

ISSN 2523-0344

Volumen 4, Número 12 -- Abril -- Junio -- 2020

Revista de Ingeniería Industrial

ECORFAN®

ECORFAN-Perú

Editor en Jefe

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Revista de Ingeniería Industrial, Volumen 4, Número 12, Junio - 2020, es una Revista trimestral editada por ECORFAN-República del Perú. AV. La Raza, No 1047 - Santa Ana, Cusco-Perú, CP: 11500. WEB: http://www.ecorfan.org/republicofperu/rj_ingenieria_industrial.php, revista@ecorfan.org. Editor en Jefe: SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC. ISSN: 2523-0344. Responsable de la última actualización de este problema Unidad Informática ECORFAN. Imelda Escamilla Bouchán, PhD. Vladimir Luna Soto, PhD. Actualizado al 30 de Junio, 2020.

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

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

Revista de 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 de 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 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

AYALA - GARCÍA, Ivo Neftalí. PhD
University of Southampton

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

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

DIAZ - RAMIREZ, Arnoldo. PhD
Universidad Politécnica de Valencia

HERNÁNDEZ - PRIETO, María de Lourdes. PhD
Universidad Gestalt

LAGUNA, Manuel. PhD
University of Colorado

LARA - ROSANO, Felipe. PhD
Universidad de Aachen

RIVAS - PEREA, Pablo. PhD
University of Texas

TIRADO - RAMOS, Alfredo. PhD
University of Amsterdam

VEGA - PINEDA, Javier. PhD
University of Texas

Comité Arbitral

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

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

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

OCHOA - CRUZ, Genaro. PhD
Instituto Politécnico Nacional

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

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

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

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

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

RODRÍGUEZ - DÍAZ, Antonio. PhD
Universidad Autónoma de Baja California

RUELAS-SANTOYO, Edgar Augusto. PhD
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

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 América-Europa-Asia-África y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del Research Journal con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial- Asignación del par de Árbitros Expertos- Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de Artículo Modificado para Edición-Publicación.

Instrucciones para Publicación Científica, Tecnológica y de Innovación

Área del Conocimiento

Los trabajos deberán ser inéditos y referirse a temas de 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, *Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC*, por CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio, con adscripción en la Universidad Politécnica de Puebla y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, respectivamente, como segundo artículo presentamos, *Manufactura artesanal de papel*, por RAMÍREZ-ROMÁN, Adolfo, SUÁREZ-ÁLVAREZ, Ángel, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Luis Alberto y CHABAT-URANGA, Jacqueline, con adscripción en la Universidad Veracruzana, como tercer artículo presentamos, *El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel*, por MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio Cesar, CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, HERNÁNDEZ-LUNA, Aldo y HERNÁNDEZ-HILARIO, Raymundo, con adscripción en la Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, como cuarto artículo presentamos, *Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos*, por VELÁZQUEZ-CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, ROJAS-BALBUENA, Dorian y LIMON-DIAZ, Miguel Ángel, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango.

Contenido

Artículo	Página
Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio <i>Universidad Politécnica de Puebla</i> <i>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</i>	1-12
Manufactura artesanal de papel RAMÍREZ-ROMÁN, Adolfo, SUÁREZ-ÁLVAREZ, Ángel, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Luis Alberto y CHABAT-URANGA, Jacqueline <i>Universidad Veracruzana</i>	13-29
El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio Cesar, CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, HERNÁNDEZ-LUNA, Aldo y HERNÁNDEZ-HILARIO, Raymundo <i>Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango</i>	30-41
Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, ROJAS-BALBUENA, Dorian y LIMON-DÍAZ, Miguel Ángel <i>Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango</i>	42-53

Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC

Optimization of the drilling process in the vertical stabilizer area to reduce defects in a company in the aerospace sector by implementing the DMAIC methodology

CHAVEZ-MEDINA, Juan†, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio

Universidad Politécnica de Puebla, México.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

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

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

ID 2^{do} Coautor: *Lizbeth, Sánchez-Flores* / ORC ID: 0000-0003-1318-3873, CVU CONACYT ID: 422258

ID 3^{er} Coautor: *José Aurelio, Cruz-de los Ángeles* / ORC ID: 0000-0002-8682-366X, CVU CONACYT ID: 674056

DOI: 10.35429/JIE.2020.12.4.1.12

Recibido Abril 10, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

Actualmente para las organizaciones es muy importante cumplir con la satisfacción de los clientes tanto externos como internos, de igual forma se debe cumplir con los estándares de calidad establecidos, debido a que los productos que se realizan pueden llegar a atentar contra el bienestar del consumidor final. El presente trabajo trata de esta temática, sin embargo, es necesario mencionar que la empresa donde se realizó el proyecto será denominada como "Empresa A", debido a un contrato de confidencialidad. En la cual se encuentra un proceso donde se realizan barrenos en la piel del estabilizador vertical con una maquina semi automatizada. Al final se inspecciona y se nota que el avellanado presenta marcas las cuales son visibles o pueden sentirse al pasar la uña por encima. Este problema genera que los operadores tengan que realizar nuevamente este proceso, pero a mano para no rebasar la medida establecida del avellanado y dejarlo con una estética de pulido espejo. El objetivo de este proyecto es minimizar estos defectos que se presentan en la piel del estabilizador vertical en el proceso de barrenado de la "Empresa A" los cuales ha estado generando retrabajo en la línea de producción. En este contexto, la importancia de cumplir con los estándares de calidad lograría seguir conteniendo en un mercado cada vez más estricto, buscando la mejora continua, la estandarización y control de los procesos y la satisfacción de los clientes. El presente trabajo identifica, reduce y controla las fuentes de variación que están afectando las salidas del proceso de barrenado del estabilizar vertical, mediante la aplicación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar (improve en inglés) y Controlar. Los resultados que se generaron fueron favorables para el proceso ya que además de la disminución de los defectos se encontraron otras áreas de mejora para que el proceso tuviera una estandarización y control. Teniendo en cuenta esto se recomienda que el departamento de métodos y producción deben seguir trabajando en conjunto, para que no se sigan presentando estos defectos. Se pueden realizar investigaciones adicionales para identificar otros factores que afecten de manera indirecta el proceso de barrenado y esto sería de gran oportunidad para la estación.

Estándares de calidad, Defectos, sector aeroespacial, Proceso de barrenado, Metodología DMAIC

Abstract

Currently for organizations it is very important to comply with the satisfaction of both external and internal customers, in the same way it must comply with the established quality protocols, because the products that can be obtained can come to undermine the consumer's well-being final. The present work deals with this subject, however, it is necessary to specify that the company where the project was carried out will be determined as "Company A", due to a confidentiality contract. In which there is a process where holes are made in the skin of the vertical stabilizer with a semi-automated machine. At the end it is inspected, and it is noted that the countersink has marks which are visible or can be felt when the nail is passed over it. This problem causes operators to have to carry out this process again, but by hand so as not to exceed the established countersink measurement and leave it with a mirror polished aesthetic. The objective of this project is to minimize these defects that appear in the skin of the vertical stabilizer in the drilling process of "Company A", which have been generating rework in the production line. In this context, the importance of complying with quality problems would continue to contend in an increasingly strict market, seeking continuous improvement, standardization and control of processes, and customer satisfaction. The present identification work reduces and controls the sources of variation that are affecting the outputs of the vertical stabilizer barrier process, through the application of the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control. generated were favorable to the process and that in addition to the reduction of defects, other areas of improvement were found so that the affected process became standardized and controlled. Taking this into account, it is recommended that the methods and production department continue to work together, so that these defects do not continue to appear. Additional research can be done to identify other factors that indirectly affect the drilling process and this could be a great opportunity for the station.

Quality, Defects, aerospace sector, Drilling, DMAIC methodology

Citación: CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio. Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC. Revista de Ingeniería Industrial. 2020. 4-12:1-12.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente crece el desarrollo del sector aeronáutico en el mundo cada día más rápido y es por eso que México tiene previsto que para el 2020 este dentro de los 10 primeros países más importantes a nivel mundial. Como lo mencionó Luis Lizcano, Director General de la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA), en 2018 las exportaciones mexicanas del sector aeronáutico consiguieron un valor cercano a los 8,500 millones de dólares (12% más que el año pasado) lo que recuperó un 20% de superávit en la balanza comercial (Fernández, 2019).

Hay que mencionar además que, en el cierre del pasado año 2018 se registraron aproximadamente de 60,000 empleos. Por consiguiente, el pronóstico de FEMIA para el año 2020 es que México se localice entre los primeros 10 países más importantes de la industria a nivel internacional, con exportaciones por más de 12,000 millones de dólares, más de 110,000 empleos y 22% de superávit en la balanza comercial (Pineda, 2019).

Hoy existe una flota aérea mundial de 23 mil 480 aviones, y para 2036 se espera que este número aumente a los 46 mil 900 gracias al aumento de la demanda, que incrementará en un 57%. Este sector no depende de México, sino que se trata de un asunto global la industria seguirá creciendo de forma dinámica, pese a que la economía global se desacelere (Redacción A21, 2019).

Como se observa, el crecimiento del sector aeronáutico es notable y como lo menciona el Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial en los últimos 10 años el número de plantas y centros de ingeniería, así como de entidades de apoyo que se han establecido en el país se ha triplicado, pasando de 109 en 2006 a 330 identificadas en 2016. Se han establecido en el país compañías de clase mundial, lo que ha permitido la formación de importantes conglomerados industriales en diversas regiones del país, principalmente en la parte norte y centro (Secretaría de economía, 2017).

El estado de Querétaro es el principal destino en el país de inversión extranjera en el sector aeronáutico, al captar 31% de los 3 mil 138 millones de dólares registrados entre 1999 y 2018, además se ha convertido en el cuarto destino de inversiones aeronáuticas a nivel mundial. En el 2018 el sector aeroespacial solo en el estado de Querétaro se generaron ocho mil 400 empleos directos, y para el cierre de este año 2019 se calcula que serán nueve mil 500 plazas (Ramos, 2019).

Todo este gran desarrollo que está presentando el sector aeronáutico demanda que los métodos sean cada vez más competentes para la fabricación de productos más sofisticados, exigiendo una perfección, debido a que las tolerancias se vuelven cada vez menores, tanto que las condiciones inicialmente aprobadas de acuerdo al método del proceso a través de máquinas herramientas ya no podrán ser más aplicadas.

Por lo anterior, este trabajo tiene el propósito de optimizar el proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir los defectos de "marcas en los avellanados" en la estación Agx880 en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC.

Fundamentos teóricos y definiciones de constructo

Six Sigma es un término gestado por el ingeniero Bill Smith, de Motorola, quien, en 1987, después de trabajar durante casi 35 años en ingeniería y control de calidad, se unió a Motorola. Se utilizó "Six Sigma" para describir un nivel esperado de margen de diseño y calidad del producto. Smith y Harry trabajaron juntos para llegar a un enfoque de resolución de problemas en cuatro etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, que se convirtió en la piedra angular del proceso Six Sigma, más tarde llamado DMAIC (Molina, 2016). Como menciona Aguirre (2015), Six Sigma además de buscar mejorar y controlar los problemas visibles busca resolver problemas que no se han detectado aun, como causas que no se toman a consideración, pero pueden afectar el proceso considerablemente. Una política que deben manejar las empresas es invertir en calidad, ya que así el cliente comenzará a confiar en el producto de la empresa.

Hoy en día la introducción e implementación de Six Sigma ha tenido un gran impacto en las empresas de manufactura. Es evidente que desde hace tiempo las empresas utilizaran la administración de la calidad como una herramienta de mejora apoyándose en un sistema de trabajo lo que en conjunto con un equipo el compromiso, y esfuerzo permanente llegan a cumplir o incluso exceder con las expectativas del cliente.

Uno de los propósitos de Six Sigma según Tolamatl, *et al.* (2011), es reconocer y anular los defectos en un proceso, que son causas de conformidades para los clientes además de afectar la rentabilidad de las empresas.

Es importante señalar que las grandes empresas siguen creciendo gracias a las estrategias de calidad basándose en las normas, en el caso del sector aeroespacial las normas de calidad son EN 9100, EN 9110 y EN 9120 dirigidas a los sectores de fabricación de material aeroespacial, empresas de mantenimiento aeronáutico, logística y componentes aeronáuticos (SAE, 2004).

Volviendo al tema la Metodología Six Sigma se ha utilizado en las empresas para el mejoramiento de la calidad, incremento de la productividad y la disminución de costos repercutiendo en un mejoramiento de la empresa. Sigma (σ) es una letra del alfabeto griego la cual también es utilizada en estadística para representar la desviación estándar; 6σ corresponde al ancho de banda de una distribución normal.

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: $YFP1x YFP2x YFP3x \dots YFPn$.

- 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.

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

(Urdhwareshe, 2011).

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:

$$dpu = 10/100 = 0.1 \text{ (defectos por unidad)}$$

$dpmu = (dpu) (10^6) = 100,000$ (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).

El fin de esta metodología es disminuir los defectos a la cantidad de 3.4 DPMO, es necesario que las empresas suban a estos niveles para poder ser competitivas a nivel mundial. La aplicación de esta metodología se basa en un problema real realizando estudios estadísticos para poder identificar las fuentes de variabilidad, así se identifican las variables que afectan el proceso y los niveles de desempeño óptimo, al final son monitoreadas las variables críticas y se mantiene el proceso en un control estadístico.

Para su implementación se cuenta con las publicaciones de grandes empresas (Motorola, General Electric, Sony, NASA, etc.) y se simplifica en 7 fases básicas: definición del proyecto de mejora, medición, análisis, mejoramiento, control, estandarización y reconocimiento (Reyes, 2002). Esta metodología es también conocida como el DMAMC acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, son como las fases que tienen las grandes empresas ya mencionadas (Navarro, *et al.*, 2017).

Optimización de procesos industriales

La Optimización un proceso industrial significa mejorar el proceso y para ello se requiere utilizar o asegurar todos los recursos que intervienen en él de la manera más excelente posible. Dicha optimización está orientada hacia dos metas fundamentales: maximizar ganancias y minimizar costos, esto teniendo como consecuencia una mayor producción a un menor costo.

Por consiguiente, el principal propósito de optimizar un proceso es incrementar la productividad. La optimización de procesos es una tarea difícil pero realizable, el cual se quiere de la colaboración y apoyo de todo el personal de la organización, trabajo en equipo.

El proceso de Optimizar implica en primer lugar poseer el conocimiento total del mismo, es decir, se necesita poseer toda la información relativa de las operaciones realizados en forma sistemática (García, 2016).

Productividad

La Productividad se define como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la industria la productividad sirve para evaluar el rendimiento de talleres, maquinaria, equipo de trabajo y los empleados.

La productividad de máquinas y equipos están dados como parte de sus características técnicas. En concreto, la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado en la cantidad de producción obtenida. “El mejor camino para que un negocio pueda crecer y aumentar su rentabilidad o sus utilidades es aumentando su productividad” (ITEMSA, 2014).

Contexto del caso de la “Empresa A”

Uno de los procesos críticos dentro de la “Empresa A” es la elaboración del estabilizador vertical, siendo su función mantener estable el avión, ya que si existe una perturbación que haga que el avión se desvíe y deje de estar alineado con la corriente incidente, el estabilizador vertical verá la corriente con un cierto ángulo de ataque y, al no ser más que un ala pequeña, provocará una fuerza en el centro de gravedad que hará que se alinee de nuevo con la corriente incidente sin necesidad de que el piloto toque ningún mando (Flores, 2016).

Como se mencionó este proceso es crítico y se han estado levantando reportes de no conformidad por las discrepancias presentadas en el producto. Dicho lo anterior se define una discrepancia como la diferencia que existe dos cifras que deben ser iguales, sin embargo, difieren en los resultados y en los métodos de cálculo dados (El Economist, 2013).

La empresa se divide en cinco zonas de trabajo, en la zona dos es donde se realiza el proceso del estabilizador vertical. Hablando de zona dos se reportaron en total de lo que lleva el año 470 reportes de no conformidad RNC por sus siglas en inglés, siendo 206 por parte del factor técnico y 264 por parte del factor humano. Estas cantidades son inquietantes ya que estamos hablando de un producto que atenta en contra de cliente final.

