajo: se colocan las HOE's en los puestos de trabajo correspondientes y se verifica que los operarios realicen las operaciones en el orden que se estableció.
6. Auditorías de estandarización mensual: se establece contacto con el departamento de estandarización de la empresa y se pautó la realización de una auditoría interna mensual. Se establecen mejoras en aquellos aspectos donde los resultados no obtuvieron la máxima calificación, con la finalidad de implantar una mejora continua.

Metodología a desarrollar

A continuación se describe el procedimiento establecido con una serie de pasos a seguir para poder cumplir con el objetivo del proyecto.

1. Describir el objeto bajo estudio: e realizó un recorrido en el departamento de servicio para identificar las diferentes áreas y el lugar en el que se lleva a cabo cada operación, con esta información se elaboró una descripción y distribución de área del departamento de servicio y se realizó una identificación de las áreas donde se llevara a cabo el proceso del servicio mayor.

2. Analizar formato y contenido de la hoja de operación estándar genérica: se examinó el formato de hoja de operación estándar genérica actual para verificar el número total de actividades que se realizan en el proceso mecánico del servicio mayor, los puntos críticos de cada actividad, el equipo de seguridad y herramientas necesarias para lograr dicho proceso.

3. Determinar las actividades que se deben realizar por cada modelo: se revisó el manual de mantenimiento de servicios para determinar las actividades que se realizan en cada tipo de modelo de vehículo, a sus diferentes kilometrajes para poder generar la tabla de relación de actividades que consiste en la cantidad de actividades que se tiene que realizar por cada modelo en el servicio mayor.

4. Determinar los tiempos en los que se realiza cada actividad: primeramente, se observaron dos servicios mayores de diferentes modelos de vehículo para conocer las diferentes actividades que se realizan en cada uno. Posteriormente se realizará una toma de tiempos de cada actividad para generar el tiempo estándar de cada una de ellas, tomando en cuenta los minutos y segundos.

5. Actualizar hoja de operación estándar genérica: se analizó la hoja de operación estándar genérica actual identificando una serie de cambios, como agregar columnas de kilometrajes de 10 mil a 60 mil kilómetros, la columna de tiempo se redujo, colocación de fotos para un mayor entendimiento de cada una de las actividades, se agregaron más actividades con la ayuda del manual de mantenimiento de servicios y la observación de servicios.

Se añadió equipo de seguridad y herramientas utilizadas. Se obtuvo como resultado la nueva hoja de operación estándar genérica actualizada.

6. Elaborar hoja de operación estándar de cada modelo de vehículo: se analizó un servicio mayor de cada modelo para poder identificar las diferentes actividades que se realizan para después hacer la toma de tiempos de cada actividad utilizando un cronómetro, luego generar evidencias y nuevas notas de operación. Posteriormente se verificó las actividades de cada modelo de vehículo con ayuda del manual de mantenimiento de servicios y se realimentaron las actividades con la tabla de relación de actividades para comenzar a generar la hoja de operación estándar de cada modelo de vehículo.

7. Validar hojas de operación estándar elaboradas: se organizó una reunión con los ingenieros del departamento de servicio para validar y explicar detalladamente el formato de hoja de operación estándar. En la reunión se observó si las actividades tenían una secuencia, cuáles actividades se habían añadido y los cambios que se le hicieron al formato. Una vez concluida la reunión se hizo entrega de las hojas de operación estándar de forma física para la generación de firma de cada una de ellas.

Resultados

1. Descripción del objeto bajo estudio

Se llevó a cabo un recorrido en el departamento de servicio con el fin de identificar las distintas áreas en las que se realiza el proceso mecánico del servicio mayor, el cual está conformado por dos naves industriales, la primera nave se conforma por siete rampas y una alineadora, la segunda se conforma por ocho rampas. El área de servicio cuenta con 15 técnicos, dos auxiliares y un alineador, quienes se encuentran distribuidos en las dos rampas, ver Figura 3.

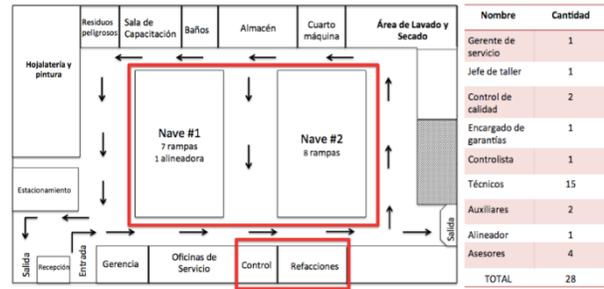


Figura 3 Distribución de planta y cantidad de empleados
Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa

Los clientes internos del taller de servicio son las áreas de: ventas, seminuevos, refacciones y hojalatería y pintura. Los proveedores internos son refacciones, administración, carrocería y recursos humanos. Los proveedores externos son tapiceros, proveedor de herramientas, taller privado.

2. Análisis del formato y contenido de la hoja de operación estándar genérica

Examinando el formato de hoja de operación estándar (HOE) genérica se determinó el número total de actividades que se realizan en el proceso mecánico el servicio mayor y las herramientas necesarias para lograr este proceso, ver Tabla 2.

Actual	Propuesta
Nombre de la operación	Nombre de la operación
Equipo de seguridad (4)	Equipo de seguridad
Herramientas (11)	Herramientas
Modelo	Modelo
Tiempos de aprendizaje	Tiempo de aprendizaje
Fecha	Fecha
Pasos principales	Pasos principales
Columnas de tiempo, minutos y segundos (2)	Columna de tiempo (1)
Punto crítico	Punto crítico
Notas de operación	Notas de operación
24 actividades	39 actividades (+15 actividades)
	Columnas de kilometraje (10,000 Km. a 60,000 Km.)

Tabla 2 Análisis del formato HOE
Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa

Se convocó una reunión con los ingenieros del departamento de servicio, con la finalidad de poder encontrar puntos de mejora del formato de hoja de operación estándar genérica, entre los puntos críticos se encontró que en la HOE genérica no cumplía con los requisitos necesarios, las posibles modificaciones fueron que la columna de tiempo se redujera a una para reducir espacio y columnas de kilometraje.

3. Determinación de las actividades que se deben realizar por cada modelo

Una vez revisado el manual de mantenimiento de servicios y después de observar las actividades que se realizan en el proceso mecánico del servicio mayor, se generó una tabla con la cantidad de actividades que se realizan por cada modelo en los diferentes kilometrajes, ver Tabla 3.

Modelo/K m.	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000
A	24	28	24	35	24	29
B	19	25	19	32	19	25
C	19	25	19	32	19	25
D	18	26	18	33	18	26
E	19	25	19	32	19	25
F	20	33	20	39	20	33
G	17	26	17	34	17	26
H	18	25	18	33	18	25
I	19	25	19	32	19	25
J	19	28	19	35	19	28
K	18	27	18	34	18	27
L	18	28	18	36	18	28
M	18	28	18	35	18	28

Tabla 3 Cantidad de actividades realizadas por modelo
Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa

Con la tabla de actividades realizadas por modelo, se conoció el número total de actividades que se realizan en cada kilometraje por cada diferente tipo de modelo. Se toma como base esta información para realizar las hojas de operación estándar por modelo.

4. Determinación de los tiempos en los que se realiza cada actividad

En primer lugar se observaron dos servicios mayores los cuales eran de diferentes modelos de vehículo con el fin de distinguir las actividades que se realizan en los servicios de cada uno de los vehículos. Después se llevo a cabo una toma de tiempos de cada actividad que realiza el técnico, con el fin de obtener el tiempo estándar de cada una de las actividades. Se generó una tabla de toma de tiempos de cada actividad, ver Tabla 4.

#	Actividad	Tiempos (s).			Prom	Mín	Seg
1	Recibir trabajo asignado por control y pasar a ventanilla de refacciones para el suministro de consumibles requeridos.	10	10	10	10		10
2	Recibir de ventanilla de refacciones las piezas solicitadas.	110	130	114	118	1	58
3	Trasladar vehículo a rampa.	192	202	182	192	3	12
4	Preparar vehículo (colocar en rampa y protecciones).	79	47	63	63	1	3
5	Preparar herramienta y refacciones.	30	35	25	30		30
6	Colocar limpiador interno para motor.	23	45	34	34		34
7	Drenar el aceite de motor, anticongelante y reemplazar filtro de aire.	246	537	391	391.33	6	31
8	Revisar las bandas impulsoras de accesorios.	5	5	5	5		5
9	Inspeccionar filtro de combustible.	5	5	5	5		5
10	Revisar mangueras del sistema de ventilación de los vapores del tanque de combustible.	5	5	5	5		5

Tabla 4 Toma de tiempos de cada actividad
Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa

Con la toma de tiempos de cada actividad de servicios observados, se pudo conocer el tiempo estándar necesario de cada actividad para poder colocarlo en la columna de tiempo de la hoja de operación estándar.

5. Actualización de hoja de operación estándar genérica

Revisando la hoja de operación estándar genérica actual, se pudo identificar los cambios necesarios para la actualización donde se agregaron seis columnas de kilometrajes, las cuales van de 10 mil kilómetros en 10 mil kilómetros, hasta llegar a 60 mil kilómetros. También se agregaron nuevos equipos de seguridad siendo un total de siete elementos y 18 herramientas.

Se anexaron fotografías y nuevas notas de operación. Por otra parte se tuvo un total de 39 actividades, ver Tabla 5.

HOE Actual generica	HOE Actualizada generica
Nombre de la operación	Nombres de la operación
Equipo de seguridad (4)	✓ Equipo de seguridad (7)
Herramientas (11)	✓ Herramientas (18)
Modelo	Modelo
Tiempos de aprendizaje	Tiempo de aprendizaje
Fecha	Fecha
Pasos principales	✓ Pasos principales
Columnas de tiempo, minutos y segundos (2)	✓ Columna de tiempo (1)
Punto crítico	Punto crítico
Notas de operación	✓ Nuevas notas de operación
24 actividades	✓ 39 actividades
	✓ Evidencias
	✓ Columnas de kilometraje (10,000 Km. a 60,000 Km.)

Tabla 5 Contenido de la HOE actual y actualizada

Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la empresa*

6. Elaboración de hoja de operación estándar de cada modelo de vehículo

Examinando los servicios mayores de cada uno de los modelos se identificaron las actividades que se realizan en cada servicio, se hizo la toma de tiempos de cada actividad, para obtener evidencias y nuevas notas de operación. Después se comprobó las actividades que se deben realizar en cada servicio con ayuda del manual de mantenimiento de servicios para poder generar la HOE de cada modelo de vehículo, ver Tabla 6.

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M

Tabla 6 HOE's de cada modelo de vehículo

Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la empresa.*

7. Validación de hojas de operación estándar elaboradas

En este último paso se convocó a una reunión con los ingenieros del departamento para la validación y explicación de las hojas de operación estándar elaboradas. El objetivo de la reunión fue principalmente para la validación de los documentos elaborados, los puntos más importantes fueron, si había una secuencia en las actividades, cuáles eran las actividades nuevas y las modificaciones que se le hicieron al formato según los requisitos solicitados de la empresa. Al finalizar la reunión se hizo entrega de los formatos elaborados para la firma de cada uno de ellos.

Como resultado de la reunión con los ingenieros, se llegó a la conclusión de que se agregaron 15 actividades nuevas, ver Tabla 7.

Actual	Actualizada
1. Recibir trabajo asignado por control y pasar a ventanilla de refacciones para el suministro de consumibles requeridos.	1. Recibir trabajo asignado por control y pasar a ventanilla de refacciones para el suministro de consumibles requeridos.
2. Recibir de ventanilla de refacciones las piezas solicitadas.	2. Recibir de ventanilla de refacciones las piezas solicitadas.
3. Trasladar vehículo a rampa.	3. Trasladar vehículo a rampa.
4. Preparar vehículo (colocar en rampa y protecciones).	4. Preparar vehículo (colocar en rampa y protecciones).
5. Drenar anticongelante.	5. Preparar herramienta y refacciones.
6. Preparar herramienta y refacciones.	6. Colocar limpiador interno para motor.
7. Reemplazar filtro de aire tipo papel viscoso.	7. Drenar el aceite de Motor, anticongelante y reemplazar filtro de aceite.
8. Drenar el aceite de Motor y quitar filtro de aceite.	8. Revisar las bandas impulsoras de accesorios.
9. Revisar y calibrar presión de neumáticos.	9. Inspeccionar filtro de combustible.
10. Revisar sistema de frenos, motor y suspensión, entre otros (puntos de seguridad).	10. Revisar mangueras del sistema de ventilación de los vapores del tanque de combustible.
11. Cables y líneas del sistema de frenos.	11. Inspeccionar balatas, discos rotores, tambores, pastillas de freno, cables y líneas de frenos.
12. Balancear neumáticos.	12. Inspeccionar la flecha propulsora y la grasa de los cojinetes de las ruedas delanteras.
13. Rotar Llantas.	13. Revisar el mecanismo y varillaje de la dirección, ejes y partes de la suspensión, cubrepolvos de las flechas de velocidad constante.
14. Colocar aceite nuevo al motor.	14. Inspeccionar el sistema de escape.
15. Reemplazar anticongelante.	15. Revisar y calibrar presión de neumáticos.
16. Colocar shampoo y agua en depósito chisguetero.	16. Balancear neumáticos.
17. Realizar limpieza de terminales de batería y bisagras de puertas y cofre.	17. Permutar neumáticos.
18. Colocar líquido de frenos (si es necesario).	18. Inspeccionar sistema de enfriamiento del motor.
19. Quitar patas de la rampa y retirar el protector para posteriormente cerrar el cofre.	19. Colocar aceite nuevo al motor.
20. Preparar refacciones para cliente.	20. Colocar shampoo y agua en depósito chisguetero.
21. Lubricar y ajustar (si es necesario) cerraduras, bisagras y cerrojo de puertas y cofre.	21. Reemplazar bujías.
22. Realizar prueba vehicular para asegurarse de que todo esta correctamente bien, esta pude ser dentro de las instalaciones del taller o si se requiere fuera de la instalaciones (en caso de requerirse).	22. Ver cables de bujías.
23. Asearse.	23. Revisar el líquido de frenos y embrague.
24. Llenar recordatorio de próximo servicio.	24. Inspeccionar el nivel de aceite de la transmisión manual/automática.
25. Requisar check list.	25. Revisar nivel de aceite de transmisión continuamente variable (CVT).
26. Estacionar vehículo y entregar formatos a controlista (Orden trabajo, Orden de reparación y Check list de control de calidad debidamente lleno y firmado).	26. Inspeccionar líneas/conexiones de combustible.
	27. Revisar el sistema de ventilación positiva del cárter (Filtro PCV).
	28. Reemplazar filtro de aire del compartimento de pasajeros (aire acondicionado).
	29. Reemplazar filtro de aire del motor (tipo de papel viscoso/seco).
	30. Inspeccionar holgura de las válvulas del motor.
	31. Revisa Batería.
	32. Inspeccionar cables de encendido.
	33. Apretar soportes de carrocería.
	34. Quitar patas de la rampa y retirar el protector para posteriormente cerrar el cofre.
	35. Preparar refacciones para cliente.
	36. Realizar prueba vehicular para asegurarse de que todo esta correctamente bien, esta pude ser dentro de las instalaciones del taller o si se requiere fuera de la instalaciones (en caso de requerirse).
	37. Llenar recordatorio de próximo servicio.
	38. Llenar check list.
	39. Estacionar vehículo y entregar formatos a controlista (Orden trabajo, Orden de reparación y Check list de control de calidad debidamente lleno y firmado).

Tabla 7 Actividades de la HOE genérica actual y la actualizada

Fuente: *Elaboración propia con información proporcionada por la empresa*

A continuación, se muestra la realimentación de las hojas de operación estándar, ver Tabla 8.

Modelo	Observaciones
A	– Reducción de columnas de kilometraje
B	
C	– Corrección de redacción en puntos críticos
D	
E	– Se agregaron imágenes
F	– Eliminación de cuadrícula
G	– Revisión de Ortografía
H	– Pasos
I	principales/Actividades
J	– Asignar claves
K	
L	
M	

Tabla 8 Realimentación de las hojas de operación estándar
Fuente: *Elaboración Propia*

En la siguiente tabla se muestran las claves establecidas para cada hoja de operación estándar de cada modelo de vehículo, ver Tabla 9.

Nombre de hoja de operación estándar	Clave
1. A	HOE-SR-05-TS
2. B	HOE-SR-05-MR
3. C	HOE-SR-05-VR
4. D	HOE-SR-05-SN
5. E	HOE-SR-05-TD
6. F	HOE-SR-05-D22
7. G	HOE-SR-05-D23
8. H	HOE-SR-05-UR
9. I	HOE-SR-05-KC
10. J	HOE-SR-05-XT
11. K	HOE-SR-05-RG
12. L	HOE-SR-05-PT
13. M	HOE-SR-05-AR

Tabla 9 Claves de cada hoja de operación estándar por modelo
Fuente: *Elaboración Propia*

Conclusiones

La elaboración de este proyecto de mejora en uno de los procesos fundamentales de una empresa automotriz de la región el cuál es el proceso mecánico del servicio mayor, impacta directamente en el aumento del desempeño del departamento de servicio, en la calidad del servicio y en la mejora continua de la empresa, dando como resultado una alta competitividad en el mercado.

Es un punto clave que las empresas de este giro tengan establecido métodos y tiempos los cuales permitan tener un orden, control y estandarización en los procesos, al igual que tengan establecidos sus objetivos y metas.

Al realizar el proyecto, se conoció la importancia y relevancia que tienen las hojas de operación estándar en el taller de servicio y se logro el objetivo del proyecto ya que se actualizó la HOE genérica y se elaboraron 13 hojas de operación estándar en el área de servicio y que al implementarse se podría disminuir el tiempo de ciclo del proceso, ya que las actividades estarán estandarizadas.

Se recomienda que se lleve a cabo la implementación del proyecto ya que es de gran ayuda para mejorar la productividad en el departamento de servicio, ayudando con la satisfacción del cliente y teniendo siempre servicios de calidad.