Este problema tiene antecedentes desde el 2018 en otra planta de la “Empresa A” situada en el parque industrial el Márquez, sin embargo, en junio de este año se incrementó el número de defectos en la planta donde se realizó el proyecto; se presentaron en la piel del estabilizador vertical entre ellos las marcas en los avellanados el cual puso en alerta a todos los departamentos.

Actualmente en la denominada “Empresa A” se utilizan herramientas semi automáticas para el barrenado de la piel de estabilizador, por lo cual, debe de ser más rápido el tiempo del proceso, sin embargo, la maquina llega a fallar y en ocasiones esas discrepancias realizan un para para poder identificar analizar qué fue lo que sucedió además una máquina que está valorada en \$10,000 USD para realizar un barrenado y un avellanado, lo cual representa que si se utiliza solo para barrenar se convierte en un taladro convencional de \$230 USD, esto significaría que no se está utilizando los recursos de manera adecuada, lo que hace al departamento no competitivo. De acuerdo a estos datos el proyecto está enfocado a la disminución de estas discrepancias.

Metodología Six Sigma

Dentro de la “Empresa A” se encuentra la estación AGX880 en la cual se estará realizando las fases de la metodología DMAIC, la cual, ha estado representado problemas en los avellanados del proceso de barrenado, es proceso que como objetivo se pretende disminuir estos defectos. A continuación, se describen cada una de las fases del proyecto.

Desarrollo

Fase de definición

El porcentaje por reducir fue platicado entre los departamentos teniendo un en cuenta que es un proceso crítico, por lo cual se decidió disminuir los defectos un 15%. Y para identificar como afecta este problema al KPI de calidad en el proceso se analiza las características críticas de la calidad que se muestran en la figura 1.

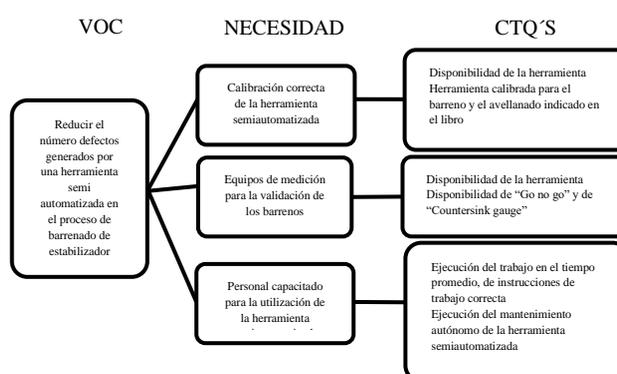


Figura 1 Críticos de calidad de acuerdo con la voz del cliente

Fuente: Elaboración propia

Estructura organizacional, roles y responsabilidades

Las actividades fueron dirigidas por miembros del equipo de Six sigma apoyados con equipo de métodos, debido a las pruebas que se debían realizar, a los cuales, 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

Dentro de la empresa existen diferentes productos que se manufacturan, entre uno de los componentes está el subensamble del estabilizador vertical de un avión de negocios, en la estación también se realiza el ensamble del sistema hidráulico, este producto tiene que avanzar a otra estación para ser colocado con en otro subensamble para poder terminar siendo enviado a una de las plantas en Montreal donde ahí se termina de unir al motos y las turbinas para poder entregar al cliente final.

Descripción del proceso

Es importante describir el proceso de para entender cómo se elabora el estabilizador vertical. A continuación, se presenta cuáles son las actividades involucradas y de qué forma están interconectadas en el proceso de barrenado en el siguiente diagrama

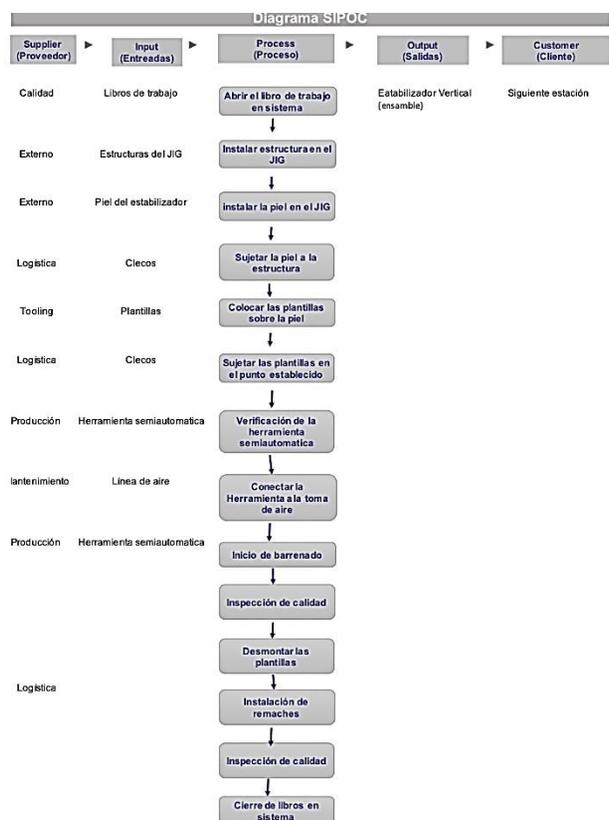


Figura 2 Diagrama SIPOC

Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la comprensión del proceso a continuación se muestran los pasos necesarios para la realización del proceso de barrenado del estabilizador vertical, ver figura 3.

Para seguir con esta fase, se presentan los datos históricos que se tiene de los defectos presentados en zona 2, donde está ubicada la estación de trabajo donde se fabrica el estabilizador vertical. En esta estación se manejan reportes de no conformidad para levantar anomalías o fallas dentro de nuestro producto. Como se muestra en la siguiente gráfica hay reportes que se levantaron como responsable al factor humano y al factor técnico (herramientas, JIG, herramientas de corte, plantillas). Mencionando de zona 2 se reportaron en total de lo que lleva el año 470 reportes de no conformidad (RNC).

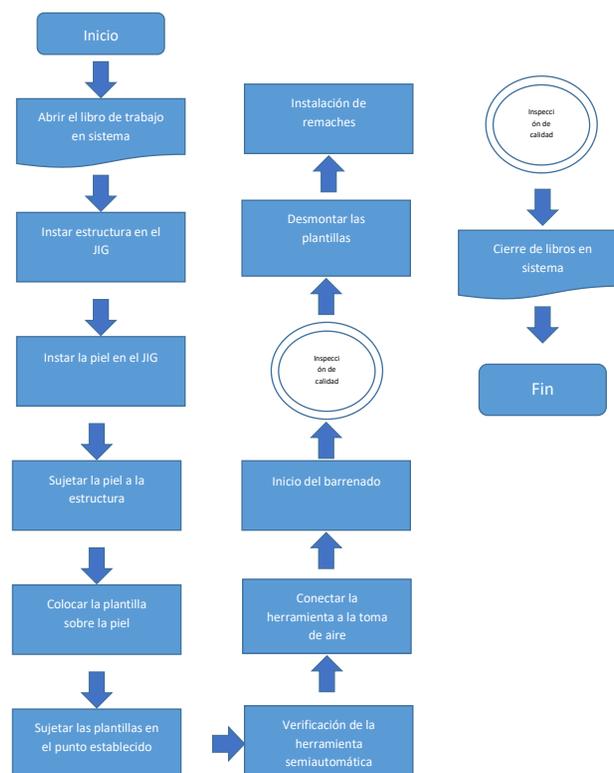


Figura 3 Diagrama de flujo del proceso de barrenado

Fuente: Elaboración propia

En esta etapa de definición se describieron las características que se requieren, como el proceso que se tienen el área productiva de la “Empresa A”, donde se desarrolló esta investigación, así como también se han identificado las personas que interactúan en el proceso directa o indirectamente. Además de obtener información adicional a través de los diagramas elaborados en esta fase, como los alcances y las limitaciones del proyecto.

Fase de medición

En esta fase se analizó la causa efecto del proceso a través del diagrama de Ishikawa (ver figura 4) para determinar las posibles fuentes que provocan defectos, así como también las posibles variables que afectan y un diagrama de Pareto para conocer los defectos.

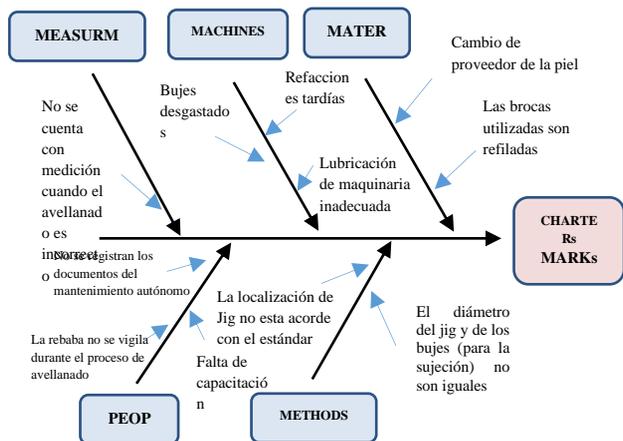


Figura 4 Diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el diagrama de Ishikawa el problema significativo es en la maquinaria ya que el factor humano se podría eliminar por ser una herramienta semi automatizada. Lo que genera que se presenten marcas en el avellanado del barreno.

De acuerdo con los datos obtenidos durante los meses de enero hasta agosto del presente año se elaboró un diagrama de Pareto, en la cual, se determinó que los barrenos y las marcas en el avellanado constituyen el 80% de los defectos y son las variables de salida que se deben controlar. En este contexto por parte de la empresa se decidió atacar las marcas de en los avellanados, debido a que este problema se tenía como prioritario para el departamento de métodos involucrado con las herramientas semi automatizadas.

Para analizar el proceso detalladamente se desarrolló una tabla con las variables importantes del proceso y así al identificarlas saber cómo se deben controlar para que el proceso se lleve a cabo adecuadamente. En la tabla 1 se observan las variables a controlar para cada operación.

Descripción de operación	Variable por controlar
Sujeción de las plantillas sobre la piel del estabilizador vertical.	La colocación de la plantilla correcta y la sujeción estándar propuesta.
Verificación de las condiciones de la herramienta semi automatizada y de corte	Seguir parámetros del cheque de la herramienta semi automatizada (HRI) Adecuada operación de lubricación Verificación de la vida útil de la broca (conteo de la herramienta semi automatizada).

Posicionamiento de la herramienta semi automatizada que es indicada por el diámetro del barreno que realiza.	Colocación de la herramienta en la plantilla correspondiente al diámetro a barrenar. Verificación de una correcta sujeción para evitar la vibración.
Validación por parte del operador del diámetro y del avellanado del barreno realizado	Limpieza antes y después de cada barreno. Verificación de los diámetros establecidos del barreno con la herramienta Pasa no pasa. Verificación de la profundidad establecida del avellanado sin ninguna marca presente en ella.

Tabla 1 Variables del proceso
Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del nivel sigma del proceso de barrenado en el estabilizador vertical se toma en cuenta que en la piel del estabilizador se hacen 1,697 barrenos, de los cuales se levantan 9 RNC por barrenos con condiciones de marcas en el avellanado, de los cuales se tuvieron que retrabajar. Con esta información se calculó el DPMO el cual fue de 1,061 y el nivel sigma del proceso, que se adquirió fue de 4.6. El cálculo de Six Sigma fue calculado a través de la calculadora 6SixSigma (figura 5).

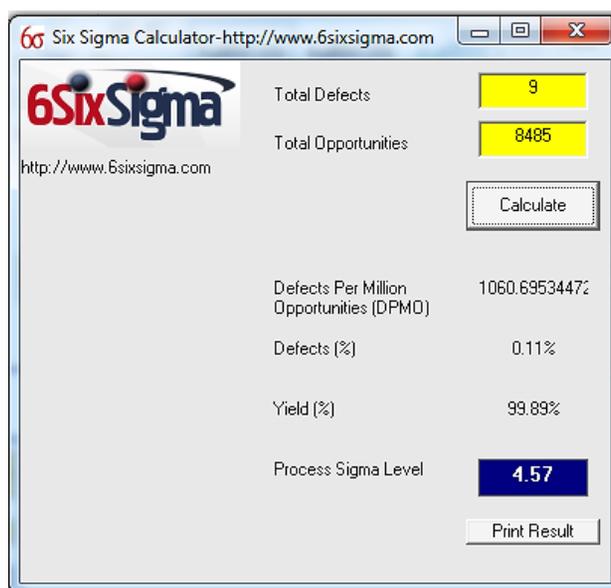


Figura 5 Calculadora Six Sigma
Fuente: Sixsigma.com (2019), en red

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 4.7 sigmas, de acuerdo con la Tabla 2.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.40	99.9999998%	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 2 Clasificación de las empresas por nivel de desempeño de Six Sigma

Fuente: Citado en Rueda, (2007)

Con un nivel Six Sigma de 4.57 de acuerdo con la fig. 5, se puede mencionar que el proceso de barrenado de la piel del estabilizador vertical tiene niveles bajos de productividad, eficiencia y calidad (ver tabla 2). Lo cual interpreta a una baja rentabilidad del por unidad del producto; esto también refleja un aumento en los costos de producción.

Fase de análisis

Para esta Etapa se identificaron las causas que afectan al proceso (variable x), por lo cual se realizó un AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) para la identificación de las fallas en el proceso y de esta forma evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos y causas, es así como, para esta forma, evitará su ocurrencia y se tendrá un método documentado de prevención. (Ver en anexo 1).

De acuerdo con este análisis el número de prioridad de riesgo (RPN), es el producto de la multiplicación de la severidad, ocurrencia y detección. El RPN es un número que indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla. Cuando este número es superior a 100 es evidente que se deben implementar acciones correctivas para evitar la ocurrencia de esas fallas, sin embargo, varios expertos coinciden que un RPN superior a 30 requiere de un tratamiento de modo de falla. De esta forma se identifica que las acciones que se deben tomar están en la falla de la herramienta de corte, la herramienta semi automatizada y de la sujeción de las plantillas.

Fase de mejora

Continuando con las fases de definición, medición y análisis, se procedió a la siguiente fase, la cual es denominada de mejora. Durante diversas reuniones se eligieron acciones correctivas para cada problema, estas acciones se observan en la tabla

Acciones correctivas
a. Mejorar y estandarizar la sujeción de las plantillas para el barrenado.
b. Inspeccionar las planillas y reemplazar las desgastadas.
c. Seguimiento del mantenimiento autónomo de las herramientas semi automatizadas.
d. Seguimiento del plan de mantenimiento preventivo de la herramienta semiautomatizada.
e. Concientizar y capacitar al personal sobre el correcto posicionamiento y uso de las herramientas semi automatizadas.
f. Corroborar la entrada de herramientas de corte en buen estado (nuevas/refiladas).
g. Comparación antes y después de implementar el modelo Six Sigma
h. Estandarización de tiempos de abastecimiento de herramientas de corte.
i. Estandarización de tiempos de abastecimiento de refacciones de las herramientas semiautomatizadas.

Tabla 3 Acciones correctivas

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de cada mejora se establecieron fechas de cumplimiento y el plan de implementación se colocó a la vista de todos los colaboradores para darle seguimiento. Las acciones a. y b. se realizaron con la intención de evitar las vibraciones que se generan por no estar bien sujetas a la piel del estabilizador y eso causaba que la herramienta semi automatizada ni estuviera fijada dejando rebaba y generando marcas en el avellanado de los barrenos.

Las acciones c. y d. son para maximizar la disponibilidad de la herramienta semi automatizada, frenando las fallas imprevistas y los defectos causados por ellas. Con la ayuda de los operadores se realizaban mantenimientos autónomos siguiendo la hoja de inspección inicial para verificar los campos de lubricación, herramienta de corte en buenas condiciones, contador positivo, sin fuga o que no tenga rebaba por dentro de la flecha etc.

Las acciones f, h, e i. se realizaron para tener un proceso cliente-proveedor más eficaz debido a que se realizaron juntas para un acuerdo de fechas de llegadas de las refacciones para estas herramientas en los mantenimientos preventivos, ya que por el uso presentaban desgaste en ciertos componentes y como las refacciones eran exportadas tenían un tiempo de llegada muy extenso. A demás de entregar las herramientas de corte con certificación para la validación de su reafilado. La actividad g. fue establecida para poder comparar el antes y después de implementar la metodología DMAIC que se enunciara propiamente en la siguiente fase.

Fase de control

En esta esta etapa de diseño los controles necesarios para asegurar que perdure lo que se conseguido en cuanto a los cambios realizados. Acordé los reportes de no conformidad de la recolección de datos del mes de noviembre con el fin de analizar el estado de variación del proceso de este mes, se levantaron 2 productos no conformes por condiciones de marcas en los avellanados de una producción de 1,697 barrenos con avellanado, lo que determina un DPMO de 236 (ver fig. 6).

Es importante mencionar que estos resultados se obtuvieron después de aplicar la metodología DMAIC, gracias a la integración de los departamentos que apoyaron este proyecto y con un especialista de soporte se logró cumplir con las funciones y los roles que se tuvieron viéndose reflejado en el incremento del valor de Six Sigma en el proceso.

En cuanto a las acciones y documento que se realizaron para evitar que incrementara de nuevo los defectos se menciona lo siguiente: el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas plantillas para la colocación de la herramienta semi automatizada, el procedimiento de la utilización correcta de las mismas además del seguimiento de los mantenimientos preventivos con el cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada. El entrenamiento realizado para los nuevos operadores y el uso bajo la supervisión de un operador con experiencia.

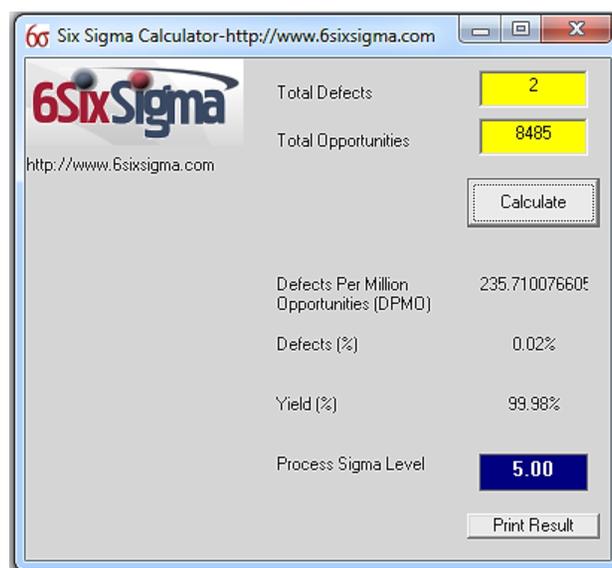


Figura 6 Nivel sigma alcanzado después de aplicar la metodología

Fuente: 6Sixsigma.com (2019), en red

En cuanto a las acciones y documento que se realizaron para evitar que incrementara de nuevo los defectos se menciona lo siguiente: el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas plantillas para la colocación de la herramienta semi automatizada, el procedimiento de la utilización correcta de las mismas además del seguimiento de los mantenimientos preventivos con el cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada. El entrenamiento realizado para los nuevos operadores y el uso bajo la supervisión de un operador con experiencia.

Discusión de resultados

Una vez realizado el proceso para identificar las áreas de oportunidad para incrementar la calidad y reducir la variación de los procesos, se pasó al de medición encontrando 9 defectos de una producción de 8485 unidades, lo cual, representó 1060.65 DPMO.

En esta misma la fase de medición se determinó las variables a controlar (ver tabla 1) que causaban la viabilidad del proceso utilizando herramientas básicas de calidad como el diagrama de Ishikawa, Pareto, el valor de Six Sigma, el cual se ubicó en nivel 4.57 (ver fig. 5), clasificándose en un nivel de baja competitividad de acuerdo con Rueda (2007).

En la fase de mejora se establecieron 9 acciones correctivas (ver tabla 3), las cuales fueron fundamentales para coadyuvar al mejoramiento de la variación de los procesos y mejora de la calidad; toda esta fase de mejora se reflejó en la fase que le sigue de control el cual, la variación del proceso de un mes de producción, se levantaron solo 2 productos no conformes por condiciones de marcas en los avellanados de una producción de 1,697 barrenos con avellanado, lo que determina un DPMO de 235.71 de acuerdo a la calculadora Six Sigma (ver fig. 6).

En cuanto, al del ahorro aproximado que la empresa obtendrá en acorto plazo por la disminución de los defectos y mejora del proceso, se calcula en un 77.76% en comparación con los DPMO antes y después de Six Sigma, con un desempeño de proceso (Yiel) de 99.89% a 99.98%, lo cual, impacta en materia prima, maquinaria y equipo, métodos de trabajo y mano de obra principalmente.

En este orden de ideas se debe mencionar que, si bien la implementación generó un impacto positivo en lo financiero y operacional, la evaluación de los resultados del portafolio de proyectos muestra que aún se deben generar cambios fundamentales para lograr mejores resultados, y esto se menciona en concordancia con lo que también exponen Felizzola, H., & Luna, C. (2014); Muturi, *et al.*, (2015). Krueger, *et al.*, (2014), y otros autores.

En la última fase correspondiente al control, se debe mencionar que en cuanto al personal operativo, se estableció una estrategia de capacitación, basada en entrenamiento para los nuevos operadores bajo la supervisión de un operador con experiencia, en cuanto los métodos de trabajo, se estableció el seguimiento a los estándares establecidos para la sujeción de las plantillas y con la verificación de las mismas, para la colocación de la herramienta semi automatizada, apoyándose en un procedimiento de la utilización correcta.

En lo referente a la maquinaria y equipo, se llevó a cabo un plan de mantenimiento preventivo, atendiendo al cambio de las refacciones desgastadas por unas nuevas y con el mantenimiento autónomo realizado por los operadores para la verificación de la herramienta semi automatizada.

Conclusiones y recomendaciones

La mejora del proyecto fue lo que se esperaba, se redujo a 22% del levantamiento de productos no conformes, por condiciones de marcas en los avellanados en la estación AGX880 del proceso de barrenado de la piel del estabilizador vertical. Aunado a esto se vio mejorado el rendimiento del proceso al pasar de un nivel Six Sigma de 4.6 a un nivel de 5, de este modo se notó el mejoramiento del rendimiento del proceso haciéndolo más confiable al cliente interno además de que se disminuyó el retrabajo que se realizaba manualmente permitiendo lograr con la meta de producción en cuanto a planeación.

Hoy en día sigue sin levantarse otros productos reporte de productos “no conformes” por condiciones de marcas en los avellanados y se ha mejorado la utilización de la correcta de la herramienta semi automatizada.

Se considera significativo comentar que la metodología DMAIC estuvo de acuerdo con la problemática planteada de la calidad en la empresa, se implementó de forma completa reduciendo costos derivados a la falta de calidad que generaban retrabajos y horas tarde en producción, ayudando a mejorar la productividad del proceso y por ende de la empresa.

De igual forma es importante comentar permitió representar el problema como la interacción de variables, además de orientar esfuerzos y recursos para disminuir los defectos. La utilización de los términos teóricos favoreció a la disciplina de calidad y productividad que se encontraban por debajo de los estándares establecidos en la empresa, además de proporcionar un mayor conocimiento para los involucrados aprendiendo a aplicar herramientas teóricas y prácticas para implementar un modelo de calidad empleando la metodología Six Sigma a una empresa de nivel mundial. El éxito de la implementación del proyecto de un la “Empresa A” del giro aeroespacial fue un conjunto de elementos de los que se destacan los siguiente:

Esta empresa siempre tiene estrategias de excelencia para la mejora de los procesos, es por ello que la utilización de esta herramienta fue muy fácil de utilizar porque todos los empleados pueden reconocer que siempre hay oportunidades de mejora.

La necesidad del departamento de mejorar el proceso de barrenado para aumentar la productividad.

Los asesores de este proyecto estuvieron de acuerdo en la realización y siempre permanecieron al pendiente y dieron seguimiento.

Se logró un liderazgo por parte del autor de este proyecto debido a todas las actividades que se realizaron y estuvieron a su cargo dándole una gran presentación a sus directivos ayudando a quedarse dentro de la empresa.

La comunicación entre los departamentos mejoro, semanalmente se tiene juntas de 10 minutos solo para mantener al tanto del seguimiento que se tiene por el departamento de producción, de calidad y de métodos.

Es importe también mencionar, que existe literatura de Six sigma en la cual exponen casos como la implementación de la pequeña y mediana empresa Timans, *et al*, (2016); Lande, *et al*, (2016); de procesos de alimentos como en el estudio de Dora, *et al*, (2015), de molinos de laminación de Zhang, *et al*, (2015), entre otros estudios, sin embargo, aunque mencionan que se han implementado en diversos procesos y empresas no se tiene referencia de aplicarlo en empresas de la industria aeroespacial, o estaciones de trabajo de componentes o partes de un avión, por ello este trabajo contribuye y toma relevancia en ese aspecto.

Como recomendaciones se tiene una en particular, cuando la herramienta haya tendido 6 meses de uso y aun si presentar algún problema se debe de llevar al taller para que se cambien los componentes que estén desgastados, debido a recomendaciones de proveedor. Y así poder prevenir que la herramienta semi automatizada falle en uso.

Se puede recibir que este proyecto mostro las herramientas utilizadas para que otros departamentos puedan implementar Six Sigma debido a que esta metodología mejora los procesos y se centra en la reducción de la variabilidad del mismo logrando disminuir los defectos o retrabajos para aumentar la productividad de la empresa.

Anexo 1

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF) PARA EL REDISEÑO DE UN PROCESO* DE RIESGO

ACTIVIDAD	MODO DE FALLO	EFEECTO DEL FALLO	SEVERIDAD (S)	CAUSA DEL FALLO	OCCURENCIA (O)	CONTROL	DETECTABILIDAD (D)	NUMERO DE FALLOS (N)
1. Alinea el filo de trabajo	1.1 No poder entrar al sistema	No conectar los datos en tiempo o forma	2	1.1.1 No hay internet	1	Telnet	1	2
2. Realiza verificación en el JIG	2.1 No tener las piezas correctas	Abasco en línea	4	2.1.1 Falta de abastecimiento	1	Requiset	1	4
3. Realiza la post en el JIG	3.1 Sin actualizaciones	Abasco en línea	4	3.1.1 Falta de abastecimiento	1	Requiset	2	8
4. Realiza la post en la estructura	4.1 Mal sujeción al JIG	Chirreos de tornillos en la post	5	4.1.1 No sujar al estabilizar	1	Plumbas en el ensamblaje	1	5
5. Colocación de las piezas	5.1 No esta bien sujeto a la post	Barrones fuera de especificación	5.1.1	5.1.1.1 Desajuste de la sujeción	2	Requiset	5	10
			5.1.2	5.1.2.1 No sujar al estabilizar de manera correcta la sujeción	2	Plumbas	4	40
			5.1.3	5.1.3.1 No se hizo procedimiento de mantenimiento	4	ISO	2	60
			5.1.4	5.1.4.1 Falta de mantenimiento de la herramienta	5	ISO	2	50
6. Barrido con la herramienta semi automatizada	6.1 Que se trabo la herramienta	Barrones fuera de especificación	6.1.1	6.1.1.1 No se hizo lubricación	1	ISO	1	5
			6.1.2	6.1.2.1 No se hizo procedimiento de mantenimiento	4	ISO	1	20
			6.1.3	6.1.3.1 Barrido deficiente de la herramienta	4	ISO	1	20
6.2 Que se rompa la broca	Barrones fuera de especificación	6.2.1	6.2.1.1 Broca dañada	4	Ninguno	3	60	
		6.2.2	6.2.2.1 Mal procedimiento de mantenimiento	2	Plumbas	5	30	
7. Instalación de tornillos	7.1 Sin actualizaciones	Marcas en la post	2	7.1.1 Falta de abastecimiento	1		1	2

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.

Dora, M., & Gellynck, X. (2015). Lean Six Sigma implementation in a food processing SME: a case study. *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1151-1159.

El Economist (2013). Discrepancia estadística. El Economist. Recuperado de: <https://www.economist.com/2013/01/discrepancia-estadistica.html>

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.

Fernández, D. (2019). Centro Nacional de Tecnologías Aeronáuticas, CENTA. Recuperado de: <https://www.mexicoaerospace.com.mx/centro-nacional-de-tecnologias-aeronauticas-centa/>

Flores M. (2016) ¿Para qué sirven los estabilizadores? Recuperado de: <https://porquevuelanlosaviones.wordpress.com/2016/04/17/para-que-sirven-los-estabilizadores/>

García, A. (2016). Cultura de servicio en la optimización del servicio al cliente. *Telos*, 18(3), 381-398.

ITEMSA, (2014). La importancia de la productividad empresarial. Recuperado de: <https://www.grupoitemsa.com/la-importancia-de-la-productividad-empresarial/>

- Krueger, D. C., Mellat Parast, M., & Adams, S. (2014). Six Sigma implementation: a qualitative case study using grounded theory. *Production Planning & Control*, 25(10), 873-889.
- Lande, M., Shrivastava, R. L., & Seth, D. (2016). Critical success factors for Lean Six Sigma in SMEs (small and medium enterprises). *The TQM Journal*.
- Muturi, D., Ho, S., Douglas, A., Douglas, J., & Ochieng, J. (2015). Lean Six Sigma implementation in East Africa: findings from a pilot study. *The TQM Journal*.
- Narro, A., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3c Empresa: investigación y pensamiento crítico*, (1), 73-80.
- Pineda, M. (2019). Industria aeroespacial en 2019: la cadena de valor es clave Recuperado de: <https://www.mms-mexico.com/art%c3%adculos/industria-aeroespacial-en-2019-la-cadena-de-valor-es-clave>
- Ramos, J. (2019) Sector aeroespacial necesita especialistas: Aeroclúster de Querétaro. Recuperado de: <https://www.elsoldemexico.com.mx/finanzas/sector-aeroespacial-necesita-especialistas-aerocluster-de-queretaro-3438293.html>
- Redacción A21 (2019) En 5 años, México entra al top de la industria aeroespacial. Recuperado de: <https://a21.com.mx/aeronautica/2019/08/14/en-5-anos-mexico-entra-al-top-de-la-industria-aeroespacial>
- Reyes P. (2002). Manufactura delgada (lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y administración*. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/rca/205/RCA20505.pdf>
- 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.
- SAE (2004). Sistema de Gestión de La Calidad-Aeroespacial-Requisitos. Última Revisión 2004-01 Recuperado de: <http://integra.cimav.edu.mx/intranet/data/files/calidad/documentos/SAE%20AS%209100%20B.pdf>
- Secretaría de economía. (2017) Pro-Aéreo 2.0 Programa Estratégico de la Industria Aeroespacial. Secretaría de economía Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314141/ProA_reo2.0_publicar_050418.pdf
- Timans, W., Ahaus, K., van Solingen, R., Kumar, M., & Antony, J. (2016). Implementation of continuous improvement based on Lean Six Sigma in small-and medium-sized enterprises. *Total Quality Management & Business Excellence*, 27(3-4), 309-324.
- Tolamatl, J., Gallardo, D., Varela., J. A., Flores, E. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una Microempresa del Ramo Automotriz. *Conciencia Tecnológica*, pág. 12
- Urdhwareshe, H. (2011). Six sigma for business excellence: approach, tools and applications. Pearson Education India.
- Zhang, M., Wang, W., Goh, T. N., & He, Z. (2015). Aplicación completa de Six Sigma: un caso de estudio. *Planificación y Control de Producción*, 26(3), 219-234.

Manufactura artesanal de papel

Artesanal paper manufacturing

RAMÍREZ-ROMÁN, Adolfo†*, SUÁREZ-ÁLVAREZ, Ángel, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Luis Alberto y CHABAT-URANGA, Jacqueline

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, México.