También se recomienda establecer una persona que se encargue de la estandarización, que sea responsable del procedimiento que realizan los técnicos al realizar los servicios y del uso continuo de las hojas de operación estándar. Otro punto seria establecer auditorias mensuales de estandarización, establecer responsables y plazos de tiempo limitados para cumplir con los objetivos propuestos.

Otra recomendación es que se implementen planes de capacitación para un entrenamiento personal del conocimiento de la hoja de operación estándar y del procedimiento a seguir para que de esta manera los técnicos logren un ritmo de trabajo adecuado sin ocio ni quejas de los clientes.

Referencias

Alducin, J. (2015). “Diseño de una línea de ensamble para una empresa de la industria automotriz”. (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. México D.F.)

Cuatrecasas, L., y González, J. (2017). Gestión integral de la calidad. Profit Editorial.

Fraga, C. (2012). Establecer el procedimiento e implantar las hojas de operación estándar en taller de pintura de automóviles. (Tesis de Licenciatura, Universidad Simón Bolívar). Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000158123.pdf>

González, F. (2007) Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales herramientas. Panorama Administrativo. 85-112. Recuperado de [admon.itc.mx/ojs/index.php/panorama/article/.../70&a=bi&pagenumber=1&w=100](http://admon.itc.mx/ojs/index.php/panorama/article/view/70&a=bi&pagenumber=1&w=100)

Hernández, G., y Godínez, A. (2014). El gran libros de los procesos esbeltos. Ignius Media Innovation.

Madariaga, F. (2013). Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos. Bubok Publishing.

Nissan (2017). Recuperado de <http://nissannews.com/es-MX/nissan/mexico>.

Pérez, J. (1994). Gestión de la calidad empresarial: Calidad en los servicios y atención al cliente (ESIC EDITO, p. 264).

Piñeyro, Di Meglio y Piñero:(2011) Desarrollo Regional e Inversión Extranjera Directa en el Sector Automotriz. Desempeño, composición y asimetrías entre Argentina y Brasil (2000-2009), Edición electrónica gratuita.

ProMéxico (2016). La industria automotriz: situación actual, retos y oportunidades (1a edición, pp. 1–19). México D.F. (México): Secretaría de Economía.

Rajadell, M., y Sanchez, J. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad. Díaz de Santos, Ed.

Rodríguez, E. Vargas, L. (2010). Aplicación de la técnica kaizen para incrementar el estándar de producción en una empresa manufacturera de autopartes. (Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional. México D.F.)

Sangri, A., y Sánchez, M. (2015). Implantación del “Programa de planeación avanzada de la calidad” en la industria automotriz. (Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional).

Socconini, L. (2008). Lean manufacturing “paso a paso.” Norma, Ed.

Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos

Effect of interior flow in cylindrical vessels due to change in pitch blade impellers

LIZARDI-RAMOS, Arturo†*, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, C.P. 02200, Ciudad de México, CDMX, México.

ID 1^{er} Autor: Arturo, Lizardi-Ramos / ID: 7801325509

ID 1^{er} Coautor: Raymundo, López-Callejas / ORC ID: 0000-0001-9415-3435, ID: 6701841230, CVU CONACYT ID: 213601

ID 2^{do} Coautor: Hilario, Terres-Peña / ORC ID: 0000-0001-7996-5734, ID: 56483182900, CVU CONACYT ID: 98093

ID 3^{er} Coautor: Mabel, Vaca-Mier / ORC ID: 0000-0002-1341-7863, ID: 23092146200, CVU CONACYT ID: 12369

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

Resumen

Se presenta la comparación del comportamiento del flujo dentro de una cámara cilíndrica cerrada que es producido por un impulsor de disco, uno de flujo radial, y cuatro de flujo axial, con álabes verticales inclinados a un ángulo de +30°, -30°, +60° y -60°. El modelo matemático se basa en las ecuaciones de continuidad y de conservación del momentum en coordenadas polares cilíndricas para flujo permanente y para un fluido incompresible. Los resultados se presentan a través de los campos del vector velocidad () y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w). En todos los casos se maneja una velocidad angular constante, la misma relación radio/altura del depósito y agua como fluido de trabajo. El número de Reynolds acorde a las condiciones del sistema y al fluido empleado fue de 2.74×10^4 . Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados +30°, -30°, +60° y -60°), respecto al de disco, se encontró que: la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 442.68, 473.55, 416.63, 393.18 y 359.12%, respectivamente; y la componente de velocidad axial positiva (w), por encima de los impulsores, aumentó 371.46, 405.71, 294.54, 275.93 y 186.84%, respectivamente.

Impulsor Radial, Impulsor Axial, Velocidad Radial, Velocidad Axial

Abstract

The flow behavior within a closed cylindrical chamber that is produced by a disc impellers, one of radial flow, and four of axial flow, with vertical blades inclined at an angle of + 30°, -30°, + 60° and -60°, is presented. The mathematical model is based on the equations of continuity and conservation of momentum in cylindrical polar coordinates for steady-state flow and incompressible fluid. Results are presented through the fields of the velocity vector () and the components of radial (u) and axial (w) velocities. In all cases, a constant angular velocity, the same radius/height ratio of the tank and water as a working fluid are maintained. The Reynolds number, according to the conditions of the system and the used fluid was 2.74×10^4 . When comparing the results of the radial-flow impeller and those of axial-flow (with +30°, -30°, +60° and -60° inclined-blades), against the disc impeller, it was found that: the component of the positive radial velocity (u) increased 442.68, 473.55, 416.63, 393.18, and 359.12%, respectively; and the component of the positive axial velocity (w), above the impellers, increased 371.46, 405.71, 294.54, 275.93, and 186.84%, respectively.

Radial Flow Impeller, Axial Flow Impeller, Radial Velocity, Axial Velocity

Citación: LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel. Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-6: 13-22.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (arlr@correo.azc.uam.mx)

Nomenclatura

g	aceleración gravitatoria (m/s^2)
k	conductividad térmica ($W/m K$)
r	coordenada radial (m)
u	componente de velocidad radial (m/s)
v	componente de velocidad tangencial (m/s)
w	componente de velocidad axial (m/s)
z	coordenada axial (m)
C	calor específico ($J/kg K$)
P	presión (Pa)
Re	número de Reynolds
\vec{v}	vector velocidad (m/s)
α	ángulo entre el eje y el álabe del impulsor (grados)
β	coeficiente de expansión volumétrica ($1/K$)
ν	viscosidad cinemática (m^2/s)
μ	viscosidad dinámica ($kg/m s$)
ρ	densidad (kg/m^3)
ω	velocidad angular del impulsor (rad/s)
θ	coordenada tangencial (rad)

Introducción

Los sistemas rotatorios impulsor-cilindro tienen un campo de aplicaciones muy extenso, uno de los usos más importantes se encuentra en los procesos de agitación y mezclado. La agitación tiene como objetivo generar en un fluido, a través de medios mecánicos, un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. El mezclado es una operación más compleja cuyo objetivo fundamental es conseguir la máxima interposición entre varios componentes y una distribución lo más homogénea posible de los mismos. El mezclado se puede llevar a cabo entre un líquido y un sólido (suspensión), un líquido y un gas (dispersión), dos líquidos inmiscibles (emulsión) y dos líquidos miscibles (mezcla), Geankoplis [1], Oldshue [2].

Los equipos utilizados para el proceso de agitación y mezclado constan de un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto a la atmósfera), un agitador o impulsor, y un eje, dónde por un lado se monta el agitador y por el otro se acopla el motor eléctrico. El tipo de flujo que se produce dentro del tanque agitado depende del tipo de impulsor, de las características del fluido, del tamaño del recipiente, entre otras. La velocidad del fluido en cualquier punto del tanque tiene las tres componentes de velocidad. La primer componente es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del impulsor.

La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete, Griskey [3].

Las expresiones matemáticas que describen el comportamiento dinámico del flujo rotatorio parten de las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento (Navier-Stokes) en forma diferencial y en coordenadas polares cilíndricas. La complejidad de la solución de las ecuaciones estriba en su no linealidad, en el acoplamiento de sus términos y en que la divergencia de la velocidad tiene que ser cero, por lo que es importante el uso de algoritmos numéricos eficientes que permitan obtener información sobre el comportamiento del flujo. En este trabajo, la ecuación de Navier-Stokes, se aborda desde el punto de vista de la dinámica de fluidos computacional a través del método numérico de diferencias finitas obteniéndose soluciones particulares para el caso específico de un recipiente cilíndrico cerrado.

Algunos trabajos reportados en la literatura que abordan el problema del flujo rotatorio son: Pao [4] quien propuso un método numérico para estudiar un fluido viscoso incompresible confinado en una cámara cilíndrica donde la tapa superior está rotando a una velocidad angular constante y las paredes y fondo del recipiente permanecen fijos. Se analiza la función corriente y la circulación, la distribución de velocidades y el coeficiente de par para un rango del número de Reynolds de 1 a 400. Bertelá y Gori [5] presentaron un método numérico que permite resolver el flujo estable y transitorio de un fluido dentro de una cámara cilíndrica con la cubierta rotando.

En el estudio se analizan las componentes de velocidad, líneas de corriente y coeficiente de torque para un número de Reynolds de 100 y 1000, y para una relación geométrica de 0.5, 1 y 2. Lang *et al.* [6] estudiaron numéricamente el flujo laminar estable en un cilindro fijo con un disco rotando en la tapa superior. El trabajo resalta el análisis del coeficiente de torque y de los flujos volumétricos primario y secundario para un rango del número de Reynolds de 1 a 10^5 y para una relación geométrica de 0.02 a 3.

Valentine y Jahnke [7] describieron el campo de flujo dentro de un contenedor cilíndrico inducido por la rotación de las tapas superior e inferior, manteniendo la pared lateral fija. En el trabajo se demuestra que se generan puntos de estancamiento a lo largo del eje de rotación entre el plano medio de simetría y las tapas en rotación. Las relaciones geométricas analizadas fueron 0.5, 0.8, 1.0, y 1.5, se examinaron en un intervalo de números de Reynolds de 100 a 2000. Khalili, *et al.* [8] proveyeron una solución numérica para un flujo laminar inducido, dentro de un cilindro, por un disco rotatorio situado asimétricamente respecto a la altura.

Presentaron el análisis de las líneas de corriente, de la componente de velocidad tangencial y del coeficiente de torque para distintos posicionamientos del disco, para una relación geométrica de 1 a 2 y para un rango de números de Reynolds de 1 a 5000. Yu, *et al.* [9] estudiaron numéricamente el flujo en una cámara cilíndrica cerrada con un disco giratorio en el fondo y cuyo radio es menor al de la cámara. El comportamiento del flujo se investigó para una amplia gama de parámetros. Se analizaron, en el plano meridional, las líneas de corriente, momento angular y vorticidad, para diferentes Reynolds (1000, 1500 y 2000), relación geométrica H/R (1.5) y relación de radios R/r_d (1.5, 1.8, 2.0, 2.2, 2.6, 3.0, 5.0).

Sturzenegger, *et al.* [10] estudiaron el flujo axisimétrico dentro de un recipiente cilíndrico con una varilla a lo largo de su eje de simetría. El flujo se produce por la rotación de uno de los extremos del cilindro, de ambos extremos, o de la pared lateral. Se presentan expresiones analíticas (para números de Reynolds bajos) del campo de velocidad azimutal, extendiendo la solución para el caso sin varilla. Achouri, *et al.* [11] realizaron un estudio de un tanque agitado con impulsores de pala inclinada PBT (Pitched Blade Turbine, por sus siglas en inglés) compuestos por seis alabes y con flujo descendente.

El tanque se simuló para flujos multifásicos de gas-líquido a una velocidad constante del impulsor de 480 rpm y con dos inclinaciones de alabes diferentes: 45° y 60° . En los resultados de la simulación se analizó el efecto de las inclinaciones de los alabes sobre la tasa de inducción de gas y la estructura de flujo.

El objetivo de este trabajo es conocer el desempeño del flujo de un fluido viscoso, incompresible, contenido en una cámara cilíndrica cerrada. Para producir el movimiento del fluido se emplean seis tipos de impulsor: uno de disco, uno de flujo radial con tres álabes, y cuatro de flujo axial con tres álabes verticales inclinados a un ángulo de $+30^\circ$, -30° , $+60^\circ$ y -60° . El modelo matemático se basa en la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas cilíndricas, en estado permanente, junto con las condiciones de frontera adecuadas.

El análisis de resultados se hace mediante la comparación de los campos del vector velocidad (\vec{V}) y del comportamiento de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w) a lo largo del eje axial y radial, respectivamente, para los seis tipos de impulsor y empleando agua como fluido de prueba. De acuerdo a la situación física de los sistemas empleados y al fluido de trabajo, el número de Reynolds que se maneja es de 2.74×10^4 .

Modelo Físico

El sistema a analizar se conforma de un recipiente cilíndrico vertical cerrado de 9 cm de diámetro por 9 cm de longitud, al cual se le colocan por separado seis impulsores: uno de disco, uno de flujo radial y cuatro de flujo axial. El impulsor de disco tiene 4 cm de diámetro por 0.5 cm de espesor (Fig. 1).

Los impulsores de flujo radial y axial tienen 4 cm de diámetro proyectado y tres álabes de 0.5 cm de altura por 0.1 cm de espesor. Además, los álabes de los impulsores de flujo axial tienen una inclinación, α , de 30° , -30° , 60° y -60° respecto al eje z (Fig. 2 y 3). Los impulsores están unidos a un eje de 1 cm de diámetro que gira a una velocidad angular constante de 13.61 rad/s. El dominio a simular se define como el agua, caracterizando sus propiedades físicas constantes y como un fluido viscoso e incompresible.

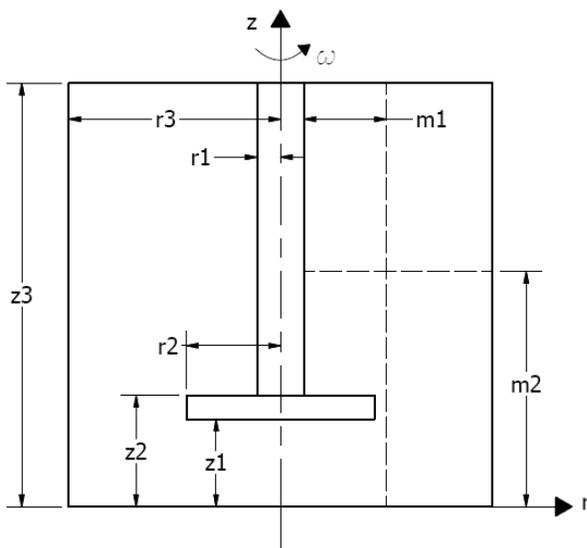


Figura 1 Modelo con impulsor de disco y líneas de referencia para el análisis de la velocidad radial y axial
Fuente: Elaboración Propia

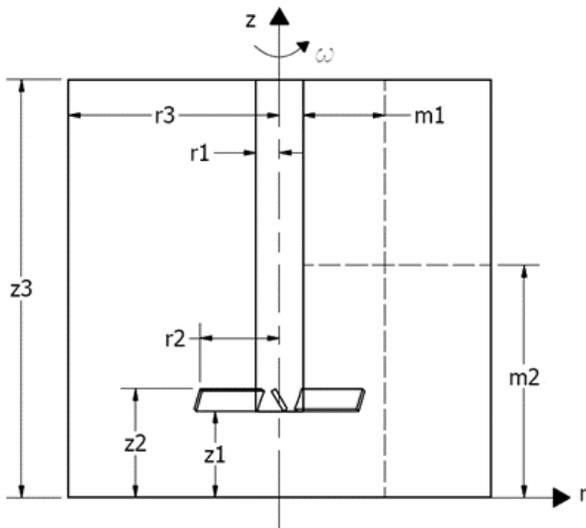


Figura 2 Modelo con impulsor de flujo radial y axial, y líneas de referencia para análisis de la velocidad radial y axial
Fuente: Elaboración Propia

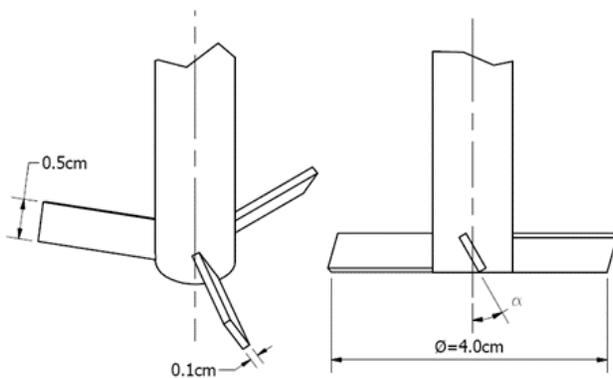


Figura 3 Detalle de los álabes del impulsor de flujo axial
Fuente: Elaboración Propia

Planteamiento matemático

Las ecuaciones que definen el movimiento circulatorio de un fluido viscoso, incompresible, en estado permanente, en el interior de un recipiente cilíndrico vertical, son las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas cilíndricas [12] y [13].

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (ru) + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v^2}{r} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\nabla^2 u - \frac{u}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right] \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} - \frac{uv}{r} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \nu \left[\nabla^2 v - \frac{v}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right] \quad (3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g \quad (4)$$

En estas expresiones se tienen como incógnitas las tres componentes de velocidad (u , v , y w) y la presión (P). Pero se tiene la peculiaridad de que la presión para cualquier parte del depósito depende de las componentes de velocidad. Las condiciones de frontera adecuadas para el caso del modelo con impulsor de disco se muestran en la Tabla 1, [14].