ID 1^{er} Autor: *Adolfo, Ramírez-Román* / **ORC ID:** 0000-0002-3820-8582, **Researcher ID Thomson:** S-5868-2018, **arXiv Author ID:** adolramirez, **CVU CONACYT ID:** 244749

ID 1^{er} Coautor: *Ángel, Suárez-Álvarez* / **ORC ID:** 0000-0002-0726-9630, **CVU CONACYT ID:** 946964

ID 2^{do} Coautor: *Luis Alberto, Rodríguez-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-6118-040X, **Researcher ID Thomson:** W-9316-2019, **CVU CONACYT ID:** 1011993

ID 3^{er} Coautor: *Jacqueline, Chabat-Uranga* / **ORC ID:** 0000-0003-2202-1032, **CVU CONACYT ID:** 464993

DOI: 10.35429/JIE.2020.12.4.13.29

Recibido Abril 15, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

El trabajo aborda en la factibilidad de un taller de manufactura recicladora de papel artesanal en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz; creando papel artesanal con residuos de hojas que ya fueron utilizadas en trámites administrativos y académicos, creando un impacto sostenible en sus tres dimensiones (social, económico y ambiental) en sus actividades operativas. Se realizó investigación cualitativa revisando proyectos desarrollados en otras instituciones, observando el entorno para conocer las necesidades y dificultades de operación, que involucra elementos técnicos y de costos. El análisis financiero concluye que la implementación de este proyecto requiere de una inversión inicial que involucra equipo y utensilios impactando en actividades de vinculación, de servicio social y para el programa institucional de formación Dual. La manufactura de una recicladora de papel artesanal es factible con beneficios académicos y de impacto social a corto plazo, con base en los indicadores del proyecto e investigaciones en prácticas académicas en temas de distribución de planta, ergonomía, control calidad, investigación de operaciones, seguridad, de administración y comercialización.

Reciclado, Manufactura, Papel

Abstract

The work addresses the feasibility of a proposal to recycle handmade paper at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Sciences of the University of Veracruz, Region Veracruz; creating handmade paper with leaf residues that were already used in administrative and academic procedures, creating a sustainable impact in its three dimensions (social, economic and environmental) in its operational activities. Qualitative research was carried out reviewing projects developed in other institutions, observing the environment to know the needs and difficulties of operation, which involves the plan and proposal of technical and financial analysis. The financial analysis concludes that the implementation of this project requires an initial investment that involves equipment and tools impacting on linking activities, social service and the Dual Institutional Training Program. The manufacture of a handmade paper recycler is feasible with short-term academic and social impact benefits, based on project indicators and research on academic practices in plant distribution, ergonomics, quality control, operations research, safety, administration and marketing.

Recycle, Manufacture, Paper

Citación: RAMÍREZ-ROMÁN, Adolfo, SUÁREZ-ÁLVAREZ, Ángel, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Luis Alberto y CHABAT-URANGA, Jacqueline. Manufactura artesanal de papel. Revista de Ingeniería Industrial. 2020. 4-12:13-29.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: adolramirez@uv.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad el ser humano está inmerso en un ambiente con diversas problemáticas con relación al medio ambiente con impacto a enfermedades respiratorias y de visibilidad, involucrando acciones negativas a la flora y fauna, los ecosistemas. Actualmente, se han creado campañas que apoyan la preservación del medio ambiente y con ello estrategias para crear procesos ecológicos que no afecten al ecosistema o ser autosuficiente creando actividades que generen recursos para las actividades internas de la institución.

El nivel de desechos que producimos a nivel mundial se ha acelerado en las últimas décadas, pero no estamos dando una respuesta adecuada a ese problema. (Organización Británica Verisk Maplecroft).

El reciclaje de papel es un tema pertinente para la conservación y protección del medio ambiente, con proyectos de reciclaje influyendo en restaurar la contaminación del medio ambiente y crear conciencia en acciones sensibles en la preservación de la vida y ahorro de recursos.

El grupo especializado en análisis de riesgo reveló que a nivel mundial se producen más de 2.100 millones de toneladas de desechos cada año, lo que podría llenar más de 800.000 piscinas olímpicas. Tan solo un 16% (323 millones de toneladas) de esa basura es reciclada. Estados Unidos es el país que produce más desechos por persona del mundo: tres veces más que la media global. Además, es una de las naciones desarrolladas con la menor capacidad de reciclaje. Alemania, por otro lado, se presenta como el país más eficiente. Aparte de EE. UU., Países Bajos y Canadá son algunos de los países con una mayor producción de basura del mundo (BBC News Mundo, 2019).

Los resultados del estudio británico muestran que Estados Unidos produce un 12% de los desechos mundiales o cerca de 239 millones de toneladas, aunque el país tiene solo un 4% de la población global. En comparación, China o India, que juntos constituyen alrededor de un tercio de la población mundial, generan 27% de los residuos globales.

Estas cifras revelan que los estadounidenses producen en promedio tres veces más desechos que una persona que vive en China y siete veces más que un residente en Etiopía.

Otros países como Indonesia y Brasil, que representan una proporción similar a la de Estados Unidos en la población global, producen cerca de un 10% menos basura que la primera potencia mundial (BBC News Mundo, 2019).

La industria papelera busca alternativas con métodos de reciclaje que se adapten a los requerimientos actuales en los ámbitos productivo y ambiental, asegurando buenas prácticas de establecer niveles óptimos de producción con impacto sostenible en la región, principalmente los problemas que implique la deforestación.

El reciclaje es un método para recuperar parte de lo consumido de modo de poder transformarlo hasta que vuelva a ser de utilidad. En este sentido, el reciclaje de papel es una de las formas más comunes y divulgadas de reutilización de un material que no es infinito.

Cuando hablamos de reciclar el papel hacemos referencia al importante proceso mediante el cual una persona puede transformar el papel ya utilizado, en material que puede volver a servir originalmente y con más usos. El papel es un producto que toma como principal materia la celulosa obtenida de los árboles de variado tipo.

En 2015, la ONU autorizó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades inicien un nuevo camino con el que renovar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta la lucha al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la protección del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades (Naciones Unidas, 2019). Por lo tanto, en el objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.

El 30.7% de la superficie terrestre está cubierta por bosques y estos, además de proporcionar seguridad alimentaria y refugio, son fundamentales para combatir el cambio climático, pues protegen la diversidad biológica y las viviendas de la población indígena. Al proteger los bosques, también podremos fortalecer la gestión de los recursos naturales y aumentar la productividad de la tierra.

Actualmente, 13 millones de hectáreas de bosque desaparecen cada año y la degradación persistente de las zonas áridas está provocando además la desertificación de 3600 millones de hectáreas. Aunque un 15% de la tierra se encuentra actualmente bajo protección, la biodiversidad aún está en riesgo. La deforestación y la desertificación, provocadas por las actividades humanas y el cambio climático, suponen grandes retos para el desarrollo sostenible y han afectado la vida y los medios de vida de millones de personas en la lucha contra la pobreza (Naciones Unidas, 2019).

El trabajo ha de contribuir al cuidado del medio ambiente, mencionando los problemas actuales y explicando temas fundamentales del proceso de manufactura de reciclaje artesanal.



Figura 1 Edificio K Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales (Universidad Veracruzana – Región Veracruz)

Fuente: *Elaboración propia*

Se describe trabajo de una recicladora de papel artesanal en el edificio K de la Facultad, considerando costos para la inversión y su factibilidad, las cotizaciones de maquinaria y gastos en general. Creando valor en la actividad de disposición final de un residuo doméstico – académico con utilidad económica, aprendizaje y concientización social – ambiental.

Recurrir al reciclaje de papel es una actividad importante ya que permite reutilizar una gran parte de material que de otro modo se desearía sin tanto problema y sin conciencia de los daños que día a día se generan.

Por lo tanto, realizar un estudio de factibilidad para transformar el papel de desecho en papel artesanal mediante operaciones y técnicas tradicionales para contribuir a la preservación del medio ambiente de la región, el cual, se desarrollará en el presente artículo los siguientes elementos:

Entorno y desarrollo industrial donde se indica breve historia del papel artesanal, la fabricación del papel en la actualidad, su problemática, y el proceso de reciclaje artesanal.

Tipos de equipo para el reciclado de papel.

Método de reciclaje de papel a través de las técnicas artesanales y otros usos a los desechos de papel.

Ubicación adecuada en base a factores de localización.

Cotizaciones de los equipos que se utilizaran para el proceso de reciclado.

Una recicladora de papel artesanal a través de transformar desechos de papel proveniente de casas, empresas, escuelas, etc., para que las personas puedan contribuir al cuidado del medio ambiente.

Entorno y desarrollo industrial

El papel ha existido desde tiempos remotos en todas partes del mundo no importando condición social o religión, ya que el hombre busca plasmar sus ideas y sentimientos gráficamente, siendo un material esencial en la vida cotidiana del ser humano.

Joseph (2004), comenta que en la época de los hombres primitivos se plasmaban ideas de lo que deseaban decir en las paredes de las cavernas, más tarde en placas de mármol o bronce, después en tablillas de arcilla, caparazón de tortuga, huesos, madera o cera; pero según fue pasando el tiempo se hizo necesario tener otro tipo de material que fuera más fácil de manejar, por ejemplo: en el Mediterráneo el papiro, en América el papel precolombino y en el Extremo Oriente el papel como se conoce en la actualidad.

El papiro (ver Figura 2) fue usado por la cultura egipcia 3,200 años antes de Cristo, es una planta que crece en las orillas de algunos ríos africanos y su nombre científico es *Cyperus papyrus*, las propiedades de esta planta permiten trabajar sus hojas de modo que pueden formar superficies continuas muy estables y amplias, con características muy parecidas del papel tradicional.



Figura 2 El papiro

Fuente: <https://redhistoria.com>

El papel pergamino se desarrolló en América mucho antes que llegaran los conquistadores españoles. Se cree que los Incas de las cordilleras sudamericanas, probablemente, utilizaron fibras vegetales autóctonas para fabricar un papel semejante al papiro.

Antes de la invención del papel, según una leyenda, un poderoso general chino llamado Moun-Tian conoció el papiro egipcio y pidió a sus artesanos que buscaran entre las plantas de su país una especie similar, pero no se obtuvieron los resultados esperados. Tres siglos después, de los ensayos encargados por Moun-Tian, el primer papel de la historia lo logró crear Tsin-Lun a partir de fibras vegetales extraídas de trapos, redes de pescar, corteza de morera, ramio, cáñamo o bambú en el año 105 d.C.

Para el año 751 en Turquestán, el mismo autor reporta que los árabes apresan a unos chinos fabricantes de papel y consiguen arrancarles su secreto, es así como se empezó a expandir a través de Asia hasta alcanzar Occidente (ver Figura 3), después de Samarcanda la expansión llega hasta Europa gracias a la cultura del islam. Desde Europa se exportó a América. En el siglo XVII el papel ya se conocía en todo el mundo.



Figura 3 Expansión del papel en el mundo

Fuente: Martínez Barbosa, G. L., (2008)

Escoto (2006), menciona que el principio técnico de la formación del papel consistía primero en la obtención de la pulpa, posteriormente se continuaba con el batido y preparación de la pulpa, una vez hecho lo anterior, se procedía a la formación de la hoja en un marco de bambú recubierto con cedazos, el cual se sumergía en la suspensión fibrosa, se drenaba por gravedad a través de los orificios del cedazo, permitiendo que las fibras formaran un tramado o colchón fibroso sobre la superficie del cedazo o malla; de esta manera quedaba consolidada una hoja húmeda (ver Figura 4); y finalmente el secado de la hoja de papel se hacía mediante eliminación del agua por exprimido o prensado y luego mediante fijación de la hoja en una superficie lisa exponiéndola al medio ambiente.



Figura 4 Formación de la hoja de papel

Fuente: Cátedra de Historia Naval / Universidad de Murcia

Sanjuán (1997), comenta que la primera fábrica de papel de la historia fue instalada por Tsai-Lun en la provincia de Honan en el año 105 d.C., en China. Hasta finales del siglo XVII, la fabricación de papel no pasó de ser una labor artesanal, siguiendo la técnica de los chinos de formar hojas en bastidores. Por lo que para el año 1799 el Francés Nicolás Louis Robert inventó una máquina continua para hacer papel (ver Figura 5), para el año de 1803 los hermanos Fourdrinier, ingleses, adquirieron la patente de Louis Robert y perfeccionaron la máquina.

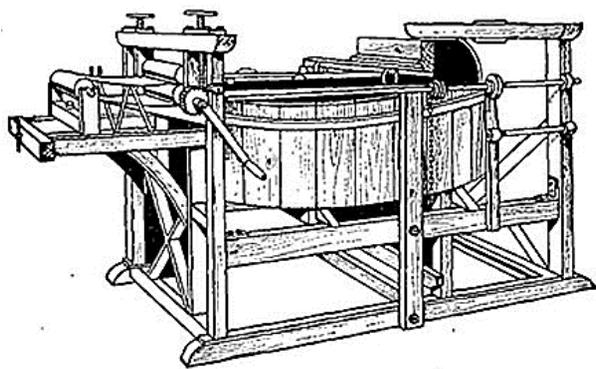


Figura 5 Máquina de papel de Louis Robert
Fuente: <http://venezia.od.ua/>

La significación que el papel tuvo entre las civilizaciones antiguas de México, son muy carentes los datos que los primeros cronistas transmitieron acerca de los procedimientos para fabricarlo. Hernández (1943), comenta que se fabricaba papel de maguey (metl), de algodón (ixcotl), de la planta llamada izote (izotl), del amaquahuitl (árbol de papel), del Amate (amatl) y de algunos otros de la corteza de algunos árboles o de su raíz, pero se puede deducir que los principales elementos para fabricar papel se tomaban del maguey y del amatl, pudiéndose utilizar otras fibras según su presencia y abundancia.

Así mismo, este autor describe que para la fabricación del papel sólo se cortaban las ramas gruesas de algunos árboles (amate), dejando los renuevos; se ablandaban en agua y se dejaban remojar durante una noche en los arroyos o corrientes de agua, al día siguiente se les arrancaba la corteza, y después de limpiarla de la cutícula superior, se extendía a golpes con una piedra plana pero surcada de estrías, de esta manera el material se volvía flexible; se cortaban en pequeños trozos que, golpeados de nuevo por diferentes lados con otra piedra más plana, se unían fácilmente entre sí, por último se alisaban y se formaban en hojas de papel de 44.36 cm de largas y 33.27cm aproximadamente de ancho.

Landa citado por Hernández (1943) hace mención en su obra, que los mayas tenían libros de corteza de 10 a 12 varas (8.38 a 10.05 m) de largo, doblados en piezas de 0.21 m cada doblez. Por otro lado, también menciona que los mexicas hacían papel amatl o papiro de maguey, macerando por algún tiempo en agua las pencas y machacándolas después, para separar las fibras; éstas se extendían por capas, se les agregaba un tipo de goma y se le sujetaba a presión para que quedaran bien unidas.

Lenz (2001), indica que para finales del siglo XVI y principios del XVII, las reglas y limitadas disposiciones que tenía la Corona Española para la elaboración y comercio del papel prohibían cualquier tipo de taller o establecimiento que se dedicara a este tipo de actividad, por lo que esta actividad quedó estancada.

Transcurridos los siglos, al término de la lucha por la independencia, para el año de 1825 se instaló la primera máquina de papel en México y para el año de 1830 se logró promover la edificación de fábricas textiles de algodón y de papel. Más tarde, en el año de 1831 al no tenerse conocimiento de cómo operar las industrias papeleras, la maquinaria permanece almacenada durante varios años convirtiéndose en maquinaria obsoleta y de baja capacidad de producción. En 1890 se iniciaba la era de la madera como materia prima celulósica, de este tiempo para adelante las personas han constituido un gran número de sociedades dedicadas a la fabricación de cartón y papel.

El mismo Lenz (2001) agrega que al finalizar el siglo XIX, México contaba con seis pequeñas fábricas de papel y para el año 2004 contaba con las mismas seis plantas de celulosa y papel y 57 plantas de papel, fábricas que proporcionan empleo directo y permanente a las personas. Por otro lado, Sanjuán (1997), menciona que en tiempos prehispánicos el papel era utilizado principalmente como objeto ritual, ornamental y particularmente era muy valioso. Para esto, los mayas ya fabricaban papel (ver Figura 6) en los años 600 y utilizaban corteza de un árbol llamado huun, al igual que vestían túnicas de papel que fabricaban a partir de cortezas de higuera, atuendo que posteriormente les servía para la confección de libros, y sus códices eran pintados en papel de henequén.