$r = 0,$ $0 \leq z \leq z_1$	$u = 0,$	$v = 0,$	$\frac{\partial w}{\partial r} = 0$	(5)
$r = r_3,$ $0 \leq z \leq z_3$	$u = 0,$	$v = 0,$	$w = 0$	(6)
$0 \leq r \leq r_2$ $z = z_1,$ $r_1 \leq r \leq r_2$ $z = z_2$	$u = 0,$	$v = \omega r,$	$w = 0$	(7)
$z_1 \leq z \leq z_2$ $r = r_2$ $z_2 \leq z \leq z_3$ $r = r_1,$	$u = 0,$	$v = \omega r,$	$w = 0$	(8)
$z = 0,$ $0 \leq r \leq r_3$ $z = z_3,$ $r_1 \leq r \leq r_3$	$u = 0,$	$v = 0,$	$w = 0$	(9)

Tabla 1 Condiciones de frontera para el modelo con impulsor de disco

Fuente: Elaboración Propia

En este conjunto de ecuaciones r_1 , r_2 y r_3 corresponden al radio del eje, del impulsor y del depósito, respectivamente; z_1 , z_2 y z_3 son las distancias desde el fondo del cilindro hasta la parte inferior del impulsor, parte superior del mismo y tapa del tanque, respectivamente; y ω es la velocidad angular con que gira el impulsor (Figs. 1, 2). Para este sistema el número de Reynolds (Re) se define con la siguiente expresión.

$$Re = \frac{\Omega r_z^2}{\nu} \quad (10)$$

Para los sistemas con impulsor de flujo radial y axial las condiciones de frontera son similares a las del impulsor de disco a diferencia de que se le asigna la condición de no deslizamiento, y la expresión $v = \omega r$, a la superficie de los álabes del impulsor.

Análisis numérico

La solución de las ecuaciones de Navier-Stokes en coordenadas polares cilíndricas (1) (2), (3) y (4), junto con las condiciones de frontera (5) a (9), se logró obtener al emplear el método numérico del elemento finito, a través del software COMSOL MULTIPHYSICS. La metodología empleada fue la siguiente [15]:

a) Se selecciona en el software el entorno gráfico del modelo a desarrollar. En este caso: modelo en 3D.

b) Se dibuja la geometría a analizar y se generan los elementos en el sistema. Para este caso se dibujó un cilindro de 9 cm de diámetro por 9 cm de alto y un eje para los impulsores de 1 cm de diámetro por 6.64 cm de altura. Un impulsor de disco de 4 cm de diámetro por 0.5 cm de espesor. Unos impulsores de flujo radial y axial de 4 cm de diámetro proyectado con tres álabes de 0.5 cm de altura por 0.1 cm de espesor. Los álabes de los impulsores de flujo axial se dibujaron con una inclinación, α , de 30° , -30° , 60° y -60° respecto al eje z.

En el sistema con impulsor de disco se generaron 129732 elementos, Fig. 4. En el de impulsor de flujo radial se generaron 182459 elementos. Y en los sistemas con impulsor de flujo axial con álabes inclinados 30° , -30° , 60° y -60° , se generaron 179935, 172828, 177664, 147211 elementos, respectivamente, Fig. 5.

Se analizó la independencia del tamaño de la malla y su relación con los resultados de la velocidad del flujo. Se determinó que para una malla más fina que la construida, los valores de la velocidad del flujo son prácticamente los mismos, por lo que la malla elegida es la adecuada.

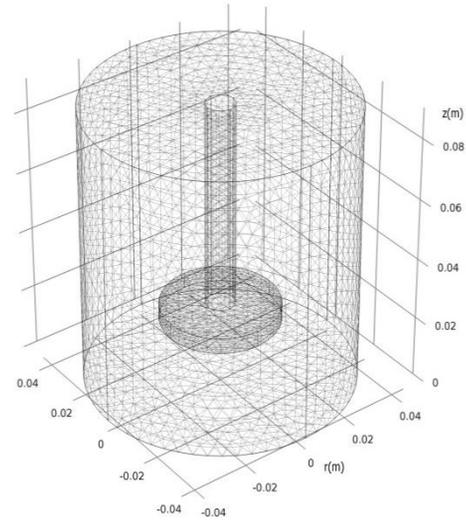


Figura 4 Malla para el depósito con impulsor de disco
Fuente: Elaboración Propia

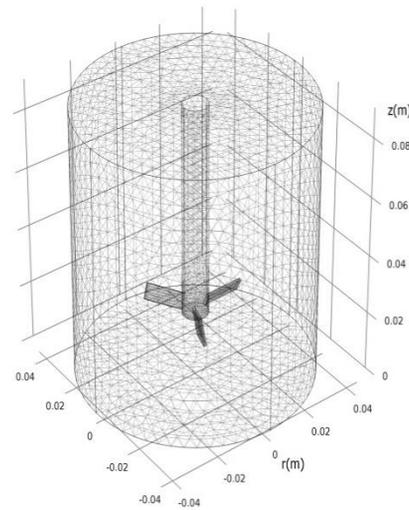


Figura 5 Malla para el depósito con impulsor de flujo axial
Fuente: Elaboración Propia

c) Se introduce el valor de las propiedades del fluido, en este caso agua, cuyas propiedades permanecen constantes: viscosidad dinámica (μ), densidad (ρ), calor específico (C), coeficiente de expansión volumétrico (β) y conductividad térmica (k). La presión se modeló con el algoritmo de relajación (TDMA) y se utilizó el modelo $k-\epsilon$ estándar, pues es un modelo con número de Reynolds alto y supone la viscosidad turbulenta como isotrópica.

d) Se introducen las condiciones de frontera y se da el valor de la velocidad angular a la que va a girar el impulsor, en este caso 13.61 rad/s en sentido horario. e) Se efectúa la simulación del modelo hasta converger. De los resultados obtenidos, se exportan los valores de los campos de velocidad (\vec{V}) y de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w).

Resultados y discusión

Una vez elaborada la configuración del sistema y la programación del modelo numérico se efectuaron las corridas. Para los casos estudiados, con agua como fluido de trabajo y con la geometría antes descrita, se obtuvo un número de Reynolds de 2.74×10^4 .

El sistema se dimensionó de la siguiente manera: $r_1=0.5$ cm, $r_2=2$ cm, $r_3=4.5$ cm, $z_1=1.86$ cm, $z_2=2.36$ cm, $z_3=9$ cm, $n=3$ álabes, ángulo de inclinación de los álabes $\alpha=0^\circ, 30^\circ, -30^\circ, 60^\circ, -60^\circ$ y $\omega=13.61$ rad/s.

Los campos de velocidad (\vec{V}) para los sistemas con impulsor de disco, flujo radial y axial se muestran en las Figs. 6 a 11. En ellas se han colocado las magnitudes de la velocidad en ciertas posiciones constantes de interés para todos los casos, además se considera la dirección del flujo positiva en sentido horario (+) y negativa en sentido anti horario (-).

En el sistema con impulsor de disco, Fig. 6, se observa que el fluido se dirige hacia las paredes del depósito. Al acercarse a esta frontera el flujo se divide en dos: una parte se mueve hacia el fondo del cilindro y otra hacia la parte superior. Se aprecia que el fluido que se encuentra por debajo del impulsor forma un movimiento circulatorio en sentido horario (lado derecho), éste se genera de manera uniforme alrededor de todo el recipiente.

El mismo fenómeno se presenta en la parte superior del impulsor solo que en sentido anti horario. El campo de velocidades muestra que en las proximidades del disco y del eje de rotación se presentan los valores más altos de la velocidad y que lejos de los mismos su magnitud va disminuyendo, haciéndose presente la condición de frontera de no deslizamiento en las paredes, fondo y superficie rígida del depósito.

Los valores que toma el vector velocidad \vec{V} en los núcleos de lado derecho son: $+0.0136$ y -0.0066 m/s, respectivamente.

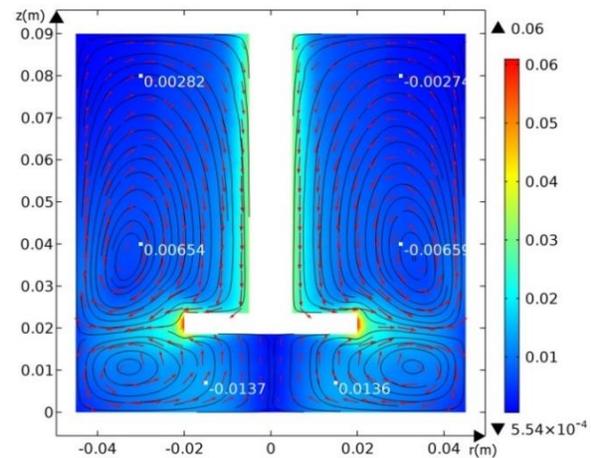


Figura 6 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de disco para $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

En el sistema con impulsor de flujo radial (álabes con $\alpha=0^\circ$), Fig. 7, se observa el mismo comportamiento del caso anterior, pero con una magnitud mayor del vector velocidad. Esto se debe a que la forma de los álabes del impulsor produce un movimiento radial más intenso y desplazan al fluido con mayor velocidad hacia las paredes del depósito. Los valores que toma el vector velocidad \vec{V} , en los núcleos de lado derecho son: $+0.0344$ y -0.0323 m/s, respectivamente.

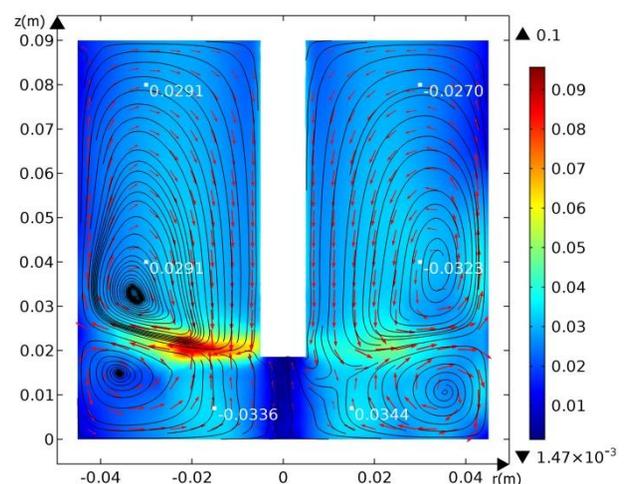


Figura 7 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de flujo radial ($\alpha=0^\circ$) y $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

En los sistemas con impulsor de flujo axial con álabes inclinados a $\alpha=+30^\circ$ y $+60^\circ$, Figs. 8 y 9, se aprecia el mismo comportamiento, es decir, el flujo en la parte derecha se compone de dos movimientos circulatorios, uno en sentido horario, ubicado por debajo de los impulsores, y otro en sentido anti horario, ubicado por encima de los mismos.

En estos casos también se observa que la magnitud del vector velocidad es mayor, comparada con la del depósito con impulsor de disco. Lo anterior obedece a que la inclinación de los álabes de los impulsores favorece al desarrollo tanto del flujo radial como axial, beneficiándose más este último. Cuando los impulsores giran en sentido horario, las palas inducen al fluido a moverse axialmente hacia la parte inferior del cilindro. Esto se aprecia claramente al ver el tamaño de los vórtices que se generan por debajo de los impulsores. Para los álabes con inclinación de $+30^\circ$ se observa una región más grande que la de los álabes con $+60^\circ$, es decir, a mayor ángulo de inclinación se favorece más el flujo axial hacia el fondo del recipiente. Los valores que toma el vector velocidad \vec{V} , en los núcleos de lado derecho, para $\alpha=+30^\circ$ y $+60^\circ$ son: $+0.0324$, -0.0358 y $+0.0194$, -0.0215 , respectivamente.

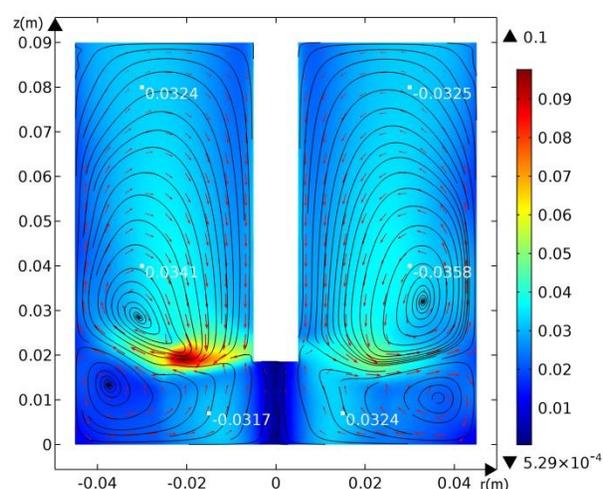


Figura 8 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=30^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$
Fuente: Elaboración Propia

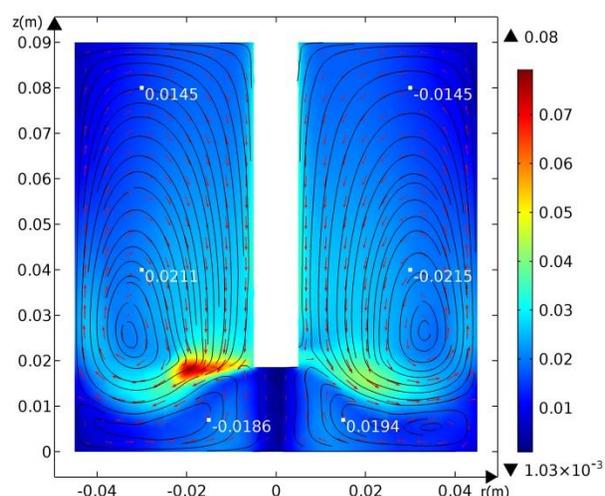


Figura 9 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=60^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en los sistemas con impulsor de flujo axial con álabes inclinados a $\alpha=-30^\circ$ y -60° , Figs. 10 y 11, se observa el mismo comportamiento de los casos anteriores respecto a los flujos producidos y al incremento de la velocidad respecto al impulsor de disco. En estos casos la inclinación de los álabes de los impulsores también favorece al desarrollo del flujo radial y axial.

A diferencia de los casos anteriores, cuando los impulsores giran en sentido horario, las palas inducen al fluido a moverse axialmente hacia la parte superior del cilindro. Esto se aprecia al ver el aumento del tamaño de los vórtices que se generan por debajo de los impulsores, siendo éstos mayores que para los casos con $\alpha=+30^\circ$ y $+60^\circ$. Cuando los álabes tienen una inclinación de -30° se observa un vórtice ligeramente menor que el de los álabes con -60° , es decir, a mayor ángulo de inclinación se favorece más el flujo axial hacia la parte superior del recipiente. Los valores que toma el vector velocidad \vec{V} , en los núcleos de lado derecho, para $\alpha=-30^\circ$ y -60° son: $+0.0353$, -0.0134 y $+0.0373$, -0.0248 m/s, respectivamente.

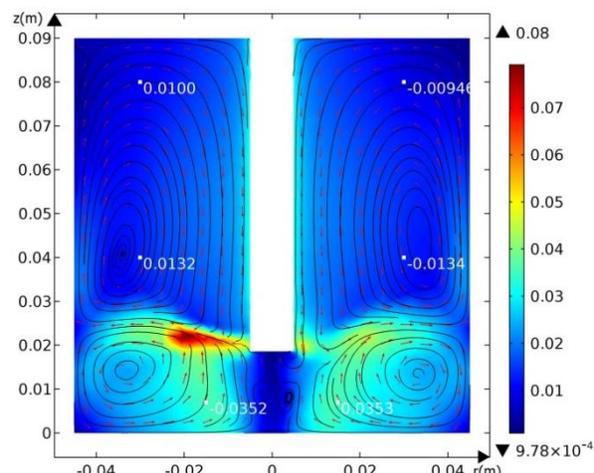


Figura 10 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=-30^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$
Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° y -60°), respecto al de disco, se encontró que la magnitud de la velocidad en los vórtices positivos ubicados por debajo de los impulsores aumentó 152.94, 128.23, 42.65, 159.56 y 174.26%, respectivamente.

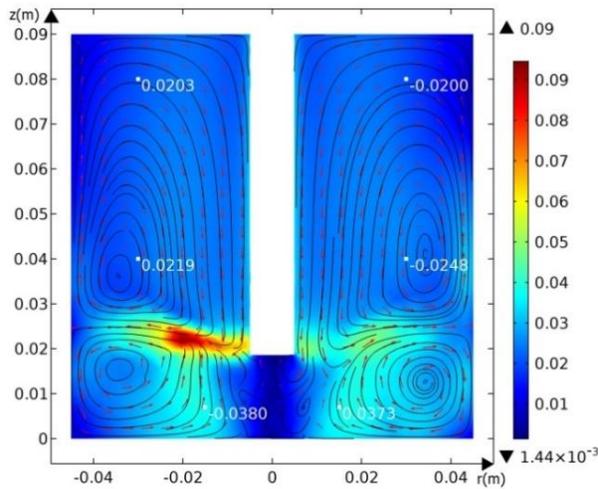


Figura 11 Campo de velocidades (\vec{V}) con impulsor de flujo axial con $\alpha=-60^\circ$ y $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

Para analizar más detalladamente el movimiento del fluido en el recipiente, se hicieron gráficas del comportamiento de las componentes de velocidad radial (u) y axial (w).

El comportamiento de la componente de velocidad radial (u) al variar la posición de la coordenada “z”, en el radio de referencia $m_1=2.5$ cm (Fig. 1 y 2), para los impulsores de disco y de flujo radial y axial se muestra en la Fig. 12. En la curva del impulsor de disco se observa que la componente de velocidad radial comienza en cero en el fondo del depósito.

Posteriormente se aprecia que el flujo se dirige hacia el eje del sistema, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. Se nota que la magnitud de la velocidad radial va aumentando hasta un máximo de -4.19×10^{-3} y de allí comienza a disminuir su valor hasta cambiar el sentido del flujo. Ahora el fluido se dirige hacia la pared del recipiente, esto se indica por el signo positivo de la velocidad. Su magnitud comienza a aumentar hasta un máximo de $+4.99 \times 10^{-3}$ y de allí nuevamente disminuye su valor hasta presentarse otro cambio en el sentido del flujo.

Ahora el fluido se mueve hacia el eje del impulsor, esto se indica por el signo negativo de la velocidad. Su magnitud comienza a aumentar hasta un máximo de -1.45×10^{-3} m/s Finalmente el valor de la velocidad radial comienza a disminuir hasta hacerse cero sobre la tapa del cilindro.

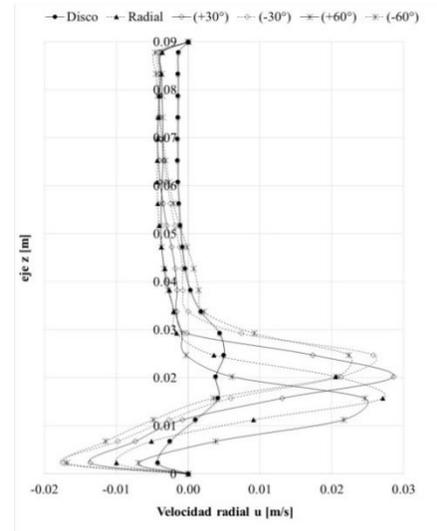


Figura 12 Componente de velocidad radial (u) en la posición $m_1=2.5$ cm, para $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar las curvas de los impulsores de flujo radial ($\alpha=0^\circ$) y axial ($\alpha=+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° , -60°) se observa el mismo comportamiento, pero con magnitudes distintas. También se aprecia que la zona que tiene mayor influencia en el flujo producido por los impulsores abarca desde el fondo del depósito hasta una tercera parte del mismo, aproximadamente. En la Tabla 2 se muestran los valores máximos y mínimos de la componente de velocidad radial para todos los casos.

Impulsor	$u_{m\acute{a}x}$ (m/s)
Disco	-4.19×10^{-3} , $+4.99 \times 10^{-3}$, -1.45×10^{-3}
Flujo radial	-9.97×10^{-3} , $+27.08 \times 10^{-3}$, -4.30×10^{-3}
Flujo axial $\alpha=+30^\circ$	-13.62×10^{-3} , $+28.62 \times 10^{-3}$, -4.27×10^{-3}
Flujo axial $\alpha=+60^\circ$	-6.88×10^{-3} , $+24.61 \times 10^{-3}$, -3.75×10^{-3}
Flujo axial $\alpha=-30^\circ$	-17.48×10^{-3} , $+25.78 \times 10^{-3}$, -4.09×10^{-3}
Flujo axial $\alpha=-60^\circ$	-16.87×10^{-3} , $+22.91 \times 10^{-3}$, -4.59×10^{-3}

Tabla 2 Valores máximos y mínimos de la velocidad radial (u) para $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados indican que los impulsores de flujo axial con ángulos positivos generan los valores más altos de la componente de velocidad radial, seguido del impulsor de flujo radial y del de disco. Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° y -60°), respecto al de disco, se encontró que la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 442.68, 473.55, 393.18, 416.63 y 359.12%, respectivamente.

Por otro lado, el comportamiento de la componente de velocidad axial (w) al variar la coordenada “ r ”, en la posición axial de referencia dada por $m_1=0.93$ cm (Fig. 1 y 2), para los impulsores de disco, de flujo radial y axial se muestra en la Fig. 13. En la curva del impulsor de disco se observa que la componente de velocidad axial toma el valor de cero sobre el eje del cilindro, posteriormente se aprecia una región del flujo que se dirige hacia el disco giratorio, esto se indica por el signo negativo de la velocidad.

Se nota que el valor de la velocidad axial va aumentando hasta un máximo negativo de -4.86×10^{-3} y de allí comienza a disminuir hasta presentarse un cambio en el sentido del flujo. Ahora se observa una zona donde el flujo se dirige hacia la tapa del recipiente, esto se indica por el signo positivo de la velocidad. Se aprecia que la velocidad axial va aumentando hasta un máximo positivo de $+4.03 \times 10^{-3}$ y de allí nuevamente disminuye su magnitud hasta llegar a cero al ubicarse sobre la pared del depósito.

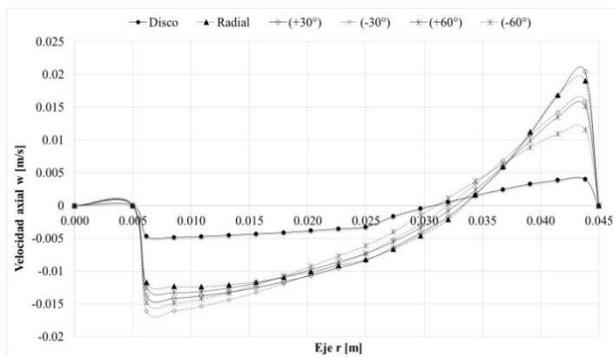


Figura 13 Componente de velocidad axial (w) en la posición $m_2 = 0.93$ cm, para $Re=2.74 \times 10^4$
Fuente: Elaboración Propia

Las curvas de los impulsores de flujo radial ($\alpha=0^\circ$) y axial ($\alpha=+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° , -60°) muestran un comportamiento parecido, pero con valores más altos. En la Tabla 3 se muestran las magnitudes máximas positivas y negativas de la componente de velocidad axial para todos los casos.

Impulsor	$w_{\text{máx}}$ (m/s)
Disco	-4.86×10^{-3} , $+4.03 \times 10^{-3}$
Flujo radial	-12.39×10^{-3} , $+19.00 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+30^\circ$	-14.16×10^{-3} , $+20.38 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=+60^\circ$	-13.52×10^{-3} , $+15.15 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-30^\circ$	-16.11×10^{-3} , $+15.90 \times 10^{-3}$
Flujo axial $\alpha=-60^\circ$	-14.88×10^{-3} , $+11.56 \times 10^{-3}$

Tabla 3 Valores máximos y mínimos de la velocidad axial (w) para $Re=2.74 \times 10^4$

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en el análisis de la componente de velocidad radial, los resultados muestran que los impulsores de flujo axial con ángulos positivos producen los valores más altos de la componente de velocidad axial, seguido del impulsor de flujo radial y del de disco. Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, $+60^\circ$, -30° y -60°), respecto al de disco, se encontró que la componente de velocidad axial positiva (u) aumentó 371.46, 405.71, 275.93, 294.54 y 186.84%, respectivamente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que el movimiento del fluido, del lado derecho del recipiente, que fue generado por los impulsores de disco, de flujo radial y axial, produjeron dos flujos: uno que gira en sentido horario, ubicado por debajo de los impulsores y otro que gira en sentido anti horario ubicado por encima de los mismos. Los impulsores de flujo axial con ángulos positivos forzaron al fluido a moverse hacia el fondo del depósito, lo que produjo que los vórtices generados por debajo de los impulsores se redujeran en tamaño.

Por el contrario, los impulsores de flujo axial con ángulos negativos generaron vórtices de mayor tamaño en la misma zona. Al comparar los resultados del impulsor de flujo radial y los de flujo axial (con álabes inclinados $+30^\circ$, -30° , $+60^\circ$ y -60°), respecto al de disco, se encontró que: la componente de velocidad radial positiva (u) aumentó 442.68, 473.55, 416.63, 393.18 y 359.12%, respectivamente; y la componente de velocidad axial positiva (w), por encima de los impulsores, aumentó 371.46, 405.71, 294.54, 275.93 y 186.84%, respectivamente.

Los resultados revelan que para todos los casos analizados la magnitud de los campos de velocidad y de las componentes de velocidad radial y axial tuvieron valores más altos que en el sistema con impulsor de disco. Sin embargo, no se encontró una variación constante al comparar los porcentajes de incremento de los casos analizados.

Referencias

- [1] C. J. Geankoplis, (2006), *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*, 4ª ed., México, CECSA.
- [2] J. Y. Oldshue, (2014), *Agitation*. En *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*, 3th ed. (C.C. Todaro y H. C. Vogel, eds.) Oxford, Elsevier, pp. 109-133.
- [3] R. G. Griskey, (2002), *Transport Phenomena and Unit Operations. A combined approach*. New York, John Wiley and Sons, Inc.
- [4] H-P Pao, (1972), Numerical solution of the Navier Stokes equations for flows in the disk-cylinder system, *Phys. Fluids*, 15 (1):4-11.
- [5] M. Bertelá, F. Gori, (1982), Laminar flow in a cylindrical container with a rotating cover, *J. Fluids Eng.*, 104 (1):31-39. doi:10.1115/1.3240849.
- [6] E. Lang, K. Sridhar, N. W. Wilson, (1994), Computational study of disk driven rotating flow in a cylindrical enclosure, *Journal of fluids engineering*, 116 (4):815-820.
- [7] D. T. Valentine, C. C. Jahnke, (1994), Flows induced in a cylinder with both end walls rotating, *Physics of fluids*, pp 2702-2710, doi:10.1063/1.868159.
- [8] A. Khalili, R. R. Adabala, H. J. Rath, (1995), Flow induced by a asymmetrically placed disk rotating coaxially inside a cylindrical casing, *Acta Mechanica*, Springer-Verlag, pp 9-19. Vol 113.
- [9] P. Yu, T. S. Lee, Y. Zeng, H. T. Low, (2007), Characterization of flow behavior in an enclosed cylinder with a partially rotating end wall, *Physics of fluids* 19, 057104, doi: 10.1063/1.2731420.
- [10] J. C. Sturzenegger, L. G. Sarasúa, A. C. Martí, (2012), Analytical solutions for the axisymmetric flow inside a cylindrical container with a rod along the axis at low Reynolds numbers, *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 28, pp. 473-479.
- [11] R. Achouri, I. Mokni, H. Mhiri and P. Bournot, (2012), A 3D CFD simulation of a self inducing Pitched Blade Turbine Downflow, *Energy Conversion and Management*, Vol. 64, pp. 633-641.
- [12] Landau y Lifshitz, (1982), *Fluids Mechanics*, Vol. 6, Pergamon Press.
- [13] A. N. Tjonov, A. A. Samarsky, (1980), *Ecuaciones de la física matemática*, Edit. MIR, Moscú, pp 1-29.
- [14] A. Lizardi, H. Terres, R. López, S. Chávez, A. Lara, J. R. Morales, (2017), Efecto del número de álabes de un impulsor en el flujo en cámaras cilíndricas, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, pp. 1-8, Ciudad de México, México.
- [15] Royer, W. Pryor, PHD, (2011), *Multiphysics Modeling Using Comsol*, *Phys. Fluids*, Edit. Jones and Bartlett Publishers.

Solución de problemas mediante la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos**Problem solution through the application of the method engineering stages**

GUZMÁN-SÁNCHEZ, Edgar Edin*†, RODRÍGUEZ-REALYVAZQUEZ, José Rafael, MOLINA GARDEA, Claudia Janeth y CORTES-CARRILLO, Francisco

Universidad Tecnológica de Chihuahua, Montes Americanos 9501, Col del Colegio, CP. 31216 Chihuahua, Chihuahua, México. Procesos Industriales

ID 1^{er} Autor: *Edgar Edin, Guzmán-Sánchez* / ORC ID: 0000-0001-9789-6998, Researcher ID Thomson: M-8031-2018, arXiv ID: O6KJUF-AIN79R, CVU CONACYT-ID: 919656

ID 1^{er} Coautor: *José Rafael, Rodríguez-Realyvazquez* / ORC ID: 0000-0002-8485-3048, Researcher ID Thomson: I-4305-2018, arXiv ID: RZCPUB-PUN9EX

ID 2^{do} Coautor: *Claudia Janeth, Molina-Gardea* / ORC ID: 0000-0002-9713-400X, Researcher ID Thomson: I-4295-2018, arXiv ID: 68M4E9-SJHMDKE

ID 3^{er} Coautor: *Francisco Cortes-Carrillo* / ORC ID: 0000-0003-4692-135, Researcher ID Thomson: G-2507-2018, arXiv ID: II5643-4KEGCJ, CVU CONACYT-ID: 899860

Recibido 20 de Agosto, 2018; Aceptado 20 Noviembre, 2018

Resumen

Esta publicación se lleva a cabo, como solución al problema que representa la mejora continua en los procesos productivos mediante el análisis sistemático y aplicación de las etapas de un programa de ingeniería de métodos a fondo de todas las operaciones directas e indirectas con el fin de implementar mejoras que permitan que el trabajo se desarrolle más fácilmente, en términos de salud y seguridad del trabajador, y que permita que éste se realice en menos tiempo con una menor inversión por unidad. El objetivo del proyecto consiste en la aplicación del modelo de solución de problemas mediante las etapas del programa de ingeniería de métodos, y de una serie de actividades coordinadas, que se llevan a cabo para lograr la calidad del producto que se ofrece, es decir, estandarizar y mejorar aquellas operaciones que influyan en la satisfacción del cliente, y de la misma empresa. La contribución de este proyecto, es la de generar procesos de producción más robustos y controlados, por medio de reducir la variabilidad del proceso, ya que con esto se consigue un proceso consistente, eficaz y con una alta capacidad de fabricación, esto ayuda a la finalidad de lograr satisfacer la demanda y también para obtener las mayores ganancias posibles de las ventas del producto final.

Mejora, Control, Estandarización**Abstract**

This publication is done as a solution to the problem that means the improvement in the productive process through a deep systematic analysis o the stages of a methods engineering program of all the operations direct and indirect having as a target apply improvements that allow develop the work on an easier way in terms of health and worker safeness, and allows that the work may be done in less time and with a minor investment by unit. The objective of the project consist on the application of the problems solution model through the stages of the methods engineering and a serie of coordinated activities, that are done in order to achieve the quality of the product, meaning this to standard and improve those operations that have influence on the customers satisfaction and the Company itself. This project contribution is to generate more strong and controlled processes through the reduction on the process variability, achieving by this a consistent and effective process with a high capacity of manufacturing, this assist to the purpose of satisfy the demand and obtain higher possible earnings of the finished product.

Improvement, Control, Standard

Citación: GUZMÁN-SÁNCHEZ, Edgar Edin, RODRÍGUEZ-REALYVAZQUEZ, José Rafael, MOLINA GARDEA, Claudia Janeth y CORTES-CARRILLO, Francisco. Solución de problemas mediante la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-6: 23-33.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (eguzman@utchedu.mx)

1. Introducción

La información que se detalla en este trabajo, es obtenida de un proyecto de mejora que se llevó a cabo en una empresa fabricante de clavos en rollo. La información recabada tiene el objetivo de establecer la resolución al problema (Incremento en el nivel de scrap de un 2.95% a 5%), que se viene dando en la empresa desde Diciembre del 2012 de ese momento.

La compañía en sus inicios se mostraba administrativamente solida con una dirección estratégica de trabajo bien estructurada y en forma, al momento que se estaba llevando a cabo el proyecto de mejora, en lo administrativo como en la planeación estratégica de trabajo tienen muchas áreas de oportunidad y muestran una gran deficiencia, además de que los trabajadores están en su estatus de confort y muy renuentes a cambios para mejorar. En estos momentos se le presenta a la compañía un muy buen panorama, ya que, han aumentado sus ventas en un 60%, pero la capacidad instalada de la empresa es de tan solo 50000 kilos/día y lo que ellos requieren fabricar son 90000 kilos/día que era su demanda actual.

El objetivo general de este proyecto: “consiste en la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos, y de una serie de actividades coordinadas, que se llevan a cabo para lograr la calidad del producto que se ofrece, es decir, controlar el porcentaje de scrap y mejorar aquellas operaciones que influyan en la satisfacción del cliente, y de la misma empresa.” Este trabajo muestra a detalle a la empresa, de qué se trata, así como también los problemas con los que se cuentan actualmente, se hace una descripción referente a su giro, tamaño, contexto nacional o internacional. Se menciona los objetivos que tendrá a bien alcanzar este proyecto.

Esta compañía es una empresa mexicana de la industria metal-mecánica especializada en fabricación de diversos modelos de clavo roscado, principalmente utilizado en el armado de tarimas y bases de madera para empaque de productos y clavo liso especialmente diseñado para reja manzanera (frutas y legumbres) con excelentes características de diseño y forjado que permiten mejorar el desempeño y durabilidad del producto final y la duración y facilidad de trabajo de las clavadoras.

Se ofrecen diversas líneas de productos estándar en clavo roscado y anillado, soldado con micro alambre en bobinas de 300 clavos, todos incluyen recubrimiento (glue) para una mejor sujeción a la madera (withdrawal).

La empresa fundada en el año del 2007, manufactura y comercializa clavo en rollo (Colateado) para ser usado en herramientas neumáticas, para soluciones eficientes y aplicaciones industriales específicas como tarimas de madera y plástico, contenedores, cajas, construcciones de madera y cercas, a lo largo de todo México y el sur de Estados Unidos desde su planta localizada en Chihuahua, Chihuahua, México a 370 Km de El Paso Texas y a 200 Km de Presidio Texas.

Los trabajadores de la compañía han estado manufacturando clavo en rollo en Chihuahua, México y otras plantas del mundo desde 1996 en diferentes compañías. Se cuenta con una gran experiencia en esta clase de industria, además de la tecnología y el conocimiento para la innovación, el desarrollo y la generación de máxima calidad, tanto en los procesos como en el producto final.

Los beneficios que se persiguen conseguir con este proyecto es el de evaluar el impacto que tienen las mejoras de un proyecto seis sigma en la productividad de la compañía, correspondientes con el aumento de la capacidad instalada de la planta de fabricación, así como además el efecto de satisfacer la demanda de 90000 kilos/día.

También muy apegado a esto se espera establecer las instrucciones de trabajo de cada operación tanto de fabricación como del área administrativa, esto traerá consigo muchos cambios que se deberán manejarse a la perfección por parte de cada uno de los involucrados en este proyecto de mejora, esperando inclusive bajar el nivel de scrap que se está presentando en estos últimos meses que oscila entre un 3% y un 5%, para establecerlo en tan solo un 2% que es el nivel aceptable en la compañía.

Al lograr lo anteriormente mencionado se verá un incremento en la economía hablando de ingresos y ganancias de la empresa, provocando con esto grandes cambios para la compañía ya que se podrá inclusive pensar un poco a futuro en una ampliación de la misma compañía.

2. Descripción del método

Muy a menudo, los términos análisis de operaciones, diseño del trabajo, simplificación del trabajo, ingeniería de métodos y reingeniería corporativa se utiliza como sinónimos. En la mayoría de los casos, todos ellos se refieren a una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o reducir el costo por unidad de producción: en otras palabras, a la mejora de la productividad. Sin embargo, la ingeniería de métodos, en la forma en que se define en este proyecto, implica en análisis en dos tiempos diferentes durante la historia de un producto. Primero, el ingeniero de métodos es responsable del diseño y desarrollo de varios centros de trabajo donde el producto será fabricado. Segundo, ese ingeniero debe estudiar continuamente estos centros de trabajo con el fin de encontrar una mejor forma de fabricar el producto y/o mejorar su calidad.