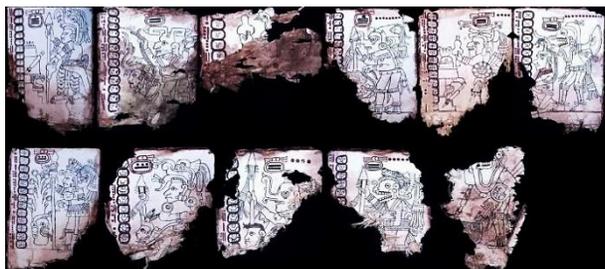


Figura 6 El papel en tiempos prehispánicos

Fuente: <https://www.ancientpages.com/>

Hay fábricas en más de 100 países repartidos por todo el mundo, con más de 3,5 millones de personas empleadas en forma directa.

Los mayores productores de pasta y papel son Estados Unidos, Canadá, Japón, China, Finlandia, Suecia, Alemania, Brasil y Francia. A pesar de las predicciones de disminución del consumo de papel ante el auge de la era electrónica, desde 1980 se observa un crecimiento constante de la tasa anual de producción del 2,5%. Además de sus ventajas económicas, el consumo de papel tiene el valor cultural inherente a la función que desempeña en el registro y difusión de la información. Por esta razón, la tasa de consumo de pasta y papel se ha utilizado como indicador del desarrollo socioeconómico de una nación.

La principal fuente de fibra para la producción de pasta en este siglo ha sido la madera procedente de los bosques de coníferas, aunque en los últimos años ha aumentado la utilización de bosques tropicales y boreales. La presión ejercida por los grupos ecologistas para la conservación de los recursos forestales, manifestada en la defensa del empleo de papel reciclado, de cultivos agrícolas y de bosques de plantación de rápida rotación como fuentes de la materia prima, puede modificar la distribución de las instalaciones de producción de pasta y papel en todo el mundo en las próximas décadas. (academia.edu, 2019).

Sin embargo, los problemas medioambientales asociados a la producción de papel se describen a continuación:

Consumo de madera: Se consumen bosques enteros, los más utilizados son el de pino o eucaliptos, este problema se reduce hoy por la reforestación de las zonas con especies destinadas a este fin.

Liberación de CO₂ (gas con efecto invernadero) por quema de la hojarasca, ramas y otras partes del árbol que no se usan.

Elevado consumo de agua (hasta 60 m³ / tonelada de pasta).

Vertidos. Presentan distintos tipos de contaminación:

- Partículas sedimentables y en suspensión.
- Sustancias que consumen oxígeno modificando DBO y DQO.
- Compuestos órgano clorado.
- Colorantes.
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo) que conducen a la eutrofización de los cursos de agua.
- Sustancias tóxicas.
- Modificación del pH de los cursos de agua.
- Aumento de la temperatura del agua vertida.
- Compuestos de la madera (ácidos de la resina y ácidos grasos insaturados como oleico, linoleico, palmitoleico, etc.).

Emisiones atmosféricas: óxido sulfuroso, SO₂, precursor de lluvia ácida, malos olores por sulfuros, partículas de hollín, monóxido de carbono, CO, compuestos orgánicos volátiles, compuestos clorados, óxidos de nitrógeno, NO_x

Del total de residuos urbanos, el papel y cartón suponen entre el 16% y el 25%, de los cuales se puede lograr recuperar hasta un 70%. En su mayoría provienen de revistas y periódicos, de envases de productos alimenticios, cajas de cartón, papel de alta calidad utilizado en impresión y reproducción, y papel mezclado. (inforeciclaje.com, 2019).

La mayor parte de papel se fabrica a partir de árboles y anteriormente era obtenido de otras plantas, incluyendo el algodón, el cáñamo del que se extrae una celulosa de alta calidad, el helecho, el ajo, la cebolla o la ortiga.

La industria papelera mundial consume alrededor de 4.000 millones de árboles cada año, principalmente pino y eucalipto. Con el reciclaje de papel y cartón se consigue alargar la vida de las fibras de celulosa, un recurso natural que procede de la madera.

El papel de desecho puede ser triturado y reciclado varias veces. Sin embargo, en cada ciclo del 15% al 20% de las fibras se vuelven demasiado pequeñas para ser utilizadas. Además, se calcula que alrededor de un 19% del papel que utilizamos no puede recuperarse para su reciclaje porque lo guardamos, como puede ocurrir con los libros, las fotografías o los documentos, o debido a su uso como sucede con el papel higiénico y sanitario o con el papel de fumar. Por eso es necesario inyectar permanentemente una cierta cantidad de fibra virgen en el proceso. (ecoagricultor.com, 2019).

Por lo anterior, y disminuir el impacto negativo ambiental se tiene generalmente los siguientes pasos de reciclaje de papel:

- Recogida selectiva del papel usado en contenedores especiales.
- Depuración de la pasta de papel usado mediante filtrado y centrifugado, para eliminar las posibles partículas de elementos ajenos a la fibra como arenas, lacas, alambres, cuerdas, etc.
- Separación de la tinta mediante flotación. Para ello la pasta se sumerge en agua jabonosa (surfactantes) en un tanque, denominado también púlper o tina de mezcla, y se inyecta aire para provocar la aparición de burbujas. La tinta forma una suspensión coloidal y se consigue que la espuma flote junto con la tinta permitiendo su separación mecánicamente. Posteriormente la tinta se traslada a vertederos, donde se incinera con el empleo de su propia energía calorífica.
- Secado y prensado. La pasta obtenida, que suele contener un 42% de fibra, sigue el mismo proceso que la celulosa de origen primario para la obtención del papel. Es decir, se seca a 120°C, al mismo tiempo que se prensa y se estira para darle la forma y textura final.

Con referencia al proceso artesanal del papel (Museu Molí Paperer de Capelladas), se describen las siguientes actividades: cuando llegan los bloques de papel se limpian, clasifican, parten en pequeños trozos y se echan en un recipiente llamado pudridero, dónde se mezclan con agua para que se vayan descomponiendo. Para que este proceso se acelere se añade un producto alcalino como ceniza o cal apagada, además de conferir un blanqueamiento extra. Una vez que están los bloques de papel descompuestos (el tiempo depende de la materia del papel, del agua...) se pasan a una tina, de ahí también le viene el nombre a este papel artesanal de “papel de tina”.



Figura 7 Limpieza y aireación de papel
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

En la tina se mezclan con más agua y se bate con unos mazos de madera, llamados batanes, estos se mueven por la acción del agua que mueve la rueda del molino, para desleír y dispersar bien las fibras.



Figura 8 Batanes en funcionamiento
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

Cuando la pulpa adquiere un aspecto lechoso se pasa a la formación de hojas. Dependiendo del grosor de las hojas que se vaya a fabricar se añade más o menos agua a la pulpa.

Para extraer la pulpa se utilizaba un cedazo rectangular o formadora que está compuesta de una rejilla de hilo muy fino de cobre o de latón. Estos hilos se disponen de manera horizontal y vertical (puntizones y corondeles) sobre un marco de madera. Esta trama queda marcada en el papel al depositarse menos pulpa sobre el relieve, se denomina verjura y a este papel se le conoce con el nombre de “papel verjurado”.



Figura 9 Fabricación de hoja
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

En el siglo XIII en Italia aparece la filigrana que es un dibujo que se cose a la formadora con alambre y que identifica el molino papeler en el que se hizo ese papel. Esta marca se ve al trasluz o a simple vista. En España la primera filigrana se cree que procede de Játiva.



Figura 10 Verjura y filigrana, siglo XVI
Fuente: Cristina Romero Manso

La formadora se complementa con un marco o moldura interior de madera que se encaja impidiendo el vertido de la pulpa lateralmente y regulando el grosor.

Ésta se introduce en la pila verticalmente, se coloca horizontalmente y se extrae; una vez extraída se mueve con un suave balanceo, para que la pulpa quede bien distribuida, se escurre, levanta el marco y vuelve sobre un sayal húmedo. A partir de aquí, se van colocando unas encima de otras. Tras conseguir la altura deseada se pasan al prensado dónde se elimina parte del agua.



Figura 11 Hoja formada
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas



Figura 12 Colocando en sayal
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas



Figura 13 Prensado y encolado
Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

Las hojas de papel ya formado se pasan al secado dónde se olean sobre una superficie plana en un primer momento y después de manera vertical en el tendedero para secarse al aire o incluso blanquearlas al sol.



Figura 14 Tendido de Papel

Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

En el caso de papeles muy absorbentes después del secado, finaliza el proceso. Estos papeles son aptos para lápiz, carbón, sanguina, etc., están sin encolar, pero la aplicación de tinta hace que se emborrone. Por eso hay otros papeles aptos para la tinta que necesitan ser encolados para que aumente su resistencia e impermeabilidad. El encolado tradicional era el de cola animal o gelatina aplicada mediante brocha o por baño. Una vez encoladas se vuelven a prensar, más suavemente y se separan para su secado. El encolado sirve para unir las fibras y darle ese sonido característico que posee el papel al agitarlo, llamado “carteo”.



Figura 15 Conjunto de hojas

Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

El proceso final es el de bruñido o satinado, que se realizaba por medio de un hueso o piedra y después se sustituyó por mazos satinadores y cilindros de acero que transmiten más brillo, fuerza y consistencia.

Por último, se corta y desbarba. Finalizado este proceso está listo para embalar y vender. Normalmente en resmas (500 hojas).

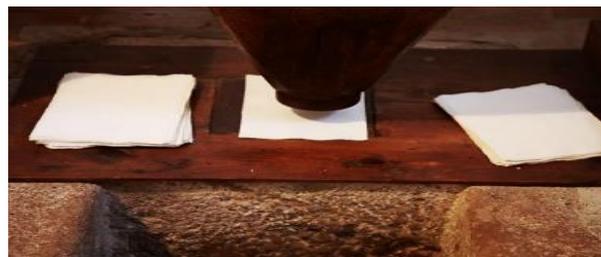


Figura 16 Mazo satinador

Fuente: Museu Molí Paperer de Capelladas

El papel hoy en día se debe considerar como un arte milenario donde el fundamento básico de su elaboración, es drenar una suspensión de fibras a través de una malla; por lo que el papel se hace un instrumento esencial para el desarrollo y la mejor comunicación entre las poblaciones, ya que la técnica se modifica y se adapta a cada lugar, produciéndose una gran diversidad de métodos para la elaboración de papel.

Maquinaria y equipo

Una máquina de reciclaje es un aparato creado por el hombre para automatizar el proceso de reciclaje de diferentes tipos de residuos. Existen máquinas para reciclaje casero, que son las que crean las personas en sus hogares, y también están las usadas por empresas y multinacionales.

En la industria de la ecología existen tipos de maquinaria para reciclaje, se clasifican principalmente en cuatro tipos: compactadoras, retro compactadoras y prensas de reciclaje vertical y horizontal.

Una de las máquinas de reciclaje más usadas en el mundo del reciclaje son las compactadoras. Estas dotan a las empresas de reciclaje de una forma fácil y rápida de reutilizar, compactar/aplastar y dar forma al plástico, cartón y otros materiales en comparación al reciclaje hogareño.

A diferencia de las compactadoras manuales o estáticas, las retro compactadoras de reciclaje son aquellas que automatizan todo el proceso de compactar la basura orgánica e inorgánica.



Figura 17 Primera máquina recicladora de papel
Fuente: <https://informe21.com/>

Las máquinas procesadoras permiten a las empresas de reciclaje procesar de forma automática: Cartón, cajas, plásticos, aluminio, residuos orgánicos.

Otra forma de compactar el material reciclable es utilizando prensas de reciclaje verticales.

Estas prensas de residuos sirven para justamente prensar, es decir, compactar y achicar al máximo el volumen de material que se pretende reutilizar.

Entre sus características encontramos:

- Máxima eficiencia energética pues consume poco y hacen mucho.
- Son pequeñas en tamaño, suelen ubicarse bien en casi cualquier ambiente.
- No emiten prácticamente ruido.
- No son tan caras como las máquinas retro compactadoras.

Existen diferentes tipos de prensas verticales como:

- Prensa de reciclaje hidráulica.
- Prensa multi-cajón.
- Prensa de basura.
- Prensa de botellas y latas.

Las prensas de reciclaje horizontal son otra de las formas de automatizar el reciclaje de productos. En comparación con las verticales, encontramos con que tienen mayor tamaño, y por lógica son más difíciles de distribuir en los espacios.



Figura 18 Prensa de reciclaje horizontal
Fuente: <https://www.ecologiahoy.com>

El reciclaje de cartón y papel es una de las actividades más populares dentro de las empresas de reciclaje.

Para ello se utilizan especializadas en comprimir, compactar y prensar papel y cartón, ideales para la reutilización y alivio del medio ambiente.

A nivel industrial existen otras máquinas para reciclar papel y cartón como:

Molino triturador compacto para papel y documentos: el cual permite lograr cortes, trituración y picado total del papel.

Molino triturador de alto rendimiento: el cual se utiliza para cortar, triturar, destrozar y romper papeles, guías, revistas, libros, etc.

Cortadora trituradora industrial para papel: también sirve para lo mismo, tritura, corta y destroza papel, libros, cartón, folletos, catálogos, guías, tarjetas, etc.

A nivel industrial existen todo tipo de máquinas especializadas en reciclaje que se usan en multinacionales, grandes fabricantes de electrónica, papel y otros materiales las usan, aunque no son las más comunes de ver en las empresas de reciclaje normales que todos conocemos.

Hoy existen máquinas para reciclar materiales textiles y tejidos, reciclar papel, fibra de vidrio, residuos sólidos urbanos, entre otros.

Estos aparatos de reciclaje industrial permiten reciclar, reutilizar y reducir al mismo tiempo. Hoy por hoy juegan un papel fundamental para tratar de remediar el impacto del hombre y toda la basura que genera en su día a día.

Método de reciclado

El papel reciclado de fibras largas de celulosa (tales como papel de oficina) tiene mayor flexibilidad para el reciclado, ya que puede ser utilizado para producir nuevos productos de papel que utilizan cualquiera de las fibras largas o cortas. El papel recuperado con fibras de celulosa cortas (como periódicos) sólo pueden ser reciclados en otros productos que utilizan las fibras cortas de celulosa. Por esta razón, el papel recuperado con fibras largas es generalmente de mayor valor que el papel recubierto con fibra corta.

Por ejemplo, la industria papelera española utiliza como materia prima 1,8 millones de toneladas de fibra virgen y 5,1 millones de toneladas de fibra recuperada. Por cada tonelada de papel que se recicla, 17 árboles se salvan de su destrucción. (Biopappel y Ciceana MX, 2019).

Existe una gran variedad de materias primas para la elaboración de papel artesanal entre las que destacan materiales no leñosos como pajas, bambúes, bagazo, etc. Y residuos vegetales generados de actividades agrícolas e industriales.

Nuestra principal fuente de producción será el papel de desecho que ya ha sido utilizado en oficinas o aula de clases y normalmente se tira a la basura sin darle más uso y generando más contaminación. En general toda materia prima que se presente bajo forma de fibras de dimensión conveniente y que sean susceptibles de formar enlaces químicos entre ellas, es apta para la fabricación del papel.

Para lograr la extracción de la celulosa y obtener una pulpa idónea para la fabricación del papel se cocina la materia prima en una solución alcalina. La temperatura de reacción ha de ser la ebullición de la solución a presión atmosférica.

Es muy importante en esta etapa la cocción uniforme de las fibras, de manera que se suavicen y el papel tenga un acabado consistente. Cuando se haya completado la etapa de disgregación, la pulpa será llevada a la licuadora donde será triturada y mezclada de manera más uniforme para que tenga una consistencia más manejable.

La reacción de ser lavada completamente la pulpa así obtenida se coloca en un recipiente con agua y se agita para asegurar que se encuentra bien disuelta. Para la formación del papel se necesita un bastidor cuya función es la de contener la pulpa al retirarla del agua para darle forma a la hoja de papel. El bastidor está formado por el marco y el contramarco, dos piezas iguales que pueden confeccionarse con madera. Su tamaño dependerá del tamaño del papel que se quiera elaborar. En el marco se debe clavar la malla que servirá para recoger la pulpa; el contramarco no lleva malla.