Figura 1 Principales etapas del programa ingeniería de métodos
(Niebel & Freivalds, 2009, págs. 3-5)

a) Selección del proyecto

Por lo general, los proyectos seleccionados representan ya sea nuevos productos o productos existentes que tienen un alto costo de manufactura y una baja ganancia. También, los productos que actualmente experimentan dificultades para conservar la calidad y tienen problemas para ser competitivos son proyectos aptos para aplicar ingeniería de métodos (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

La definición de proyecto se presenta a continuación:

“El término proyecto proviene del latín *proiectus* y cuenta con diversas significaciones. Podría definirse a un proyecto como el conjunto de las actividades que desarrolla una persona o una entidad para alcanzar un determinado objetivo. Estas actividades se encuentran interrelacionadas y se desarrollan de manera coordinada (Definicion.de , 2012).”

Así, esta definición indica los componentes primordiales y que deben de quedar claros desde inicio de un proyecto, además de que señala que hay que estar cuidando los siguientes aspectos del mismo:

- Debe de contener uno o varios objetivo(s) preciso(s) y específico(s) que hay que alcanzar.
- Debe de establecerse desde un inicio un calendario a seguir y que hay que respetar.
- Debe de definir los recursos, que incluyen un presupuesto, un equipo y unos medios técnicos.

También indica claramente la duración del proyecto en cuanto a meses o años, siempre tiene una duración determinada y limitada.

Carta del proyecto o la definición del proyecto es una manifestación del alcance, objetivos y participantes en un proyecto. Se ofrece en ella una demarcación preliminar de las funciones y responsabilidades, se exponen los alcances del proyecto, identifica las principales partes interesadas, y puntualiza la autoridad del director del proyecto.

En la tabla N.1 se presenta la carta del proyecto la cual indica claramente los tiempos, las actividades a seguir por parte de los integrantes del grupo de trabajo e inclusive los costos, además de indicar lo que es muy importante el propósito del proyecto que es la reducción del scrap que se está generando en el proceso.

Prioridad	Y (s)	Medible	Línea base actual	Objetivo
Primaria	Especificación (Diámetro, calibre, punta, cabeza rosca, longitud, distancia entre clavos, impregnación del glue, localización y fortaleza de la soldadura)	Inspección de la especificación	6% de scrap	2% de scrap
Secundaria	Dimensión del rollo	Inspección de la especificación con el gage	No se cuenta con un gage en todas las máquinas	Colocar gage en todas las máquinas

Tabla 2 Métrico primario, secundario y grafica del métrico primario (Sujetadores de Acero S. A. de C. V. (SUASA))

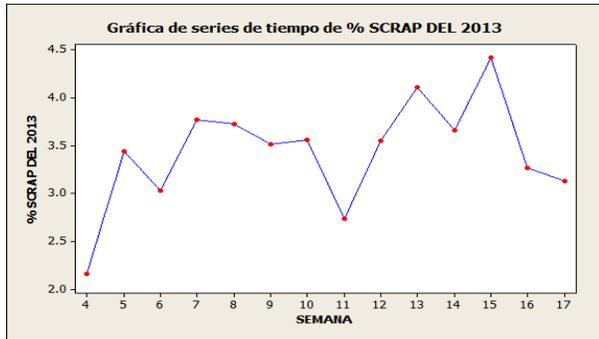


Gráfico 1 Grafica del métrico primario (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

c) Análisis de datos

Utilice los principales métodos de análisis de operaciones para decidir que alternativa dará como resultado el mejor producto o servicio. Dichos métodos principales incluyen el propósito de la operación, el diseño de la parte, las tolerancias y especificaciones, los materiales, los procesos de manufactura, la configuración y las herramientas, las condiciones de trabajo, el manejo de materiales, la distribución de la planta, y el diseño del trabajo (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

En esta fase se hace un análisis de los datos obtenidos del proceso, mediante la aplicación de varias técnicas de análisis de datos entre las que destaca el diagrama causa efecto el cual tiene como objetivo lo siguiente:

Los diagramas causa-efecto se construyen para ilustrar con claridad cuáles son las posibles causas que producen el problema. Un eje central se dirige al efecto. Sobre el eje se disponen las posibles causas. El análisis causa efecto, es el proceso mediante el que se parte de una definición precisa del efecto que se desea estudiar. Posteriormente, se disponen todas las causas que pueden provocar el efecto. La construcción de este diagrama presenta un esquema grafico que permite efectuar un análisis de las causas que influyen sobre el efecto objeto de estudio.

El análisis causa efecto puede dividirse en tres etapas:

- Definición del efecto que se desea estudiar.
- Construcción del diagrama causa efecto.
- Análisis causa efecto del diagrama construido (Arnoletto, 2007, pág. 70).

A continuación, se hace un análisis de la principal queja del cliente referente al producto de clavo rolado en rollo para pistola de clavos el cual presenta un error recurrente que es la soldadura débil lo cual hace que se dañe la pistola de clavos y sobretodo que el producto no cumpla con satisfacer la necesidad para la cual se creó. En la figura N.4 se muestra a detalle el diagrama causa efecto para verificar la causa raíz del problema.



Figura 4 Diagrama causa y efecto (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

Además, como se puede observar en la imagen anterior, el análisis del diagrama causa efecto en este caso, para ser más puntuales y certeros al identificar la causa raíz del problema, se realizó la matriz causa efecto del anterior diagrama provocando con esto identificar claramente el principal generador de fallas en el proceso y que debe controlarse lo más rápido posible.

Descripción	Rango	Rango %	Process:	Area Forjadoras	Ranking Scale:							
Output Variables (Ys)	Weight	Description	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1) Alambre	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2) Lubricante	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3) Recurso humano	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
4) Cortadores	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5) Dados	9	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	3
6) Prensa	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
7) Lengüeta	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8) Líneas de aire	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9) Enderezadores	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1	1	3
10) Jalador	1	9	1	3	1	1	9	1	1	1	1	1
												244

Tabla 3 Matriz causa y efecto (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

De acuerdo a la información de las variables de entrada y por medio de una ponderación se identifican las causas que más impactan a la generación del scrap, donde el “Recurso humano” es la principal causa y seguido por los “Cortadores”

Como nos podemos dar cuenta, el problema se está de alguna forma encerrando a manera de detecta donde hay que aplicar mayor observación y cuidado, que en este caso, es en el recurso humano, pero además de lo anterior nos dimos a la tarea de identificar cuáles son los principales defectos que se presentan y que la principal causa de la generación de estos defectos es el recurso humano, para esto aplicamos el diagrama de Pareto, a continuación se muestran los usos de este diagrama:

El diagrama de Pareto representa uno de los primeros pasos que deben darse para realizar mejoras. Efectivamente:

- Ayuda a definir las áreas prioritarias de intervención.
- Atrae la atención de todos sobre las prioridades y facilita la creación del consenso.

El diagrama de Pareto responde plenamente a estas exigencias: es muy útil para aprender a concentrar los esfuerzos en los aspectos más importantes y rentables del problema analizado, es decir, en los aspectos que ocupan las partes más elevadas del propio diagrama (Galgano, 1992, pág. 125).

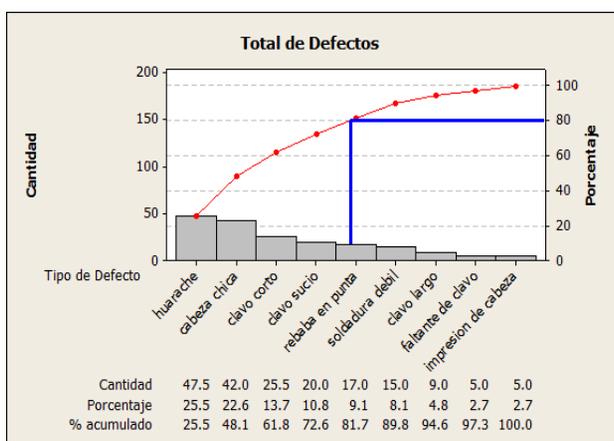


Gráfico 2 Diagrama de Pareto de los defectos generados por el recurso humano en el área de forjado (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

De acuerdo al diagrama de Pareto anterior, se analizan las causas con mayor incidencia, mismas que se localizan en el área de forjado, y que nos representan el 81.7%, por tal motivo es en esa área en la que debemos enfocar nuestros esfuerzos.

d) Desarrollo del método ideal

Seleccione el procedimiento para cada operación, inspección y transporte considerando las diversas restricciones asociadas con cada alternativa, entre ellas la productividad, la ergonomía y las implicaciones sobre salud y seguridad (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

Las actividades de mejora que se realizan en este proyecto, como bien se vio en la fase anterior, vienen enfocadas a atacar de raíz la generación del efecto que contribuye en mayor medida a la generación del scrap evidentemente se espera que con estas mejoras se eliminen los defectos que se presentan con mayor regularidad y los esporádicos.

La asignación de actividades y seguimientos se hace con la generación de un programa, el cual es administrado por medio de un cronograma. El cronograma es la descripción de las actividades en relación con el tiempo en el cual se van a desarrollar, lo cual implica, primero que todo, determinar con precisión cuáles son esas actividades, a partir de los aspectos técnicos presentados en el proyecto.

De acuerdo con los recursos, el tiempo total y el equipo humano con que se cuenta, se calcula para cada uno de ellos el tiempo en el cual habrán de ser desarrolladas: este cálculo debe hacerse en horas/hombre y debe presentar ciertas tolerancias para efectos de imprevisto (Tamayo y Tamayo, 2004, pág. 219).



Tabla 4 Cronograma de actividades (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

Se establecen las actividades a llevar a cabo para mejorar el proceso considerando las causas vitales que generan el scrap, incluyendo las fechas a cumplir dentro del tiempo requerido.

e) Presente e instale el método

Explique el método propuesto a detalle a las personas responsables de su operación y mantenimiento. Tome en cuenta todos los detalles del centro de trabajo con el fin de asegurar que el método propuesto ofrezca los resultados planeados (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

Para esta fase se optó por aplicar la metodología de análisis del modo y efecto de la falla (FMEA o AMEF), ya que gracias esta metodología es:

Un grupo sistemático de actividades con el propósito de:

- Reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, y los efectos de dichas fallas.
- Identificar acciones que podrían eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran fallas potenciales.
- Documentar todo el proceso.

Las características del AMEF son: la probabilidad de una falla o minimizar el efecto de la falla; se efectúa previamente a la finalización del concepto (diseño) o previamente al inicio de la producción (proceso); es un proceso interactivo sin fin, y es una manera de documentar el diseño y el proceso.

El AMEF de diseño evalúa lo que podría resultar mal con el producto durante su uso y durante su manufactura como consecuencia de debilidades del diseño.

El AMEF de proceso se enfoca en las razones de fallas potenciales durante manufactura, como resultado del incumplimiento con el diseño original, o el incumplimiento de las especificaciones del diseño. El uso del AMEF se enfoca en nuevos diseños, nueva tecnología o procesos nuevos, cuando se hacen modificaciones a diseños o procesos existentes, cuando se usa un diseño o proceso existente en un nuevo ambiente, o en un nuevo lugar, o una nueva aplicación.

Sin embargo también se pueden usar en procesos que ya están instalados y funcionando, y también como técnica de solución de problemas (Escalante Vázquez, 2008, pág. 337).

#	Proceso Function (Step)	Potencial Failure Modes (proceso defectos)	Potencial Failure Effects (KPOVA)	S	O	C	P	D	R	Recomendaciones	Responsable Person & Target Date	Taken Actions	C	F	S	D	R
1	Llega robe al pin	Huacache	Por el control de longitud y aire	4	4	4	4	4	4	4							
2	Seguir al adelante	Cabeza choca	Diseño del sistema de ajuste de la prensa	4	4	4	4	4	4	4							
3	Rea por los andamios	Clevo corto	Problemas en el ajuste de la prensa	4	4	4	4	4	4	4	Programa de mantenimiento preventivo en el sistema de ajuste de la prensa	El Vicente Ramirez (13 de Mayo del 2013) (Lunes 23 de Mayo del 2013)	2	1	1	1	1
4	El sistema pasa por el cilindro	Clevo auto	Por falta de ajuste de la prensa	4	4	4	4	4	4	4							
5	El sistema pasa por la caja de cambio	Rotaba en punto	Problemas con los cables de ajuste	4	4	4	4	4	4	4							
6	El sistema sigue al adelante	Cabeza desmontada	Problemas con el sistema de ajuste	4	4	4	4	4	4	4							
7	La prensa sigue al adelante	Clevo largo	Problemas en el ajuste de la prensa	4	4	4	4	4	4	4	Prácticas	El Vicente Ramirez (13 de Mayo del 2013) (Lunes 23 de Mayo del 2013)	2	1	1	1	1
8	Se forma la cabeza	Inversión de cabeza	Desajuste de la prensa	4	4	4	4	4	4	4							
9	El producto sigue al adelante	Clevo doblado	Problemas con los andamios	4	4	4	4	4	4	4							
10	Las condiciones con el sistema según el sistema	Mala operación de la máquina	Falta de capacitación	4	4	4	4	4	4	4	Capacitación de los operarios	El José Ramirez (13 de Mayo del 2013) (Lunes 23 de Mayo del 2013)	2	1	1	1	1

Tabla 5 Análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) del proyecto (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

Una vez detectadas las causas que generan el scrap, se elabora el AMEF, para dejar registrado las causas potenciales que causan el problema y con ello indicar las acciones preventivas a llevar a cabo, así como los controles de proceso a considerar con los respectivos responsables, cotidianamente se está revisando y actualizando el AMEF para checar avances y cambios en las mejoras.

f) Desarrollo del análisis del trabajo

Lleve a cabo un análisis del trabajo del método instalado con el fin de asegurar que los operadores sean seleccionados, entrenados y recompensados adecuadamente (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

Es primordial que los trabajadores sean capacitados y evaluados en todas las actividades realizadas según las operaciones que llevan a cabo en cada estación de trabajo, ya que, con esto se asegura la empresa de que las actividades realizadas por ellos son hechas con la mayor eficiencia y seguridad.

En este proyecto el recurso humano es un foco de atención que se tiene que cuidar ampliamente, puesto que, es el mayor contribuyente al scrap generado en la empresa, y es claro que anteriormente, antes de este proyecto no se tenía una capacitación bien estructurada, generando con ello que el trabajador incurra en varias fallas en el proceso. El primer paso en el proceso de capacitación y desarrollo consiste en determinar las necesidades específicas de capacitación y desarrollo. En el ambiente de negocios altamente competitivo de hoy, implementar programas simplemente porque otras empresas lo hacen es meterse en problemas. Se debe implementar un enfoque sistemático para abordar las necesidades auténticas.

Las necesidades de capacitación y desarrollo se determinan mediante un análisis en varios niveles.

- Análisis organizacional: desde una perspectiva organizacional general, se estudia la misión, los objetivos y los planes corporativos estratégicos de la empresa, junto con los resultados de la planeación de recursos humanos.
- Análisis de tarea: el siguiente nivel de análisis se centra en las tareas requeridas para lograr los propósitos de la empresa. las descripciones de puesto son fuentes de datos importantes en este nivel de análisis.
- Análisis de personas: la determinación de las necesidades de capacitación individual es el último nivel. En este nivel son útiles las evaluaciones del desempeño y las entrevistas o las encuestas a supervisores y titulares de empleos (Wayne & M., 2005, págs. 208 - 209).

A continuación se presenta el programa de capacitación y evaluación para cada puesto de trabajo:

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 2013					
SUASA					
Sujetadores de Acero, S.A.de C.V.					
OPERATIVO, TECNICO Y ADMINISTRATIVO					
Tema	Duración	Instructor	Turnos	Fechas	Horario
Seguridad en el trabajo	30min	Ana Martinez	T1	01/06/2013	12:30
			T2	01/06/2013	12:00
			T3	02/06/2013	10:00
5'S + 1	40min	Ana Martinez	T1	15/06/2013	12:30
			T2	15/06/2013	12:00
			T3	16/06/2013	10:00
Residuos Peligrosos	30min	Temesa	T1	13/07/2013	12:30
			T2	13/07/2013	12:00
			T3	14/07/2013	10:00
Política Ambiental	30min	Jose Ramirez	T1	27/07/2013	12:30
			T2	27/07/2013	12:00
			T3	28/07/2013	10:00
Política de Calidad	30min	Jose Ramirez	T1	10/08/2013	12:30
			T2	10/08/2013	12:00
			T3	11/08/2013	10:00
Equipos de trabajo	30min	Ana Martinez	T1	17/08/2013	12:30
			T2	17/08/2013	12:00
			T3	18/08/2013	10:00
Actitud y Liderazgo	30min	Ana Martinez	T1	31/08/2013	12:30
			T2	31/08/2013	12:00
			T3	01/09/2013	10:00
Herramientas de Producc	50min	Jose Ramirez	T1	14/09/2013	12:30
			T2	14/09/2013	12:00
			T3	15/09/2013	10:00
Kaizen	50min	Vicente Ramirez	T1	28/09/2013	12:30
			T2	28/09/2013	12:00
			T3	29-0-13	10:00
Primeros Auxilios	40min	Cruz Roja	T1	12/10/2013	12:30
			T2	12/10/2013	12:00
			T3	13/10/2013	10:00
Brigada	3hrs	Bomberos	T1	26/10/2013	07:00
			T2	26/10/2013	07:00
			T3	26/10/2013	07:00

Tabla 6 Programa de capacitación
(Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

El plan de capacitación que aquí se presenta nos define qué conocimientos deben de tener todas aquellas personas que están involucradas en las actividades de mejora y que entrenamiento deben de impartir en la empresa, para generar un proceso consistente y robusto.