Para hacer la hoja de papel artesanal se debe introducir el bastidor en el recipiente en forma vertical luego en forma horizontal y esperar a que se forme una lámina de pulpa sobre éste. Una vez el grosor de la película sea el deseado, se debe retirar el bastidor del agua en forma horizontal y mientras se escurre mover el bastidor para fomentar el entrecruzamiento de las fibras. Cuando la hoja ha escurrido suficiente agua, se debe quitar el contramarco y desmoldar el papel artesanal sobre un paño de lienzo o algodón, presionando de los bordes del marco en forma pareja hasta que no expulse más agua.

Las hojas se someten a una prensa hidráulica de acuerdo con el espesor requerido, el cual, se debe cambiar la posición de las hojas en la prensa periódicamente. Al cabo del tiempo previsto se retira el papel todavía húmedo del lienzo y se completa el secado en un espacio con circulación de aire caliente.

Por último, cuando las hojas terminen su proceso de secado, se llevarán al área de almacenado que concluye en un área donde se mantendrán en un buen estado de acuerdo con sus propiedades.

Resultados

Los resultados obtenidos por el desarrollo de la investigación y su respectiva implementación se tienen las siguientes secciones con referencia a diagramas, ubicación, costos y descripción del taller recicladora de papel aplicado.

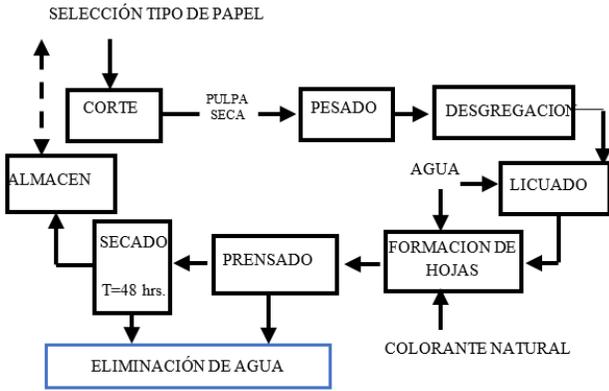


Figura 19 Diagrama de bloque del proceso de reciclado artesanal del papel
 Fuente: Elaboración propia

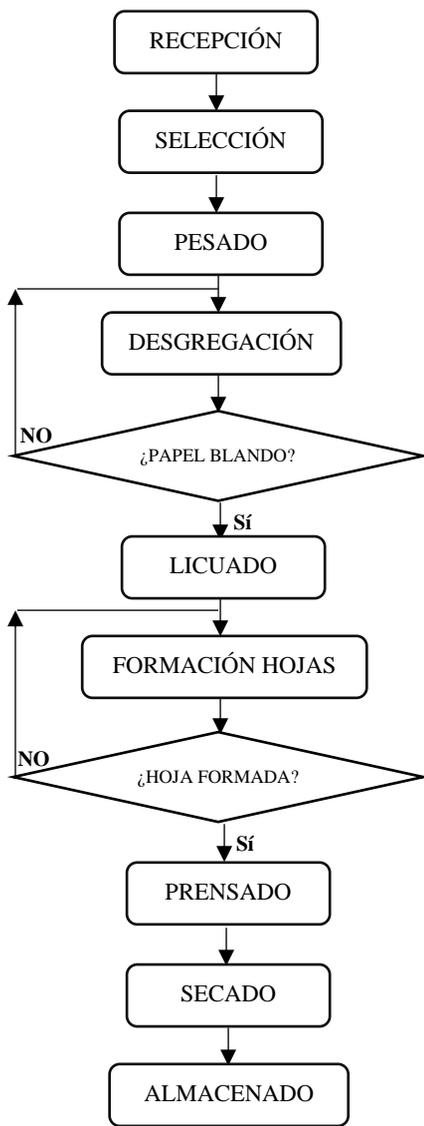


Figura 20 Diagrama de flujo del proceso artesanal
 Fuente: Elaboración propia

Ubicación

La ubicación del taller es un criterio muy importante de tomar en cuenta principalmente por sus implicaciones económicas.

La ubicación de la recicladora de papel artesanal se determinó mediante el análisis de diversos factores como: condiciones ambientales, disponibilidad de materia prima, servicios básicos y vías de acceso.

Se considera en el Edificio K planta baja de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, en el Taller de Navales, Universidad Veracruzana, Región Veracruz.

Considerando los requerimientos de la recicladora de papel artesanal y que cumple con ellos, se considera un lugar indicado, ocupando un espacio que ha funcionado como almacén de muebles de desechos.

Se consideró los requerimientos de agua y de energía eléctrica.

Para el dimensionamiento de la planta se determinó de acuerdo con el tamaño de los equipos a utilizar en el proceso productivo propuesto. Posteriormente se diseñó el esquema más eficiente para aprovechar al máximo el espacio, sin dejar de lado la funcionalidad del diseño.

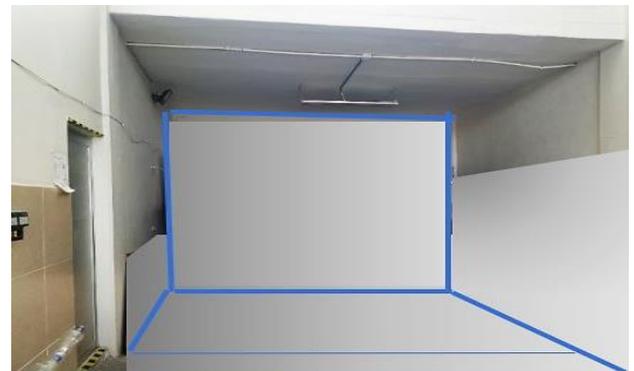


Figura 21 Interior del edificio K, Taller de Navales
 Fuente: elaboración propia

El espacio contempla una superficie de 16 metros cuadrados distribuida en las diferentes áreas manteniendo áreas “limpias” y sucias separadas. La zona “sucia” consta de las áreas de recepción y limpieza, licuado y secado de la materia prima; mientras que en la zona limpia se encuentra el área de humectación, prensado, secado y almacenado del producto terminado.

Las dimensiones de cada una de las áreas fueron calculadas para facilitar el movimiento a los estudiantes / operadores y garantizar los aspectos ergonómicos.

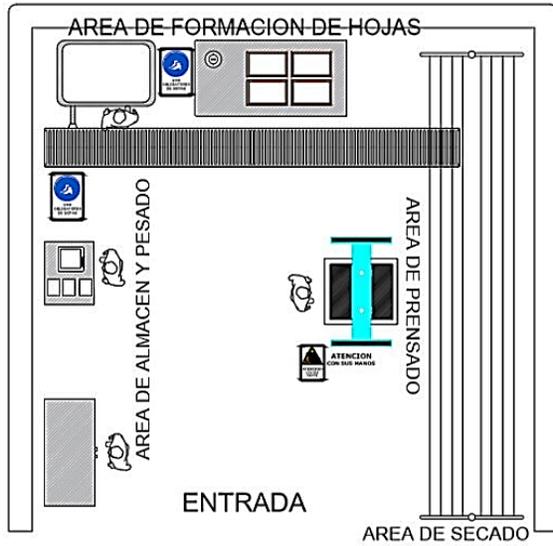


Figura 22 Lay out de la distribución del taller
Fuente: Elaboración propia

Costo de maquinaria y equipo

En la tabla 1 se tienen los costos de maquinaria y equipo, considerando precios muy accesibles, equipos de muy buena calidad y eficientes.

Denominación	Costo en pesos (\$)
Balanza 40 kg. capacidad	600.00
Tanque para moldeado 102 L.	350.00
Licuada industrial 10 L.	7,000.00
Prensa hidráulica manual 10 T.	4,500.00
Marcos y mallas	250.00
Láminas de aluminio (20)	100.00
Tela de lienzo (3 m.)	50.00
Casillero	4,000.00
Utensilios en general	3,000.00
TOTAL	19,850.00

Tabla 1 Costos de principales equipos / utensilios
Fuente: Elaboración propia

En la tabla podemos observar los precios de los equipos y utensilios para la recicladora, todos ellos ya tienen incluido el IVA. Se cotizaron en diferentes tiendas donde se consideró mejores precios y calidad de cada uno de ellos, empresas ubicadas en México y en su mayoría ya incluyen el costo de envío.

Taller reciclador de papel

El papel artesanal es el fabricado “hoja a hoja” por el artesano, a diferencia de la formación en continuo típica de la industria. Se puede fabricar con celulosa virgen o reciclando otros papeles y agregándoles fibras naturales. Entre sus características principales se puede citar la ausencia de un sentido o dirección de fibra predominante y la presencia de formaciones irregulares en sus bordes, lo que le añade una rusticidad muy apreciada en el mercado. El papel hecho a mano suma a su utilidad, la belleza de una pieza única.

En la actualidad el papel artesanal posee aplicaciones especiales en las que no compite con el industrial. Su forma de elaboración posibilita el agregado de pétalos, hierbas y un sinnúmero de elementos decorativos y puede ser aplicado en lámparas, mamparas, sobres, estuches, agendas, tarjetas, cuaderno, folder y álbumes o como soporte del dibujo y la pintura.

Es un proceso artesanal combinado con la parte industrial, teniendo como prioridad fomentar la sustentabilidad y así cuidamos al medio ambiente, siendo nosotros mismos (académicos y estudiantes) partidarios en este trabajo para disminuir la contaminación.

Considerando cada detalle y con respecto a los costos se consideraron más factibles los siguientes equipos y sus respectivas características de cada uno de ellos.

Metodología

La metodología es de carácter descriptiva – propositiva, toda vez que se conozcan las causas de la problemática y se dé una solución, las preguntas planteadas y los objetivos, direccionarán las etapas del trabajo. Se analizarán y se describirán datos, sobre el tema de investigación.

De tipo proyecto - documental porque, para su fundamentación se obtendrá la información de diversas fuentes escritas (textos, revistas, periódicos, monografías y tesis que tengan relación con el tema o motivo de investigación).

Tiene un enfoque cuantitativo porque procura conocer y valorar los resultados para diagnosticar adecuadamente el problema y encontrar soluciones a través de la técnica descrita incursionando su importancia, beneficios y herramientas o equipos involucradas en el proceso de manufactura artesanal.

Anexos

Las figuras del 23 al 33, permiten considerar los elementos básicos para el inicio de un proyecto académico con impacto a capacitar a pequeños productores o habitantes de colonias marginadas para su autosuficiencia económica.



Figura 23 Caja multiusos 102 de 78 x 52 x 36. cm con capacidad de 102 litros (27 galones)

Fuente: <https://gavetasdeplastico.com.mx/>



Figura 24 Licuadora industrial PDH, 10 litros

Fuente: Turmix



Figura 25 Prensa hidráulica manual Modelo 70/80, con bases de 700 mm x 800 mm, espesor de 3/8", plancha de 700 mm x 800 mm. Placa de 1/2" con gato hidráulico de 10 ton presión

Fuente: <https://www.aceroarte.com>



Figura 26 Báscula digital comercial de mesas, de 40 kg de capacidad, recargable doble pantalla

Fuente: Aratsa Pop



Figura 27 Gabinete metálico alacena

Fuente: <https://www.officemuebles.com.mx/>



Figura 28 Mesa de acero inoxidable BLAZER MAI 24 x 48 pulgadas

Fuente: (INMEZA)



Figura 29 Bastidor / marco para reciclaje de papel

Fuente: <https://www.bioguia.com/>



Figura 30 Rollo de tela tipo pellón

Fuente: <https://montblan.mx/>



Figura 31 Gancho para ropa básico

Fuente: <https://guateplast.net>



Figura 32 Pieza de madera de 50 x 30 cm x 1" de espesor

Fuente: <http://www.grupomaderero.com/>



Figura 33 Papel desechado y reutilizado

Fuente <https://www.renovablesverdes.com>

Agradecimiento

La gestión del personal directivo y administrativo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, e integrantes del Cuerpo Académico UV-CA-470 Innovación en Sistemas de Gestión y la invaluable gestión académica del Mtro. Jorge Eulogio Rodríguez Rodríguez y de la estudiante tesista Blanca Liz Olguín Muñoz (ZS15021607) por su aportación en el desarrollo del proyecto de implementación.

Conclusiones

Las investigaciones de campo realizadas en el periodo de agosto – diciembre de 2019 para garantizar la factibilidad de recicladora de papel artesanal fueron pertinentes, obteniendo datos técnicos y económicos de cada maquinaria y utensilios para un uso académico y de formación para micro, pequeña y mediana empresas de la región a través del programa institucional de formación dual de la Coordinación de Vinculación de la Facultad. También se tomaron las medidas correspondientes para la localización de dicho taller con 16 metros cuadrados para la implementación con una ubicación adecuada no afectando las áreas operativas del taller de navales y de ingeniería industrial ubicados en el Edificio K, mucho menos al medio ambiente.

La inversión del proceso de manufactura de la recicladora de papel artesanal es de \$19,850.00 con IVA incluido, teniendo en cuenta que se cotizó equipos de calidad y que se les pudiera dar otro uso no solo para la recicladora de papel, siendo así el caso de la prensa hidráulica para actividades académicas en el programa educativo de Ingeniería Mecánica y taller de tornos, pruebas mecánicas y de materiales. Es factible por fomentar cultura del reciclaje y también producción económica en el entorno como un proyecto a corto plazo.

Se ejecutaron investigaciones sobre el uso inadecuado de los diferentes tipos de residuos para visualizar la forma de contribuir al cuidado del medio ambiente, también, la materia prima es un residuo con mucho consumo no solo en el país, sino en todo el mundo, por ello, se enfoca fomentando las actividades manuales para desarrollar la psicomotricidad en estudiantes, académicos y asistentes.

A través del trabajo se tendrá un espacio para la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos en clases y complementario con laboratorios y taller de los programas educativos de ingeniería industrial e ingeniería mecánica eléctrica.

Referencias

- Agua de la Roza, J. (2020). Manufacturas, caridad y salario en la red asistencial madrileña del setecientos. *Mediterranea - ricerche storiche*, (48).
- Agricultura ecológica. Naturvegan Ecologico S.L. <https://www.ecoagricultor.com/> (Consultado el 20 de septiembre de 2019)
- Barbé Arrillaga, Juan (2017) *Las Plantas y su papel. 102 recetas papeleras. 978-84-16209-84-2*. HiFer Editor.
- BBC News Mundo. (8 de Julio de 2019). Crisis mundial de la basura": 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos. (C. ©. BBC, Ed.) BBC News Mundo, 2. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734>
- Berger Grigoletto, I. C. (2012). Reaproveitar E Reciclar O Papel: Proposta De Conscientização Da Preservação Ambiental. *Revista Monografias Ambientais*, 6(6), 1414–1422. <https://doi.org/10.5902/223613084616>
- Cámara Nacional de las Industrias de la Celulosa y del Papel (<http://www.camaradelpapel.mx>).
- De Castro Faria, Á. B., Camargo Angelo, A., & Garcia Auer, C. (2015). Disponibilidad de macronutrientes de eucalyptus saligna cultivado con lodo de papel reciclado. *Floresta*, 45(2), 261–271. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i2.26506>
- El Museu Molí Paperer de Capellades. Fundado 1958. <http://www.mmp-capellades.net/spa/informacion.html> (página electrónica consultado el 16 de octubre de 2019)
- Flores - Montes, J. (2020). Mercancías únicas. La fantasía ideológica de la producción de textiles artesanales. *Liminar*, 18(1).
- García Velásquez, L. Y. (2020). Diseño del Sistema Documental para la Implementación de las Buenas Prácticas de Manufactura en la Empresa Crikiconos SAS Zomac, Ubicada en Tauramena-Casanare
- Guarin, A. S., Molina, J. S., & Mendoza, J. A. G. (2020). Retos y tendencias del sector cerámico artesanal de Cúcuta y su área metropolitana. *Respuestas*, 25(1), 67-79.
- H., L. (2001). *Historia del papel en México y cosas relacionadas: 1521-1950*. México, D.F.: Porrúa.
- Infante-Alcalde, J., & Valderrama-Ulloa, C. (2019). Análisis Técnico, Económico y Medioambiental de la Fabricación de Bloques de Hormigón con Polietileno Tereftalato Reciclado (PET). *Información Tecnológica*, 30(5), 25–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500025>
- Inforeciclaje. (s.f.). www.inforeciclaje.com. Obtenido de <http://www.inforeciclaje.com/reciclaje-papel.php>
- Joseph. (2004). *El papel. Técnicas y métodos tradicionales de elaboración*. Barcelona: Parragón Edicione.
- Lavinia, A. (2017). Creadora de zapatos de papel reciclado. *Entrepreneur Mexico*, 25(12), 120.
- M., Á. R. (2001). *Productos forestales no madereros en América Latina*. Santiago de Chile. Obtenido de <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/pfmm/Pfmm.pdf>
- Mexicana, N. (2010). www.camaradelpapel.mx. Obtenido de <http://camaradelpapel.mx/pdf/Normas/NMX-N-107-SCFI-2010ACT.pdf>
- Norma Mexicana NMX-N-107-SCFI-2010. Industrias de celulosa y papel – contenido mínimo de fibra reciclada de papel para la fabricación de papel periódico, papel para bolsas y envolturas, papel para sacos, cartoncillo, cajas corrugadas y cajas de fibra sólida – especificaciones, evaluación de la conformidad y eco-etiquetado. Secretaria de Economía.

- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (2019). www.un.org. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Paperlan, empresa particular (2000) Fabricación y venta de Papel a Mano. <http://paperlan.com/> (consultada 4 febrero 2020)
- Restrepo Castro, A. C. (2020). Manual Práctico de Manufacturación Artesanal de Dietas Acuícolas Alternativas para Cachama Blanca *Piactus brachypomus*, Cuvier 1818, Dirigido a Acuicultores de Recursos Limitados de los Municipios de Lejanía y el Dorado, Meta.
- Rodríguez-Bruceta, P. A., Pérez-Rodríguez, Á. T., & Velázquez-Infante, J. C. (2015). Propuesta de un procedimiento para el reciclado del polietileno de alta densidad. *Revista Cubana de Química*, 27(1), 32–54.
- Salinas López, G. A., Victoria Moreno, A., & Osorio Gómez, J. C. (2013). Impacto Del Material Reciclado en Los Inventarios De Materias Primas De Una Empresa Manufacturera. *Revista EIA*, 19, 91–101.
- Saucedo, J. T., Poblet, M. P., Suárez, E. G., Saucedo, A. R., & Ramos, S. P. (2001). Obtención de papel para corrugar a partir de diferentes mezclas de fibras alternativas. *Centro Azúcar*, 28(2), 85–92.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT, S. d. (2006). Estadísticas Nacionales. Anexo del Sexto Informe de Gobierno 2006. Primer informe de gobierno.
- S., M. M. (2004). Papel de madera. Una reflexión sobre la productividad y uso del papel en México. *Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal*.
- T., E. G. (2006). Manual de Fabricación papel hecho a mano, amate y papiro. (Método TeoCart). Zapopan, Jalisco, México: DMCyP-UdG.
- Tappi (2007) Official Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry
- Teschke, K. (2001). Industria del papel y de la pasta de papel: Importancia económica. (Vol. 3). *Enciclopedia de Salud y seguridad en el trabajo*.
- Tlaquepaque, t. y. (s.f.). Obtenido de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=2&sid=da116016-2444-49b6-b60d-577ec7c8c287%40sessionmgr4006&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVybCxlYWQsY29va2lJmxhbm9ZXMmc210ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=28601299>
- Turrado, J., Saucedo, A. R., Ramos, J., & Reynoso, M. L. (2008). Comportamiento de la Fibra de Celulosa Reciclada en el Proceso de Hidratación. *Información Tecnológica*, 19(5), 129–136. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3955it.07>

El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel

The ANDON system, as a fundamental tool to decrease the response time and eliminate defects in the panel line

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio Cesar†*, CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, HERNÁNDEZ-LUNA, Aldo y HERNÁNDEZ-HILARIO, Raymundo

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, México.

ID 1^{er} Autor: *Julio Cesar, Martínez-Hernández* / ORC ID: 0000-0001-9528-156X, Researcher ID Thomson: I-3507-2018 arXiv Author ID: 0000-0001-9528-156X, CVU CONACYT ID: 904537

ID 1^{er} Coautor: *Edgar Jesús, Cruz-Solís* / ORC ID: 0000-0003-4083-0888, Researcher ID Thomson: I-4334-2018, arXiv Author ID: 0000-0003-4083-0888, CVU CONACYT ID: 904718

ID 2^{do} Coautor: *Aldo, Hernández-Luna* / ORC ID: 0000-0002-7717-5314, Researcher ID Thomson: I-1165-2018, CVU CONACYT ID: 441305

ID 3^{er} Coautor: *Raymundo, Hernández-Hilario* / ORC ID: 0000-0003-2426-2681, CVU CONACYT ID: 1064091

DOI: 10.35429/JIE.2020.12.4.30.41

Recibido Abril 20, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

El tiempo es considerado como un elemento fundamental en cualquier tipo de industria, motivo por el cual es necesario optimizarlo, las empresas que no puedan mejorar sus procesos a través de la reducción de tiempos de espera o tiempos muertos, sufren de graves afectaciones en su operación diaria. La empresa en estudio, presenta graves problemas en la línea de panel, por ejemplo, hojas de laminadas, mal corte, derrame de recubrimiento, rompimiento de papel, para la operación de esta línea se cuenta con un tiempo disponible de 48 horas, es importante señalar que solo el 71% del tiempo es productivo. El objetivo de este estudio es implementar un sistema ANDON, a través de la identificación de problemas que afectan la producción, con el propósito de reducir los tiempos de respuesta en la Línea de Panel. ANDON es un sistema de comunicación visual y auditivo utilizado en la industria que permite a los trabajadores interactuar de manera simple para la solución de problemas que se presenten durante la jornada laboral en el momento en que ocurren (Vera, 2018). Este proyecto contribuye a la mejora continua de la línea de panel, así como un cambio en la filosofía de trabajo de los operadores.

Tiempo, Sistema, Producción

Abstract

Time is considered a fundamental element in any type of industry, which is why it is necessary to improve it, companies that cannot improve their processes through the reduction of waiting times or downtime, problems of serious damage to their operation daily. The company under study presents serious problems in the panel line, for example, laminated sheets, poor cutting, spillage of coating, paper tear, for the operation of this line there is an available time of 48 hours, it is important note that only 71% of the time is productive. The objective of this study is to implement an ANDON system, through the identification of problems that affect production, in order to reduce response times on the Panel Line. ANDON is a visual and auditory communication system used in the industry that allows workers to interact in a simple way to solve problems that arise during the workday when they occur (Vera, 2018). This project contributes to the continuous improvement of the panel line, as well as a change in the work philosophy of the operators.

Time, System, Production

Citación: MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio Cesar, CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, HERNÁNDEZ-LUNA, Aldo y HERNÁNDEZ-HILARIO, Raymundo. El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel. Revista de Ingeniería Industrial. 2020. 4-12:30-41-.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: enriquecontreras@utez.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente todas las empresas buscan conservar la calidad del producto final de una manera más segura y económica (Avila, 2015). La empresa en estudio es una de las muchas compañías en México que se encargan en producir embalaje secundario, este depende de un proceso sistemático mediante el cual los productos elaborados son protegidos para su traslado del sitio de producción al sitio de consumo (Velázquez, 2012).

El éxito de diversas empresas no se basa solo en las ventas u ofreciendo precios bajos, sino que depende demasiado de la satisfacción de sus clientes, con respecto a calidad, entrega, flexibilidad y confiabilidad con base en la familia de productos que se les ofrece (Wilches, 2013).

Por otra parte, la empresa debe tener una constante actualización dentro de la familia de productos, esto la mantendrá a la vanguardia dentro del mercado, los japoneses Eiji Toyoda y Taiichi Ohno implementaron las herramientas Lean Manufacturing para optimizar y maximizar las oportunidades de mejora presentadas dentro de los procesos (Socconini, 2008).

La empresa en estudio está orientada a la manufactura de empaques de tipo Honeycomb, que es un material hecho de celdas hexagonales recubierto de papel kraft virgen, utilizado por distintas industrias como son: electrodomésticos, alimenticias, automotriz etc., así mismo, cuenta con cinco líneas (Chs, Panel, Conversion, Mabe'S, Cornerboard y Corner Board), el desarrollo del proyecto se enfocó en la línea de panel por su elevada frecuencia de problemas en los procesos que la integran, cabe mencionar que de esta línea depende que el siguiente proceso sea factible.

Para que los empaques tipo Honeycomb cumplan con los estándares de calidad que se manejan en la línea, las máquinas que lo conforman deben de tener un buen desempeño, de tal manera que se cumplan las especificaciones (largo, ancho, grosor, peso, secado y resistencia), sin salir del rango de aceptación.

De acuerdo con los problemas mencionados anteriormente, se realizaron distintos análisis en diferentes subprocesos que integran la línea con la finalidad de conocer las áreas críticas, esta información permite plantear y llevar a cabo medidas correctivas.

De acuerdo con conocimiento específico del proceso productivo en el área de panel. Como alternativa de solución, se propuso la implementación de un sistema ANDON, mismo que, establece una comunicación sencilla, de tal manera que los operadores conozcan que actividades deben realizar durante un problema presentado en la línea, de una manera eficiente, esto ayudara a incrementar los niveles de calidad y productividad con el mínimo costo posible, también evitar que los defectos pasen a la siguiente línea de producción.

ANDON era conocido en la antigüedad por los japoneses como "lámpara", la cual estaba hecha de segmentos de papel colocados alrededor de una base con una vela en su interior y la tapa descubierta, funcionaba como una señal visual que a la distancia daba un mensaje para comunicar algo (Socconini, 2008). Esta herramienta es un elemento del principio Jidoka que, mediante ingeniosos mecanismos, detecta cuando ocurre una falla y entonces, con una señal, avisa al operador que se ha generado un problema.

Con la implementación del presente proyecto de investigación se pretende cumplir las siguientes metas: mejorar la calidad, mejorar el tiempo de respuesta, aumentar la seguridad y mejorar la comunicación. Así mismo, se pretende optimizar el proceso productivo, disminuyendo desperdicios y reprocesos, generando experiencia del trabajo realizado por los operadores, cuando hay alguna falla de las máquinas o en el material.

La implementación del sistema ANDON no es compleja, pero es importante llevarla a cabo para la mejora en la línea, conocidos como señales visuales y auditivas que son colocados estratégicamente en esta misma. Los seres humanos captamos información por medio de nuestros sentidos, el sentido de la vista con el que más captamos, con un 80%, seguido del oído con un 10%, el olfato con 5%, el gusto con 3% el tacto con 1% (Socconini, 2008).

Dentro de las actividades a realizar, se pretende instalar indicaciones visuales y de audio que se identifican y entienden con facilidad, estas señales son eficientes, autorreguladas y las manejan los operadores. Esta información se puede utilizar para identificar, instruir o indicar que existe una condición normal o anormal y que acción realizar para corregirla.

Metodología

De acuerdo con Hernández (2010), las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia. También está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

Con base en la investigación documental realizada, la metodología propuesta se muestra en la figura 1, en ella se describen las etapas desarrolladas para lograr el objetivo del proyecto priorizando las necesidades y problemáticas presentadas en este caso de estudio.



Figura 1 Metodología propuesta
Fuente: Elaboración propia

Situación actual

La línea de panel está integrada por un total de trece máquinas como se muestra en la tabla 1, es importante que cada máquina trabaje de manera adecuada, ya que de esta depende que el producto final cumpla con los estándares de calidad que maneja la empresa. Así mismo en la figura 2 se muestra el layout del área en estudio.

Estaciones de trabajo	
1. Porta rollos	8. Compresión Deck
2. Michelman	9. Trim Slitter
3. Core Cart	10. Trituradoras
4. Rodillo jalador	11. Slitter sierra
5. Mesa de expansión	12. Stacker
6. Glue Coater	13. Emplayadora
7. Placas de calentamiento	

Tabla 1 Procesos que integran la línea de panel
Fuente: Elaboración propia

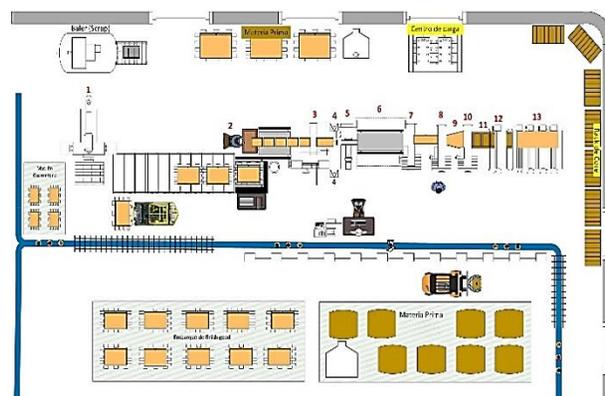


Figura 2 Layout Panel Line
Fuente: elaboración propia

Actualmente se cuenta con turnos laborales de 12 horas, en cada turno se encuentran al redor de 25 trabajadores la mayor parte en el área de producción que se dividen en las diferentes áreas, para preparar y ajustar las máquinas se dispone de 20 minutos en promedio, una vez arrancada la línea se presentan diferentes fallas durante el día, por cada problema presente en el día se estima que hay un desperdicio de 15 a 20 piezas como mínimo. La figura 3 muestra la estación de trabajo de Core Cart.



Figura 3 Estación Core Cart

Fuente: Empresa (caso de estudio)

A continuación, se describen algunos de los problemas críticos en las estaciones de trabajo que integran la línea de panel como se muestra en la tabla 2:

Estación	Problema crítico
Stacker	El error que se presenta cuando en la línea el material (core o papel) se descalibra, en este tipo de casos el operador no puede solucionar el problema sin embargo el indicado es el líder de la línea, sin embargo, solo se entera del problema hasta que el operador se lo indica.
Glue Coater	El problema que presenta se le conoce como delaminación del material porque cuando no se suministra suficiente material (pegamento) este no aplica lo necesario y el producto que sale no obtiene la suficiente rigidez.
Triturado	la falla que se destacó es originada cuando la maquina se llega a trabar y si no es solucionado de manera inmediata este error ocasiona que salga material defectuoso, esto afecta de manera directa el siguiente proceso (Slitter sierra).

Tabla 2 Matriz de problemáticas de las estaciones

Fuente: Elaboración propia

En esta fase se observó el comportamiento de la línea de panel en diferentes tiempos y con los diferentes productos (producto en proceso y producto terminado) esta información se presenta la tabla 3.

Cliente	Código
Allen puebla	J8t131a
Cajas mil usos	H1325585
Clorox	J8t177b
Crown industrias montacargas	J8y509
Diper	H132606
Jhon (epura)	J8s053a
Embba	J8y524
Esther ivonne	H1429656a
Ethan allen	H1430140-psa
Fortipack	J8y109
Guardian	H0903546-gf
Inomodul (diana)	J8x020a

Tabla 3 Producto en proceso

Fuente: Elaboración propia

Antes de la implementación del sistema se deben tener algunos puntos en consideración: a) Contar con lugares visibles para operadores, b) Brindar suficiente información al personal sobre esta herramienta, de tal manera que estén pendientes sobre el proceso y c) Contar con trabajadores que tengan autonomía y criterio para activar las alarmas. El Sistema ANDON es una herramienta fácil para ejecutarse en cada una de las estaciones de trabajo que integran la línea de panel, sin embargo, solo se llevara a cabo en los puntos que sean considerados como críticos.

Durante las primeras semanas de observación se detectaron distintos problemas mencionados en la tabla 4.

Código	Defectos en línea de panel	Descripción
302	Hojas Delaminadas	Pegamento insuficiente
303	Mal corte	Falta afilar cuchillas
305	Daños por montacargas	Mal uso de montacargas
306	Falla en la máquina	Falta de mantenimiento
307	Rompimientos de core	CHS no cumple con calidad
308	Rompimiento de papel	Demasiada tensión
316	Velocidad	Retrasos
317	Problemas con Michelman	Falta o derrame de pintura
318	Piezas defectuosas (Stacker)	Falta de comunicación

Tabla 4 Tipo de defecto

Fuente: Elaboración propia

Análisis e identificación de problemas

Durante esta fase de análisis se puede mostrar que hay fallas repetitivas ocasionando desperdicios debido al tiempo que transcurre para la reparación de la misma. En la tabla 5 se presenta un resumen cuantitativo de las fallas presentadas para hacer notar las posibles áreas de oportunidad.