SUASA		MATRIZ DE ENTRENAMIENTO												✓ CURSOS OBLIGATORIOS	✓ CURSOS DE SEADOS	✓ CURSOS PENDIENTE	
PRODUCCION		PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO	PROCESOS DE TRABAJO
Galón	Nombre	Puesto	STATUS														
5	Bernardo Bernal	Supervisor	Planta	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
102	Jose Ramirez Perez	Supervisor	Temporal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	Raúl Gomez Mejía	Gerente	Planta	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 7 Matriz de entrenamiento
(Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

Es de resaltar que en esta fase de mejora es de gran importancia el uso y administración de los recursos humanos, ya que, ellos son los que dan la resolución a los problemas, dependiendo, eso sí, del nivel de conocimiento del personal encargado de su ejecución, de los programas, de los empleados, y de las limitaciones de la empresa.

g) Establezca estándares de tiempo

Determine un estándar justo y equitativo para el método instalado (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6). Cuando se necesita un estándar de tiempo durante la fase de planeación del programa de desarrollo de un producto nuevo se usa la técnica sistemas de estándares predeterminados de tiempo.

En esta etapa del desarrollo del producto nuevo solo se dispone de información muy general, y el tecnólogo debe visualizar lo que se necesita en cuanto a herramientas, equipo y métodos de trabajo. El tecnólogo debe diseñar una estación de manufactura para cada etapa del plan de trabajo del producto nuevo, desarrollar un patrón de movimiento, medir cada uno de ellos y asignarles un valor de tiempo. El total de estos valores de tiempo sería el tiempo estándar. Este estándar se usaría para determinar las necesidades de equipo, espacio y personal del producto nuevo, así como su precio de venta (Meyers, 2000, pág. 66).

h) Seguimiento

A intervalos regulares, audite el método instalado con el fin de determinar si se están alcanzando la productividad y la calidad planeadas, si los costos se proyectaron correctamente y si se pueden hacer mejoras adicionales (Niebel & Freivalds, 2009, pág. 6).

El seguimiento es la fase de la gestión que acompaña a la ejecución de los proyectos y su finalidad básica consiste en informar sobre el estado en que se encuentra la ejecución así como el de conocer en qué medida se están realizando las actividades y, por tanto, hasta qué punto se están alcanzando los objetivos y resultados previstos. La información que proporciona el seguimiento permite introducir, si es necesario, las oportunas modificaciones en forma preexistente (Calvo Verdú, 2005, pág. 236).

Check List de Forjadoras.								
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Limpeza de la máquina.								
Estado de la botonería.								
Temperatura nominal de la máquina.								
Líneas de lubricación en buen estado.								
Estado de balero seguidor de la leva.								
Puntos de grasa en buen estado y debidamente engrasados.								
Tornillería en caja de dados.								
Tornillería en cortadores.								
Tornillería en prensa.								
Estado de piezas superiores de la prensa.								
Enderezadores completos.								
Estado de las bandas.								
Todas las guardas en su lugar.								
Comentarios:								

Figura 5 Programa de auditoría interna y seguimiento del proyecto (Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

3. Análisis a partir de la regresión por curva de demanda

Los logros obtenidos en la empresa son muy satisfactorios, ya que a pesar de que se consiguieron los objetivos planteados, estos a su vez acarrearón mejoras inesperadas como lo fue el incremento en la capacidad de la planta, esto lo podemos ver en las imágenes N.15.

Concluyendo nos queda claro que las etapas de estudio de métodos es un sistema completo y flexible para lograr, mantener y mejorar el éxito de las organizaciones. Además, está basado en el entendimiento de los requerimientos del cliente. Es de resaltar que en esta metodología es de gran importancia el uso de los recursos estadísticos ya que resultan muy eficaces en la resolución de problemas, dependiendo, eso sí, del nivel de conocimiento del personal encargado de su ejecución, de los programas, de los empleados, y de las limitaciones de la empresa.

Este sistema es completo y flexible para lograr, mantener y mejorar el éxito de las organizaciones. Además, está basado en el entendimiento de los requerimientos del cliente.

PLAN DE ACCIONES AUDITORIA INTERNA				AUDITOR/ES	AUDITORIA N°	FECHA	ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN
CÓD.	DESCRIPCIÓN NO CONFORMIDAD	CAUSAS	CORRECCIONES Y ACCIONES CORRECTIVAS	FECHA	RESPONSABLE/S	FECHA	ESTADO
01							
02							
03							
04							
05							
06							

Proceso	Actividades a realizar / Documentos utilizados	Auditor	Responsable del proceso	Fecha	Hora
Presentación, misión, visión, objetivos y organigrama de la empresa.	Revisión interna de actrices y documentos.	Lic. Ana Martínez	Ing. Francisco Granados	29/07/2013	08:00 a.m.
Entrevistas a usuarios más interesados.	Encuestas y entrevistas.	Lic. Ana Martínez	Ing. Francisco Granados	29/07/2013	10:00 a.m.
Analizar con que documentos de gestión y técnica cuenta la compañía.	Solidez de la documentación de los procesos de operación (manuales, planos, de operación del usuario, etc.).	Lic. Ana Martínez	Ing. Francisco Granados	30/07/2013	08:00 a.m.
Verificar si los equipos, herramientas actualmente están utilizados de acuerdo a los procedimientos y si cumplen con los requerimientos.	Resultados de los estudios de vitalidad y características de los equipos y herramientas utilizados.	Lic. Ana Martínez	Ing. Francisco Granados	30/07/2013	10:00 a.m.
Evaluar el sistema de información con el que cuenta la empresa.	Solidez de la documentación referente al sistema implementado en todas sus áreas.	Lic. Ana Martínez	Ing. Francisco Granados	31/07/2013	08:00 a.m.

Es de resaltar que en cada fase es de gran importancia el uso de los gráficos de control ya que resultan muy eficaces en el análisis de las mejoras implementadas, dependiendo, eso sí, del nivel de conocimiento del personal encargado de su ejecución, de los programas, de los empleados, y de las limitaciones de la empresa.

4. Resultados

Como se puede observar en las tabla N.6, se ve la notable mejoría del proceso de producción en sus indicadores, es claro que el objetivo del proyecto, es establecer en un 2% los niveles de scrap, lo cual es aceptable para la compañía, en los gráficos de los diferentes métricos utilizados, se realiza una comparación del antes y el después del proyecto de mejora, y en ellos se muestra el comportamiento del proceso y las tendencias que tiene el mismo.

Prioridad	Y (t)	Medible	Línea base	Objetivo	Actualmente
Primaria	Especificación (Diámetro, calibre, punta, cabeza rosca, longitud, distancia entre clavos, impregnación del glue, localización y fortaleza de la soldadura)	Inspección de la especificación	6% de scrap	2% de scrap	Oscila entre el 2% y 3% de scrap
Secundaria	Cantidad de materia prima que entra al proceso de producción para ser convertida en producto terminado y que sale como tal.	Peso de la materia prima en toneladas.	70000 Kilos por semana.	55000 kilos por semana.	80000 Kilos por semana y está aumentando cada semana.

Tabla 8 Métricos primario y secundario con su estado actual
(Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

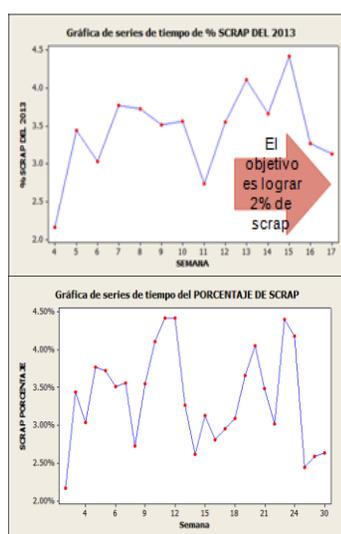


Gráfico 3 Métrico primario y su comparación con su estado actual
(Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

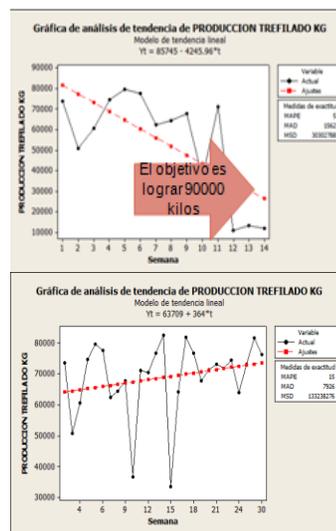


Gráfico 4 Métrico secundario y su comparación con su estado actual
(Sujetadores de Acero, S.A. de C.V., 2013)

5. Agradecimientos

Me gustaría que este escrito sirva para expresar mi más profundo y sincero reconocimiento a todas aquellas personas inmiscuidas en la realización del presente trabajo que ayudaron y colaboraron con el presente proyecto de mejora, en especial a la Universidad Tecnológica de Chihuahua (UTCH), a mis colaboradores y asesores, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la mismo proyecto, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este periodo.

Le agradezco a dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobretodo felicidad. Un agradecimiento muy especial merecen por la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de nuestros familiares y amigos. A todos ellos, muchas gracias.

6. Conclusiones

La conclusión que se tiene con respecto al cumplimiento de los objetivos, es que, se lograran generar ganancias para la empresa, y que estas se podrán usar para otros elementos que falten en la misma compañía, además de que se alcanzara por fin, tener un proceso más robusto y sobre todo controlado.

Los beneficios son varios, primero que nada la reducción del scrap, la estandarización de los métodos de trabajo, la generación de mayor cantidad de ganancias, el superior monto de satisfacción por parte de los clientes, tener un proceso confiable, aumentar la capacidad de la planta, entre otros.

Las limitaciones son muy variadas, ya que, se puede dar que el proyecto de mejora no funcione en su aplicación, que se quede inconcluso solo como un análisis y no se aplique, que no se dé la seriedad requerida al proyecto, que no haya los apoyos para la estrategia, que los trabajadores estén renuentes al cambio, que la empresa se vuelva no rentable, que no se cuente con el capital requerido para hacer los cambios, que se administren mal las mejoras, etc.

La recomendaciones son: mantener el proceso en constante vigilancia y análisis, se debe de apoyar las mejoras por parte de cada uno de los trabajadores así como por la gerencia, confiar en que el proyecto generara los resultados esperados, etc.

7. Referencias

Arnoletto, E. J. (2007). *Administración de la producción como ventaja competitiva*. Madrid: eumed.net.

Bacás, J. (2013). *Senderos de productividad*. Recuperado el 13 de Junio de 2014, de Senderos de productividad: <http://www.senderosdeproductividad.com/2009/06/16/el-lider-productivo-texto/>

Calvo Verdú, M. (2005). *Monitor sociocultural: Formación profesional ocupacional*. Madrid: Mad, S. L.

Definicion.de . (2012). *Definicion.de* . Recuperado el 18 de junio de 2018, de Definicion.de : <https://definicion.de/proyecto/>

Escalante Vázquez, E. J. (2008). *Seis-Sigma: metodología y técnicas*. México: Limusa.

Galgano, A. (1992). *Los siete instrumentos de la calidad total*. Madrid: Diaz de Santos.

Geo, R., & Yoko, K. (s.f.). *Cómo desarrollar una cultura de mejora continua*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de Cómo desarrollar una cultura de mejora continua: <http://es.wikihow.com/desarrollar-una-cultura-de-mejora-continua>

Meyers, F. E. (2000). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México: Pearson educacion.

Miranda Rivera, L. N. (2006). *Seis sigma guia para principiantes*. Ciudad de México: Panorama.

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingenieria industrial: Metodos, estandares y diseños de trabajo*. Ciudad de México: Mc. Graw Hill.

Publicaciones vertice S. L. (2008). *Direccion estrategica: Direccion y gestion de empresas*. Malaga: Vertice.

Sujetadores de Acero S. A. de C. V. (SUASA). (s.f.). *Calidad*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2013, de Calidad: <http://www.sujetadoresdeacero.com/calidad.html>

Sujetadores de Acero, S.A. de C.V. (Diciembre de 2013). Proyecto de mejora continua. Chihuahua, Chihuahua, México.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.

Tec Milenio. (Enero de 2015). *Administracion de la cadena de suministros*. Monterrey, Nuevo Leon, Mexico.

Tec Milenio. (23 de Marzo de 2015). *Desarrollo de proyecto de campo*. Monterrey, Nuevo Leon, México.

Wayne, M. R., & M., N. R. (2005). *Administración de recursos humanos*. México: Person educación.

Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla

Effect of industrial maintenance, machinery and equipment, labor, methods of work and raw materials with respect to the level of Six Sigma in an Pyme: Bloquera medina case of the municipality of San Pedro Cholula, Puebla

CHAVEZ-MEDINA, Juan†*, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, CARMONA-SILVA, José Luis y MÚÑIZ-MONTERO, Isabel

*Universidad Politécnica de Puebla
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

ID 1er Autor: *Juan, Chávez-Medina* / ORC ID: 0000-0002-1978-0620, CVU CONACYT ID: 417889

ID 1er Coautor: *Noma Angélica, Santiesteban-López* / ORC ID: 0000-0001-7700-4139, CVU CONACYT ID: 240825

ID 2do Coautor: *José Luis, Carmona-Silva* / ORC ID: 0000-0001-7313-3723, CVU CONACYT ID: 176097

ID 3er Coautor: *Isabel, Múñiz-Montero* / ORC ID: 0000-0002-4714-6440, CVU CONACYT ID: 166149

Recibido 25 de Agosto 2018; Aceptado 28 Noviembre, 2018

Resumen

Las empresas buscan estrategias para sostenerse y/o crecer en el mercado, las cuales normalmente son de mejora continua como Lean Manufacturing, Mantenimiento Productivo Total, 5s, 7 herramientas de calidad, Kaizen, Six Sigma, entre otras. Dichas herramientas frecuentemente son empleadas en las grandes corporaciones, como Morola, Toyota, Ford, Intel, etc., sin embargo, es importante mencionar que las PYMEs están adoptando estas herramientas para su desarrollo y competitividad empresarial, tal es el caso de la empresa "Productora de Blocks M." que produce material para la construcción en la comunidad de Cholula, Puebla. La cual tiene un mercado local, no obstante, tiene el objetivo de incursionar en nuevos mercados como en los desarrollos inmobiliarios o constructoras principalmente. Por lo anterior, este artículo muestra el caso de una Pyme (boquera Medina), la cual presenta la metodología de Six Sigma para el desarrollo del modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), donde fueron analizadas las variables de materia prima, mano de obra, maquinaria y equipo, medio ambiente, métodos de trabajo, las cuales llevaron a la eliminación del desperdicio en flujos y operaciones, reducción del tiempo de entrega, reducción de la variación en los procesos y el aumento de valor en la organización.

Six Sigma, Optimización de recursos, Mantenimiento Industrial, Pyme

Abstract

Companies look for strategies to sustain themselves and / or grow in the market, which are usually of continuous improvement such as Lean Manufacturing, Total Productive Maintenance, 5s, 7 quality tools, Kaizen, Six Sigma, among others. These tools are often used in large corporations, such as Motorola, Toyota, Ford, Intel, etc., however, it's important to mention that SMEs are adopting these tools for their development and business competitiveness, such is the case of the company "Bloquera Medina" that produces material for construction in the community of Cholula, Puebla. The one that has a local market, nevertheless, has the objective to venture into new markets as in the real estate or construction developments mainly. For the above, this article shows the case of a SMEs (Boquera M.), which presents the Six Sigma methodology for the development of the DMAIC model (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), where the variables of matter were analyzed premium, labor, machinery and equipment, environment, work methods, which led to the elimination of waste in flows and operations, reduction of delivery time, reduction of variation in processes and increase in value in the organization.

Six Sigma, Resource Optimization, Industrial Maintenance, SMEs

Citación: CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, CARMONA-SILVA, José Luis y MÚÑIZ-MONTERO, Isabel. Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla. Revista de Ingeniería Industrial. 2018. 2-6: 34-44.

* Correspondencia del Autor (juan.chavez.medina@uppuebla.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La introducción e implementación de Six Sigma en los últimos años ha tenido un impacto considerable en las empresas de manufactura, lo cual, resulta evidente que desde hace tiempo las organizaciones utilizan la administración de la calidad como herramienta de mejora continua, consistiendo en un sistema de trabajo y calidad acorde al desarrollo de cambios positivos en el personal de toda la empresa, cuyo compromiso y esfuerzo es continuo y permanente con la finalidad de comprender, cumplir y/o exceder con las expectativas de los clientes (Hilton, *et al.* 2012; Felizzola, *et al.* 2014).

Dentro de esta perspectiva, es importante señalar que las grandes empresas siguen con éxito las estrategias de calidad basados en las normas ISO 9000, QS 9000 para la industria automotriz de Estados Unidos y Canadá, VDA en la industria automotriz alemana, y Six Sigma para empresas u organizaciones en general, entre otras metodologías de calidad.

En este sentido, las empresas transnacionales asentadas en México utilizan las políticas de calidad dentro de la organización, y de esta manera también las Pymes absorbidas por la globalización y los cambios competitivos de los mercados, las cuales, tienen la necesidad de trabajar aplicando estos sistemas de calidad.

En este mismo orden de ideas, se puede mencionar que las Pymes están adoptando estas herramientas como Lean Manufacturing y Six Sigma, donde sistematizan sus procesos en maquinaria y equipo, mantenimiento industrial, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima, para su desarrollo y competitividad empresarial, sin embargo, la práctica muestra que los métodos e instrumentos de producción ajustada no son igualmente aplicables a las empresas grandes y pequeñas (Timans, *et al.* 2012).

Es este sentido, se puede mencionar que aunque existan estudios sobre la optimización de los recursos en las Pymes tales como Llach, *et al.* 2013; Ruiz-Torres *et al.*, 2015; Martínez, 2013; Del Olmo, 2009, entre otros.

Sin embargo, aún falta realizar estudios en aspectos sistemáticos y productivos en el tema de calidad, porque rara vez se realizan investigaciones relevantes en esta área de conocimiento, sabiendo la relevancia de datos estadísticos sobre la importancia económica de las pequeñas y medianas empresas, las cuales, crean una parte notable del valor agregado total en la economía mexicana (Demuner, *et al.* 2011).

Dentro de este contexto, es necesario indicar que, en México existen diversas empresas manufactureras que demandan calidad en sus productos y/o servicios; y en el ramo de materiales de la construcción no es la excepción, como las productoras de block, donde el mercado es cada vez más competitivo, debido a la proliferación de la oferta que se tiene de este producto, y principalmente en el estado de Puebla como el municipio de San Pedro Cholula y anexas.

Hay que mencionar, además que toda organización debe contar con un plan estratégico, así como la manera de implementarlo. Por lo cual, en este plan se establece que los sistemas de gestión de calidad contribuyen al logro de las metas y, dichos sistemas estén ligados a las líneas del plan estratégico, para apoyar así a su logro; por tal razón, *la empresa denominada para este caso de estudio como “Bloquera M”* tiene la necesidad de incursionar en un nuevo mercado donde la exigencia en sus especificaciones técnicas son mayores a las actuales, por tal motivo, el presente trabajo tiene la finalidad de presentar la implementación metodológica de un sistema de calidad, basado en Six Sigma que ayude a disminuir errores, mermas, retrabajos que ocasiona reprocesos incrementando costos de producción en la “Bloquera M”.

El estudio se realizó en la empresa productora de blocks “Bloquera M” ubicada en el Municipio de San Pedro Cholula, Puebla, y el análisis estadístico de los procesos productivos en el periodo comprendido entre los años 2017 a 2018. Para el caso específico de la empresa productora de blocks, el desarrollo de la productividad es vital para el crecimiento y rentabilidad, de acuerdo a los objetivos de dicha empresa.

Pero actualmente, se tienen problemas de reproceso y desperdicios que alcanzan 25% y hasta 30%, los cuales son originados principalmente por la falta de un modelo de calidad, de acuerdo con información proporcionada por parte de la dirección de la empresa. En este sentido, Six Sigma está propuesto como un modelo de calidad a implementarse porque este sistema tiene el objetivo de dar un 99.99% de efectividad, si es llevado a cabo de forma correcta, teniendo una probabilidad de generar sólo 3.4 defectos por cada millón en las características del producto (Pyzdek, 2014).

Fundamentos teóricos y definiciones de constructo

Six Sigma fue introducida por primera vez en 1987 por la compañía Motorola dirigida por un equipo de directivos encabezados por Bob Galvin, presidente de dicha compañía con el propósito de reducir los defectos de productos electrónicos (Escalante *et al.* 2008). Desde entonces, Six Sigma ha sido adoptada, enriquecida y generalizada por un gran número de compañías.

En la literatura varios casos de aplicación exitosa como lo mencionan teóricos como Kaushik, *et al.* 2012; Timans, *et al.* 2012; Nicolay, *et al.* 2012; entre otros. Six Sigma está considerado como la evolución de las teorías clásicas de la calidad y la mejora continua, como Control Estadístico de Proceso (SPC) y la Administración de la Calidad Total (TQM) (Folaron, 2003; Maleyeff, *et al.* 2012). En este sentido, Six Sigma toma algunos elementos de sus teorías predecesoras y los organiza de forma sistemática, creando un enfoque mejorado y con mayor efectividad en la consecución de resultados.

En México, en los últimos años, son cada vez más las empresas Pymes que han aplicado la metodología Six Sigma, debido a que representa la mejora continua de sus procesos y por lo mismo un ahorro sustancial en sus finanzas (Domínguez, 2016). Por otra parte, Six Sigma es una métrica que se emplea para indicar el número de DPMO (Defects per Million Opportunities, en inglés), o cómo se desempeña el proceso con respecto a las necesidades del cliente.

El cálculo de dicho número se realiza a través de las siguientes expresiones según Forrest W. Breyfogle en su obra "Implementing Six Sigma" (Bahena, 2006).

- Unidad (U): Es un artículo producido o procesado.
- Defecto (D): Cualquier evento que no cumpla la especificación de un CTQ (control total de calidad).
- Defectuoso: Una unidad que tiene uno o más defectos.
- Defectos por unidad (DPU): Es la cantidad de defectos en un producto

$$DPU = D / U \quad (1)$$

- Oportunidad de defectos (O): Cualquier acontecimiento que pueda medirse y de una oportunidad de no satisfacer un requisito del cliente.
- Defectos por oportunidad (DPO):

$$DPO = D / (U \times O) \quad (2)$$

- Defectos por millón de oportunidades (DPMO): Es el número de defectos encontrados en cada millón de unidades.
- Capacidad del proceso: Capacidad del proceso para cumplir especificaciones o requerimientos del cliente.
- Rendimiento estándar o de primera pasada (YFT): Es el porcentaje de producto sin defectos antes de realizar una revisión del trabajo efectuado y es la probabilidad de que una unidad pase el ensamble final con 0 defectos.

$$YFT = (1 - DPO) * 100 \quad (3)$$

- Rendimiento al final o de última pasada (YLT): Es el porcentaje de producto sin defectos después de realizar la revisión del trabajo.
- Rendimiento Real o Estándar (YRT) mide la probabilidad de pasar por todos los subprocesos sin un defecto, se determina con el producto del resultado de cada paso: $YFP1 \times YFP2 \times YFP3 \times \dots \times YFPn$
- Rendimiento Normal (YN) mide el promedio de rendimientos por los pasos del proceso. Es el promedio exponencial basado en el número de pasos del proceso, no es un promedio aritmético.

$$YN = n\sqrt{YRT} \quad (4)$$

Donde n es igual al número de pasos en el proceso. Cabe señalar que la diferencia entre dpmu y dpmo es que una unidad puede tener varias oportunidades de cometer defectos. Por ejemplo, Si en cierto proceso se encontraron 10 defectos en una muestra de 100 unidades:

dpu= 10/100= 0.1 (defectos por unidad)
 dpmu= (dpu) (106) = 100, 000 (defectos por cada millón de unidades)

Si en cada unidad existen 10 posibilidades de ocurrencia en un defecto.

dpo= 10/1000= 0.01
 dpmo=dpmu/10= 10, 000 (defectos por cada millón de oportunidades)

Si cada unidad solamente tiene una oportunidad en la que puede ocurrir algún defecto, dpmo=dpmu. Originalmente ppm significa unidades defectuosas por cada millón, independiente mente del número de defectos en dichas unidades (Escalante, 2008).

El objetivo de la metodología Six Sigma es disminuir los defectos a la cantidad de 3.4 DPMO, y es muy importante que las empresas suban a estos niveles para poder ser competitivas a nivel mundial. La mayoría de las empresas operan a un nivel más bajo de calidad, por lo general entre 2 y 3 sigmas lo que significa entre 66,000 y 300,000 defectos por millón (Eckes, y Cárdenas, 2006).

3. Metodología Six Sigma

En el presente proyecto se desarrolló en el nivel de implantación operativo, y se aplicó la metodología DMAMC (acrónimo de definir, medir, analizar, mejorar y controlar). La propuesta que se hizo al director de la organización fue desarrollar el proceso de implementación de Six Sigma hacia niveles más altos, iniciando con la realización de un proyecto en el área operativa, por lo que a continuación se enuncian las fases y metodología desarrollada.

Fases DMAIC

La metodología Six Sigma busca la rigurosa reducción de la variación en todos los procesos críticos, e implica son una serie de pasos conocidos por sus siglas DMAIC, se puede considerar como una modificación del Ciclo de Deming para la Mejora Continua de Planear, Hacer, Verificar y Actuar (Escalante, 2008).

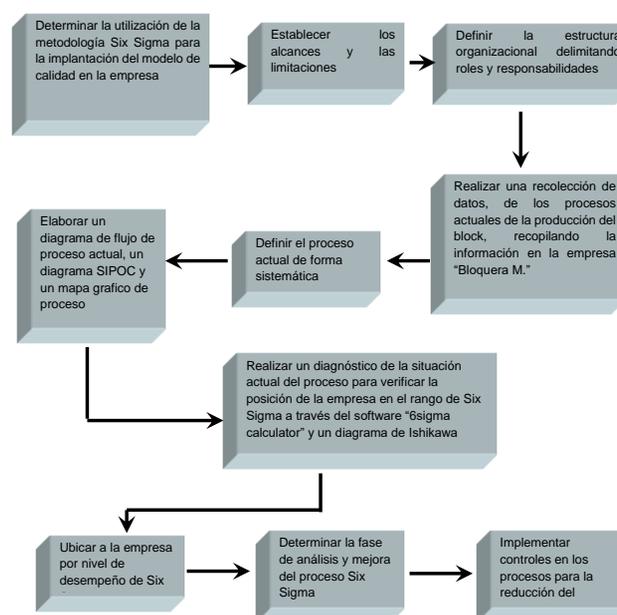


Figura 1 Secuenciación de aplicación

Fuente: *Elaboración Propia*

Desarrollo

Fase de definición

Se tuvo una plática con el director de la empresa donde se realizó el proyecto, en la que se dispuso que la problemática principal e interés de los directivos es la reducción del producto defectuoso en la fabricación de blocks prefabricados. Así como también tener una mejor distribución y colocación del producto en almacenamiento.

La información que se pudo obtener de la empresa fue la capacidad de la máquina, así como también, el porcentaje de producto defectuoso, la demanda y el costo del proceso de la fabricación de Block prefabricado. También se tuvo que observar el proceso y se obtuvieron datos más precisos. El siguiente paso fue el definir qué tipo de limitaciones y qué tipo de alcances con el fin de llegar a un resultado más concreto.

Uno de los alcances fue el proponer un nuevo procedimiento, así como también una nueva capacitación, y definir y concretar la línea de producción. En cuanto a las limitaciones sólo se pudo encontrar que el único impedimento era el presupuesto fijo para la inversión del proyecto. Además, que se desarrolló también para esta fase, la estructura de roles y responsabilidades, un diagrama SIPOC, un mapa de flujo de proceso detallado, un mapa gráfico de proceso y la descripción del proceso narrativo en forma secuencial.

Cabe señalar en este punto de limitaciones y alcances que no se podrán establecer controles totales, debido a que se lograra operativizar todas las variables, cuando se establezca por completo el proceso en función a Six Sigma, porque lleva una curva de adaptación de que puede variar hasta un año (Escalante, 2008).

Estructura organizacional, roles y responsabilidades

En esta parte se describen las funciones que cada uno de los participantes. Para el desarrollo de Six Sigma en sus diferentes fases. Además, se establecen el tipo de actividades, y dónde estarán involucrados cada uno en cada fase. Nos nombres de las personas que integraron el equipo de trabajo se omitieron intencionalmente, las cuales fueron, el Gerente General que es el responsable de aprobar el proyecto (Champion), Gerente de Producción. (Black Belt) y jefe de producción (Green Belt). Por lo cual, se le asignaron roles y responsabilidades en la que se describe claramente las labores y deberes que se deben cumplir.

Principales productos que se elaboran en la empresa

Existen en la empresa una gama de productos que se manufacturan, sin embargo, hay 2 tipos principalmente que abarcan el 48% de acuerdo con el historial de ventas de los ejercicios 2017-2018. Por otra parte, cabe señalar que el estudio también se enfoca en los productos mencionados a continuación, de acuerdo a la información proporcionada por la empresa

Block Hueco

Se utiliza para todo tipo de muros, su colocación es rápida, ahorro en cimbras por sus huecos se elaboran castillos integrados. Cada pieza pesa en promedio 14 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m². Cuenta con una resistencia de 90 Kg/cm².

Block Macizo

Se utiliza para bardas, casas habitación, bodegas, naves industriales, etc. Cuenta con un mayor rendimiento al colocarlo por su tamaño. Cada pieza pesa en promedio 13 Kg. y tiene un rendimiento de 12.5 piezas por m². Con una resistencia de 60 Kg/cm².

Es importante mencionar también, que el proceso es habitualmente el mismo para la elaboración de los diferentes tipos de block; En la mayoría de los casos, sólo se cambia el molde del producto y el proceso prácticamente es el mismo.

Descripción del Proceso

Es importante conocer el proceso de producción para poder entender cómo se elaboran los blocks prefabricados de una manera rápida y comprobar los pasos de la producción. Secuencia de producción de la fabricación de block mostrada en la figura 2 y 3.

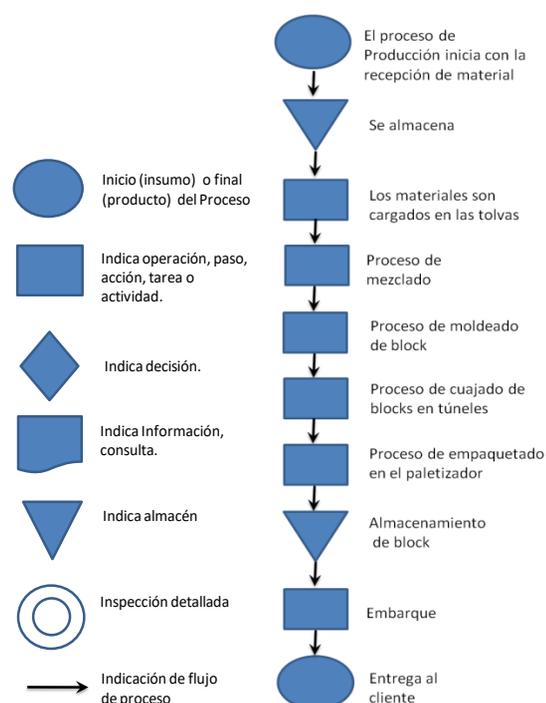


Figura 2 Diagrama de flujo de proceso

Fuente: *Elaboración Propia*

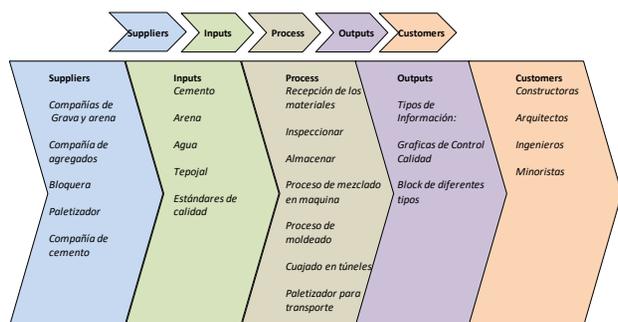


Figura 3 Diagrama SIPOC

Fuente: Elaboración Propia

En esta fase de definición se ha descrito las particularidades básicas que se requieren en esta instancia, como los procesos que existen en las áreas productivas en la bloquera, donde se está desarrollando esta investigación, así como también se han identificado las personas que interactúan en el proceso directa o indirectamente, y se ha asignado los roles y responsabilidades del equipo de Six Sigma. Así como también, se obtuvo información adicional a través de los diagramas antes mencionados que se elaboraron en esta fase, como los alcances y limitaciones del proceso, reprocesos, tipos de clientes. El paso siguiente de la metodología de Six Sigma es la fase de medición para diagnosticar la situación actual, identificar las necesidades e intervenir para poder reducir el número de productos defectuosos de blocks prefabricados.

Fase de medición

En esta etapa de medición se utilizaron técnicas para recolectar datos sobre el desempeño actual del proceso, haciendo el cálculo de los índices del proceso, se analizó la causa efecto del proceso a través del diagrama de Ishikawa (ver figura 4) determinando las posibles fuentes que provocan defectos como se muestra a continuación.

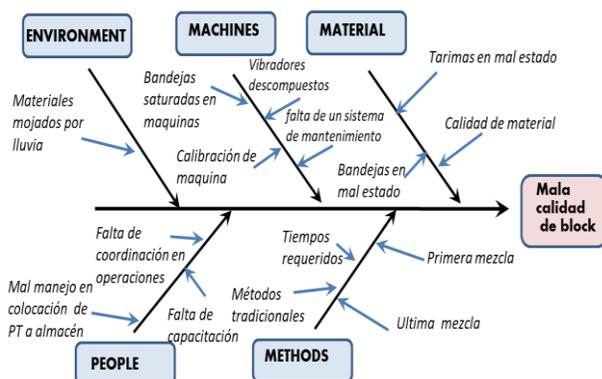


Figura 4 Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración Propia

En el diagrama de Ishikawa se muestran e involucran elementos como mezcladoras, falta de capacitación, falta de coordinación de operaciones, bandejas saturadas y otras variables que causan la mala calidad en el block. Por otra parte, se tienen datos del año 2017, proporcionados por la empresa. La producción anual de blocks prefabricados fue de 1,185,320 unidades de las cuales, se tuvieron 19,325 piezas no satisfactorias clasificadas como defectos, dentro de las áreas de producción, así como también en la colocación del producto en el inventario. Lo cual demuestra que existe un 1.63 % de producto no deseado en el año 2009. Con esta información se calculó el DPMO (Defectos Por un Millón de Oportunidades), el cual fue de 16,303.61 y el nivel sigma del proceso, que se obtuvo fue de 3.64. Cálculo obtenido por Six Sigma calculator (Figura 5).

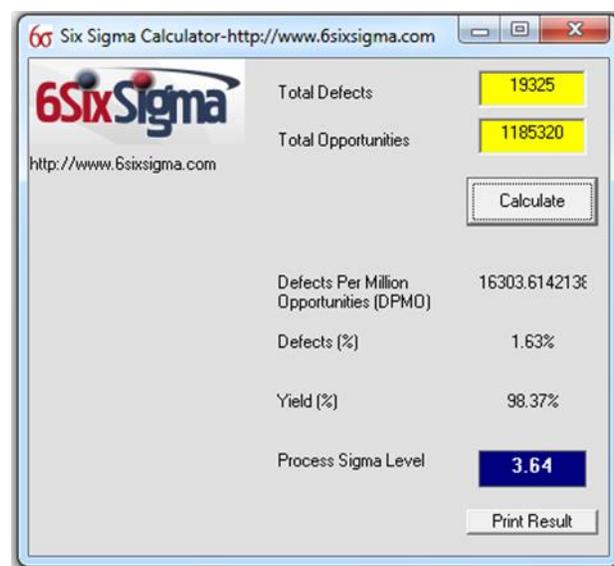


Figura 5 Calculadora Six Sigma, 6sixsigma.com, 2018, en red

Los datos obtenidos en esta fase son parte fundamental, debido a que refleja la posición de la empresa dentro del contexto mundial en competitividad, de acuerdo a la Tabla 1.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.40	99.999998%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233.00	99.98%	5 - 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6.210	99.4%	15 - 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	68.807	93.3%	25 - 40% de Ventas	No Competitivo
2	308.537	69.2%	No Aplica	No Competitivo
1	690.000	30.9%	No Aplica	No Competitivo

Tabla 1 Clasificación de las empresas por nivel de desempeño de Six Sigma

Fuente: Citado en Rueda, (2007)

En la Tabla 1 se observa que el proceso se encuentra ubicado en 3.64 de DPMO en la escala de sigma, lo significa que no hay competitividad en la empresa, por lo tanto, es otro punto importante en tomar en cuenta para la implementación del modelo de calidad propuesto en el presente trabajo de investigación.

Por otra parte, también se encontró información adicional con la aplicación del diagrama de Ishikawa (causa y efecto), cuando se aplicó en las áreas que no se consideraban de suma importancia pero que afectan al producto final como la fórmula de los agregados, el paletizador, la primera mezcla y la lluvia que afecta a los agregados, entre otros.

Es importante también mencionar que los problemas que afectan en mayor grado a la mala calidad de block se ocasionan principalmente por las bandejas que se encontraban en mal estado, la última mezcla de la producción diaria, los problemas de la máquina, y la colocación de los blocks en el almacén.

Para ello, se revisó el historial del 2017, donde se desglosaron los defectos más importantes encontrándose que las bandejas que están en mal estado ocasionaban un desperdicio que en conjunto con los defectos originados por problemas en maquinaria originan 49.62% de desperdicios totales. Un mal manejo de block en el almacén y falta de capacitación de operarios ocasionan un 37% de total de desperdicios como principales problemas (ver figura 6).

Medición del proceso

Para determinar la problemática del proceso en condiciones actuales, y verificar la funcionalidad del mismo, se recurrió a la recolección de datos para realizar posteriormente, un análisis estadístico con los datos obtenidos de un mes de producción. El análisis de la información recabada que se realizó en conjunto con el equipo de Six Sigma, descrito a continuación en la fase de análisis, siguiendo el procedimiento metodológico de Six Sigma.

Fase de análisis

Una vez empleadas las herramientas de calidad como el diagrama de Pareto y la técnica de los “5 Por qué”, se obtuvieron los elementos requeridos, de la fase de análisis de acuerdo con la metodología Six Sigma (Sirvent, *et al.* 2006), y con ello se continuó con la siguiente fase de mejora.

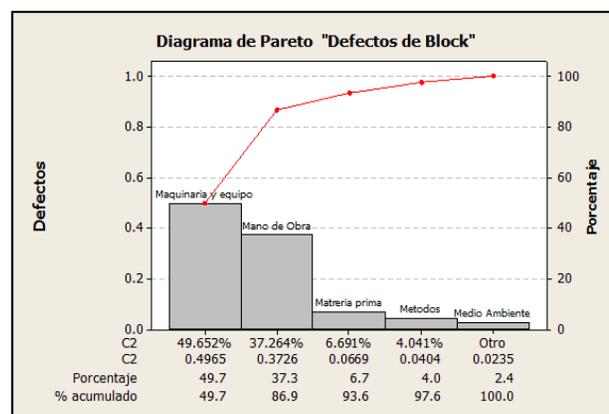


Figura 6 Pareto de defectos

Fuente: Elaboración Propia

Fase de Mejora

Continuando con las fases de definición, medición y análisis, se procedió a emplear la etapa de mejora, aplicando la herramienta de calidad Brainstorming o lluvia de ideas, realizada en mayo de 2017, respetando la metodología de la herramienta, en este sentido, se escogió entre otras aplicables a esta fase, debido a que se tenían que desarrollar las posibles soluciones, que demanda esta etapa, por ello también el Brainstorming se enfocó principalmente en los defectos originados por mano de obra, equipo y maquinaria; con la participación del equipo de trabajo de Six Sigma.

En función a la representación del mayor porcentaje de defectos, con base a la información del diagrama de Pareto que se empleó en la fase anterior. En este sentido se empleó un programa de capacitación para el personal operativo involucrado en el proceso en función a las necesidades de mejora de la mano de obra; y para la maquinaria y equipo se realizó un ajuste a la máquina de block y un programa de mantenimiento preventivo para los cuales se realizaron diferentes controles. Por otra parte, también, se rediseñó un método de trabajo necesario para la mejora y disminución de los defectos y desperdicio de material, así como también se realizaron controles para la recepción de la materia prima, y producto terminado.

Aunado a lo anterior se recurrió al mantenimiento productivo total, para maximizar la disponibilidad del equipo y maquinaria productiva de manufactura, impidiendo las fallas imprevistas y los defectos originados por esta causa; a través de la participación de los operadores en producción los cuales efectúan el mantenimiento autónomo a sus equipos y máquinas tales como lubricación, limpieza, y pequeños arreglos, así como el reporte de “sonidos raros” y con ayuda del análisis del historial de las máquinas y con la retroalimentación de los equipos de operación y mejora Kaizen.

De la misma forma, también se trabajó con los proveedores principalmente en los aspectos como especificaciones de material, condiciones de entrega, y necesidades de abastecimiento, para hacer el proceso cliente-proveedor más eficaz; además de lo mencionado se realizó una comparación antes y después de implementar el modelo Six Sigma que se enunciará propiamente en el siguiente capítulo de resultados de las mejoras del proceso en los defectos y desperdicios del proceso del block.

Fase de Control

Esta fase consiste en diseñar y documentar controles necesarios para asegurar que lo conseguido de acuerdo a los cambios realizados.

Implementación de controles

Es importante señalar que en la elaboración de controles se tiene la siguiente limitante, de que no se ha completado en su totalidad la implantación de Six Sigma de acuerdo a lo explicado anteriormente en alcances y limitaciones. Debido a que se tienen algunas restricciones de aprobación para realizar ciertos cambios que se explicaran en el siguiente capítulo de resultados y discusión. Sin embargo, hasta esta parte del trabajo se plantearon controles en la entrada de materia prima, en el proceso manejando control estadístico de proceso y seguimiento a través de gráficos, control de mantenimiento a través de mantenimiento preventivo a las máquinas que se mencionó anteriormente, capacitación periódica del personal, Así como exámenes al personal operativo y formación de círculos de calidad.

4. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados que se presentan en la hoja de recolección de datos del mes de noviembre de 2017, se obtuvieron 1164 defectos de una producción de 192,570 blocks, lo que matemáticamente se determinan 6044. 55 DPMO. Cabe señalar, que estos resultados fueron los obtenidos después de aplicar la Metodología Six Sigma en la Bloquera M.; la integración del equipo se logró debido a que cada integrante cumplió con las funciones y los roles que se presentaron en el anexo 1, reflejándose en el incremento del valor de Six Sigma en el proceso. Más adelante se discutirá este tema ampliamente.

En la fase de medición se acordaron las variables que se necesitaban medir y la forma con que se calculó fue a través de los diagramas de Ishikawa, Pareto, el valor de Six Sigma. El cálculo de los DPMO al inicio del estudio fue de 15,638.11 los cuales fueron calculados matemáticamente de acuerdo a la hoja de recolección de datos del mes de noviembre del 2017. Por lo respecta a la fase de análisis la solución del problema se logró a través de los 5 porqués sobre la razón a cambiar. Se lograron reducir los desperdicios del block prefabricado. Este paso constituye el contacto con la información relacionada con las causas de los problemas que enfrenta la Bloquera M.

En la fase de mejora se calcularon los ahorros obtenidos en el proyecto de aproximadamente 6044 defectos por millón de oportunidades, así como ahorro en la mano de obra equivalentes a 82.88%. El cálculo del ahorro aproximado que la empresa tendrá en acorto plazo en cuanto a defectos en otros rubros es de 67% en materia prima, 25% de maquinaria y equipo, métodos de trabajo 78%, y medio ambiente 35%. Se puede obtener matemáticamente los datos en un costo-beneficio de acuerdo a los anexos antes mencionados de un 61.44%.

En la última fase de control se estableció para el personal operativo un programa de capacitación la cual se midió por medio de un examen, en cuanto a la maquinaria y equipo se manejó un programa de mantenimiento productivo total donde se implementaron los controles diferentes para evitar las fallas que originaban defectos Esta metodología resultó exitosa ya que administrativamente los cambios por aceptación se verán reflejados en los datos de la fase de análisis y a la utilización de métodos de análisis estadístico y matemático.

5. Conclusiones y recomendaciones

El modelo Six Sigma se ha convertido en una metodología muy empleada y de una iniciativa estratégica que las empresas están utilizando para alcanzar elevados beneficios como se enunció en la revisión de la literatura. Empresas tales como: Motorola, General Electric, Honeywell y Polaroid entre otras, están materializando elevadas ganancias económicas gracias a la implementación de este modelo y debido a lo anterior, para muchos es como un mito, exclusivo sistema de gestión o programa adecuado únicamente para grandes empresas, pero se empieza a emplear este modelo de calidad en la PYMES para reducir desperdicios y en el caso particular de este trabajo resultó buena la implantación para la reducción de desperdicios en la productora de blocks, siendo una empresa pequeña con tendencia de crecimiento. Es importante señalar también, entender el significado de Six Sigma en su dimensión total, es el primer paso para que un directivo logre acometer su implantación con éxito.

Por otro lado, en el desarrollo se resalta nuevamente la necesidad de creer en el modelo, el estar convencido del método y que se comparta la idea de este modelo a nivel gerencial, ya que, de no ser así, la implementación pasa a ser un curso más de entrenamiento.

A continuación, se enumeran las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de forma ordenada y sistemática.

En el objetivo se alcanzó a cumplir una parte debido a que sí se logró implementar un modelo de calidad que garantice la reducción de desperdicios en la empresa, implementando Six Sigma, sin embargo, no se llegó a los 4.3 defectos por millón, el verdadero concepto de la metodología sólo alcanzó un 4.01 Sigmas ubicando a la empresa en un nivel que empieza a ser competitivo de acuerdo a la clasificación que se muestra en la Tabla 1, ya que se redujeron los desperdicios en un 61.44% de acuerdo a lo comparado con la información a la figura 5.

El enfoque de Six Sigma estuvo de acuerdo a la problemática de calidad de la empresa, y pudo implantarse de forma parcial por lo mencionado en el anterior punto, en una empresa de block familiar reduciendo costos derivados a la falta de calidad, resultando adecuado para incrementar la productividad de la empresa.

La aportación del trabajo en términos teóricos benefició a la disciplina de calidad y productividad, y con esto ser más rentable principalmente para empresas PYMES, debido a que permite mayor conocimiento o tener una visión más amplia de cómo aplicar herramientas teóricas y prácticas para implementar un modelo de calidad empleando la metodología Six Sigma a una pequeña empresa.

En la aportación práctica que se encontró concretamente en la “Bloquera M.”, fue que Six Sigma es una metodología que mejora los procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos, fallas, desperdicios o retrabajos, consiguiendo incrementar la productividad de la empresa haciéndola más rentable.

En la autocrítica del presente trabajo se puede mencionar que se tuvo limitantes en la concientización del personal operativo, se debe cambiar la manera de pensar, la resistencia al cambio de cultura fue factor fundamental, los operarios no querían dar nada a cambio de tener beneficios propios y se presenta cuando se violan requerimientos importantes del cliente (sea este interno o externo), genera defectos, quejas y costos. Cuanto mayor sea el número de defectos que tengan lugar, mayor serán los costos en que se incurran.

Además, que las juntas con el grupo responsable, en varias ocasiones fueron canceladas, en cuanto a los defectos por los cuales no se llegó también a la meta es porque se necesita seguir trabajando en el control del proceso, ya que no se podrán establecer controles totales, debido a que se logrará operativizar todas las variables, cuando se establezca por completo el proceso en función a Six Sigma, debido al proceso que sigue la curva de adaptación, en la cual puede variar hasta un año.

Por otro lado, también se pudo observar que el máximo desperdicio y defectos lo origina la máquina productora de block aun realizándole su mantenimiento preventivo, debido a que se siguen generando defectos en los productos, por lo que se debe reemplazar la maquinaria que en su momento fue tema de discusión con el Director General. Este cambio que se tiene planeado a un mediano plazo representa una inversión considerable para realizarlo de forma inmediata, pero al conseguirlo se modernizaría el proceso automatizándolo, que aunado a las otras variables antes mencionadas se escalaría en la clasificación de empresas competitivas hasta llegar a ser una empresa de clase mundial Six Sigma, mejorando con esto su productividad y rentabilidad.

Referencias

Bahena Q. M. (2006). Aplicación de la metodología seis sigma para mejorar la calidad y productividad de una planta de bebidas. Tesis de Maestría. México, Puebla: Universidad Iberoamericana.

Del Olmo, C. (2009). Calidad y excelencia en la gestión de las pymes españolas. EOI Esc. Organiz. Industrial.

Demuner, M. D. R., & Mercado, P. (2011). Estrategia Competitiva y Tecnología de la Estructura Productiva en PyMEs Manufactureras de Autopartes del Estado de México. Estudio de Caso Múltiple. Panorama Socioeconómico, 29(42).

Domínguez, R. I. G., Amaya, P. P., López, R. R., Arredondo, R. D. M., Valdiviezo, I. C., & Sáenz, A. G. (2016). Reducción de costos en pequeñas y medianas empresas con un enfoque Seis Sigma: Revisión de Literatura. CULCyT, (57).

Eckes, G., Cárdenas, N. J. (2006). El Six Sigma para todos. Colombia: Editorial Norma.

Escalante, E. J. (2008). Seis - Sigma. Metodología y Técnicas (1ra Ed.). México: Editorial Limusa.

Felizzola, H., Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 22(2), 263-277.

Folaron. J. (2003). "The Evolution of Six Sigma". Six Sigma Forum Magazine. Vol. 2, Issue 4.

Hilton, R. J., & Sohal, A. (2012). A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. International Journal of Quality & Reliability Management, 29(1), 54-70.

Kaushik, P., Khanduja, D., Mittal, K., & Jaglan, P. (2012). A case study: Application of Six Sigma methodology in a small and medium-sized manufacturing enterprise. The TQM Journal, 24(1), 4-16.

Llach, J., Perramon, J., del Mar Alonso-Almeida, M., & Bagur-Femenías, L. (2013). Joint impact of quality and environmental practices on firm performance in small service businesses: An empirical study of restaurants. Journal of Cleaner Production, 44, 96-104.

Maleyeff, J., Arnheiter E., Venkateswaran, V. (2012). "The continuing evolution of lean six sigma". The TQM Journal. Vol. 24, Issue 6, DOI: 10.1108/17542731211270106.

Martínez, R. (2013). Relación entre calidad y productividad en las PYMEs del sector servicios. Publicaciones en Ciencias y Tecnología, 7(1), 85-102.

Nicolay, C. R., Purkayastha, S., Greenhalgh, A., Benn, J., Chaturvedi, S., Phillips, N., & Darzi, A. (2012). Systematic review of the application of quality improvement methodologies from the manufacturing industry to surgical healthcare. *British Journal of Surgery*, 99(3), 324-335.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). *The six sigma handbook* (Vol. 4). New York: McGraw-Hill Education.

Rendón, A. L. F., & Flórez, J. M. C. (2017). Relación entre las prácticas de Ingeniería del Mejoramiento y las ventas en las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas.

Ruiz-Torres, A. J., Ayala-Cruz, J., Alomoto, N., & Acero-Chavez, J. L. (2015). Revisión de la literatura sobre gestión de la calidad: caso de las revistas publicadas en Hispanoamérica y España. *Estudios Gerenciales*, 31(136), 319-334.

Rueda, B. L. (2007). Aplicación de la metodología seis sigma y lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables. Tesis de Maestría en ciencias en administración de negocios. México: Instituto Politécnico Nacional.

Sirvent, P., Mateu, Mahiques, J., Sagasta, P. S. (2006). *Manual de control estadístico de calidad* (3ra Ed.). España: Publicacions de la Univesitat Jaume I.

Timans, W., Antony, J., Ahaus, K., & van Solingen, R. (2012). Implementation of Lean Six Sigma in small-and medium-sized manufacturing enterprises in the Netherlands. *Journal of the Operational Research Society*, 63(3), 339-353.

Timans, W., Antony, J., Ahaus, K., & van Solingen, R. (2012). Implementation of Lean Six Sigma in small-and medium-sized manufacturing enterprises in the Netherlands. *Journal of the Operational Research Society*, 63(3), 339-353.

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]

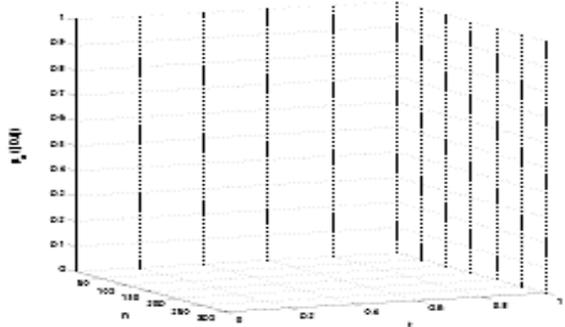


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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-VILLO, 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

ARCILA-ARANGO, Mauricio. MsC

VALLE-CORNAVACA, Ana Lorena. PhD

ALAS-SOLA, Gilberto Américo. PhD

MARTÍNEZ-HERRERA, Erick Obed. MsC

ILUNGA-MBUYAMBA, Elisée. MsC

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

“Elaboración de hojas de operación estándar para el mantenimiento del servicio mayor de una empresa automotriz del Sur de Sonora”

BELTRÁN-ESPARZA, Luz Elena, GONZÁLEZ-VALENZUELA, Elizabeth, FORNÉS-RIVERA, René Daniel y KIMOTO-OKUDA, Sumiko
Instituto Tecnológico de Sonora

“Efecto del cambio del ángulo de los álabes de los impulsores en el flujo interior en depósitos cilíndricos”

LIZARDI-RAMOS, Arturo, LÓPEZ-CALLEJAS, Raymundo, TERRES-PEÑA, Hilario y VACA-MIER, Mabel
Universidad Autónoma Metropolitana

“Solución de problemas mediante la aplicación de las etapas de ingeniería de métodos”

GUZMÁN-SÁNCHEZ, Edgar Edin, RODRÍGUEZ-REALYVAZQUEZ, José Rafael, MOLINA GARDEA, Claudia Janeth y CORTES-CARRILLO, Francisco
Universidad Tecnológica de Chihuahua

“Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla”

CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, CARMONA-SILVA, José Luis y MÚÑIZ-MONTERO, Isabel
Universidad Politécnica de Puebla
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