Código	Defectos	Total
302	Hojas Delaminadas	212
303	Mal Corte	200
305	Daños Por Montacargas	88
306	Problemas De La Máquina	88
307	Rompimientos De Core	184
308	Rompimiento De Papel	192
316	Tarimas Por Hora - Velocidad	174
317	Problemas Con Michelman	194
318	Piezas Defectuosas (Stacker)	216
Defectos totales		1548

Tabla 5 Resumen de defectos en línea de panel

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se clarifica la información referida en la tabla 3, a través de un Diagrama de Pareto, herramienta de calidad para identificar los defectos más frecuentes, las causas más comunes de los defectos o las causas más frecuentes de quejas de los clientes, este diagrama puede ayudar a concentrar los esfuerzos de mejoramiento en aquellas áreas en las que se puedan obtener las mayores ganancias.

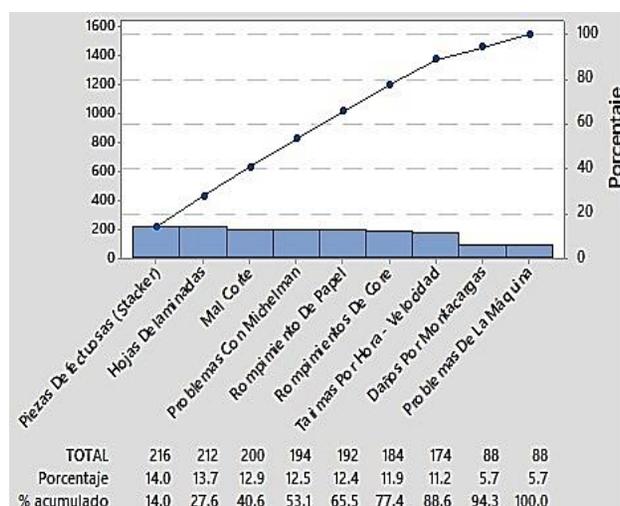


Gráfico 1 Resumen de defectos en línea de panel

Fuente: Elaboración propia

El objetivo de este diagrama es ayudar a priorizar y a señalar la importancia de cada una de las áreas de oportunidad. De esta manera atacar los problemas con mayor impacto en la línea.

A través del diagrama de Pareto, se puede concluir que el 20% de los defectos, generan el 80% de las problemáticas, a través de este análisis se destacan 6 de 9 defectos críticos: Piezas defectuosas (Stacker), Hojas Delaminadas (Glue Coater), Mal corte (Trituradoras), Problemas con Michelman, Rompimiento de papel (Porta rollos) y Rompimiento de core (Mesa de expansión).

Cada uno de los paros que se presentan por estos defectos genera un consumo de todo tipo de insumos, ocasionando costos innecesarios los cuales elevan y encarecen el producto final. Como parte de este análisis se obtuvo el tiempo promedio que tarda el personal en atender los diferentes defectos y determinar el tiempo muerto total como se muestra en la tabla 6.

Código	302	303	307	308	317	318
Tiempo promedio en minutos	5	5.2	6.7	10.2	11.9	3.1
Tiempo muerto (minutos)	1060	1040	1232.8	1958.4	2308.6	669.6
Tiempo total en minutos	8269.40					
Tiempo en Horas	137.82					

Tabla 6 Total de tiempo muerto por cada tipo de defecto

Fuente: elaboración propia

Se obtuvo un tiempo total de paro de 8269.4 minutos, es decir 137.82 horas. Con un promedio mensual de 4134.7 minutos, el tiempo obtenido es bastante elevado, considerando los gastos económicos relacionados con este tiempo por ejemplo los gastos por servicios de agua, energía eléctrica, combustibles, esta información se presenta en la tabla 7.

Costo Promedio mensual por consumo de energía (USD)	
Agua	3780.00
Energía Eléctrica	29498.00
Gas	7140.00
Total	40418
Costo diario	2020.9
Costo / Hora	168.40

Tabla 7 Costo de insumos y servicios

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se puede observar el costo mensual de energía consumido durante un periodo de tres meses, para obtener un porcentaje aproximado de tiempo muerto sin tomar en cuenta la mano de obra se utilizarán los datos de producción plasmados en la tabla 7, estos datos nos proporcionarán el porcentaje de tiempo muerto durante los tres meses.

Tiempo disponible = 3 meses * 20 días * 12 horas * 60 minutos = 28800 minutos.

% de tiempo de paros = (8269.4 minutos / 28800 minutos) * 100 = 28.71%.



Gráfico 2 Porcentaje tiempo disponible en línea de panel
Fuente: elaboración propia

En el gráfico 2, se muestra el porcentaje real de tiempo productivo en la línea de panel, con este importante hallazgo resalta la necesidad de la implementación del sistema ANDON como una herramienta que revolucione y optimice la línea de panel a través de su correcta aplicación.

Implementación del Sistema ANDON

Para esta fase se describirá como fue atendido el problema de acuerdo con el sistema ANDON y que elementos fueron implementados para la reducción o eliminación del error.

En el área de Stacker la falla que se generaba con más frecuencia es el código 318 (Piezas defectuosas) este proceso se ubica al final de la línea, en donde el operador se encarga de estibar las placas de cartón en tarimas, siendo esta sub-área la que presenta el error con mayor puntuación.

En la estación de trabajo fue instalado un dispositivo para el control visual (interruptor de botón momentáneo) figura 4, esta proporciona una señal de aviso en situaciones urgente y puede utilizarse con diferentes sonidos según sea su aplicación, se basa principalmente en la implementación de un botón pulsador en conjunto de una ayuda auditiva.

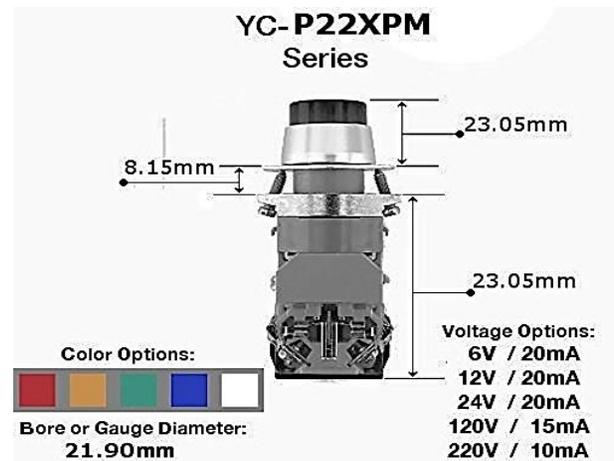


Figura 4 Interruptor de botón momentáneo
Fuente: Recuperado de <https://www.google.com/search?>

Al implementar este dispositivo se obtendrán beneficios como la disminución de tiempo muerto, disminución de scrap y un cuantioso ahorro económico. Esta alarma tendrá como principal función dar aviso al líder de la línea para la corrección inmediata del problema, en la figura 5 se muestra la instalación del dispositivo.



Figura 5 Instalación de Interruptor de botón momentáneo
Fuente: Empresa (caso de estudio)

En la estación de trabajo Glue Coater el código 302 (hojas delaminadas) se presenta como un problema crítico, se procede a instalar un sensor y una electro válvula, la principal función es indicar los niveles de pegamento así como el encender una alerta cuando está al 15% de su capacidad, esta implementación tuvo un desempeño favorable al aumentar la disponibilidad de este proceso manteniendo un flujo de trabajo constante y aumentando su productividad, en la figura 6 se muestran los componentes del interruptor de flotador en acero inoxidable con sensor de nivel e imágenes de su instalación en la estación de trabajo mencionada.



Figura 6 Instalación de Interruptor de botón momentáneo
Fuente: Empresa (caso de estudio)

El proceso de triturado tiene como objetivo eliminar la rebaba de papel que se obtiene al sacar los diferentes productos en esta estación, la falla detectada es la 303 (problemas en el corte), se implementó un sensor interruptor de límite con la capacidad de detectar rebaba sobrante, evitando que pase al siguiente proceso y alertando con ayuda auditiva al operador para su inmediata solución, en la figura 7 se muestra la instalación del sensor en la estación de trabajo.



Figura 7 Instalación de sensor Interruptor de límite
Fuente: Empresa (caso de estudio)

El siguiente código atendido, es el 317 (falta o derrame de recubrimiento) este se origina en el área de Michelman, esta área se encarga de aplicar un recubrimiento de color rojo solo para material que va destinada a un cliente en específico, anteriormente se tenía que vigilar de manera manual el depósito donde se coloca el recubrimiento, de no hacerlo así, la pintura se derrama y como consecuencia contrae pérdida económica, tiempo muerto para llevar a cabo la limpieza y retraso en el pedido del cliente.

Por otra parte, el material que sale sin el recubrimiento se tira, puesto que no es aceptado por el cliente, también si el operador demora en rellenar el depósito el papel se pega en los tubos, ocasionando el rompimiento de este teniendo como consecuencia mayor cantidad de scrap, y un paro total de la línea.

Para la solución de este código se contempló la instalación de una alarma, un sensor de proximidad y un electroválvula, como se muestra en la figura 8, con el propósito de alertar cuando esté a punto de ser llenado el recipiente y este cierre de manera autónoma, así como el poder visualizar los niveles del depósito y controlar el suministro del recubrimiento de manera automática sin causar ninguna afectación al proceso y al producto.



Figura 8 Instalación de sensor interruptor flotador de acero inoxidable y sensor de nivel de líquido
Fuente: Empresa (caso de estudio)

Algunos de los beneficios con este dispositivo ANDON, es la reducción en el gasto innecesario del recubrimiento, no habrá tiempo perdido limpiando el área porque no se volverá a tirar la pintura, la cantidad de scrap disminuirá considerablemente, el tiempo de arranque será más rápido.

En la tabla 8 se muestra un formato realizado e implementado en la línea de panel, con la finalidad de obtener información en tiempo real para la mejora constante del proceso y poder continuar detectando áreas de oportunidad.

Código	Descripción	Tiempo muerto	
		Duración	
		Inicio	Termino

Tabla 8 Check List (registro de fallas en línea de panel)
Fuente: elaboración propia

En el área de Stacker se implementó una tabla como ayuda visual con el objetivo de mostrar al operador como debe realizar una inspección del material, para identificar si el material cumple con las especificaciones solicitadas, esta información se muestra en la figura 9 está integrada por imágenes y texto concreto.

Inspección:	Fecha:	Revisión:	Página	No. de Control
Inspección del adhesivo	18/12/2018	1	1	
Material:	Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	
Panel cutter del material				

Paso 1

- Separar una placa de cartón como muestra.
- La muestra debes estar dentro del rango de aceptación en cuestión a medida, que es de 12" a 48"



Paso 2

- Identificar el sentido de flujo del panel TOP, bottom lado drive y lado operador.
- Hacer cortes en el centro de la muestra en forma de cruz.



Paso 3

Tomar el forro del facing de las orillas de cada esquina, en los cortes jalarlo. Deberá presentar resistencia y dejar restos de fibra de papel sobre el core.



Paso 4

Sin embargo si el papel que sale es muy liviano y el kraft se desprende demasiado rápido esta no sirve.



Figura 9 Ayuda visual (área de Stacker)
Fuente: Empresa (caso de estudio)

A continuación, se muestran en la tabla 9, los costos por concepto de implementación del sistema ANDON de acuerdo con todos los dispositivos instalados en las distintas áreas que integran la línea de panel.

Costo por implementación del sistema ANDON	
Concepto	Costo en USD
Stacker	\$808.00
Glue Coater	\$205.00
Trituradoras	\$245.00
Michelman	\$230.00
Porta rollos	\$1049.4
Mesa de expansión	\$305.00
Mano de obra	\$255.00
Servicios	\$4644.47
Horas extras	\$2482.2
Total	\$10,224.07

Tabla 9 Inversión por implementación del sistema ANDON en línea de Panel
Fuente: elaboración propia

Resultados

En este apartado se describen los hallazgos obtenidos a través de la implementación del sistema ANDON, en el gráfico 3 se muestra un comparativo relacionado con la producción de tarimas en la línea de panel (producto terminado), así mismo se obtuvo una reducción del 58.82% en tarimas rechazadas incrementando la estabilidad del proceso, por otra parte, la producción se incrementó en 1581 tarimas, generando mayores ganancias para la empresa.



Gráfico 3 Porcentaje tiempo disponible en línea de panel
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4 se muestra una comparación de acuerdo con el tipo de falla presentada antes y después de implementación del sistema ANDO, los hallazgos son favorables, puesto que se presentó una reducción sistemática en las fallas, esto beneficia el flujo operativo de las estaciones que integran la línea de panel.

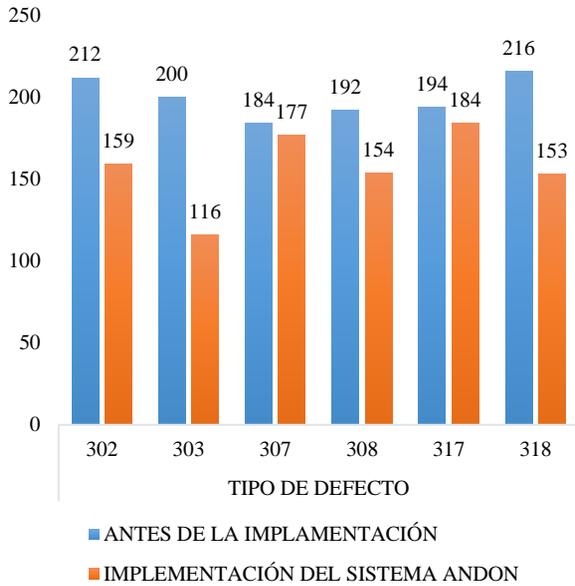


Gráfico 4 Comparativa tipo de defecto
Fuente: Elaboración propia

Antes de la implementación del sistema ANDON se tenía un promedio de 199 defectos como se muestra en el gráfico 5, el intervalo de confianza del 95% para la media es de 184 a 216 defectos.

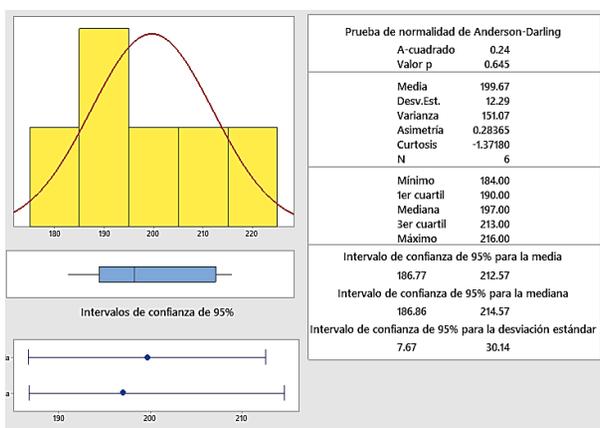


Gráfico 5 Resumen gráfico de los diferentes defectos antes de la implementación
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 6 se muestra la media de defectos después de la implementación, teniendo una reducción en la media de defectos con un valor de 157, el intervalo de confianza del 95% para la media es de 132 a 182 defectos, con esta herramienta estadística se comprueba nuevamente la efectividad del sistema implementado en la línea de panel.

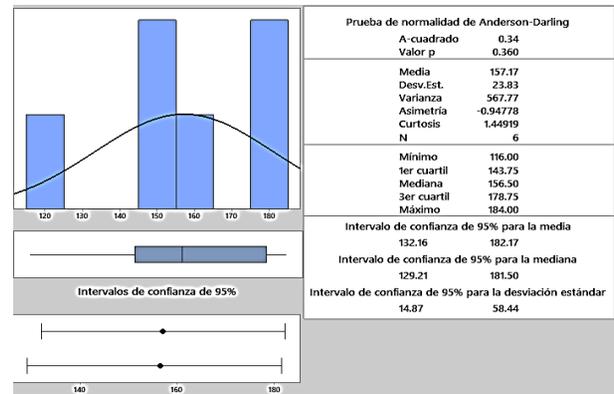


Gráfico 6 Resumen gráfico de los diferentes defectos posterior a la implementación
Fuente: Elaboración propia

El gráfico 7 presenta los tiempos de respuesta en minutos por cada tipo de defecto antes y posterior a la implementación del sistema ANDON, cabe señalar que este es uno de los objetivos principales y que fue logrado de acuerdo con la evidencia presentada.

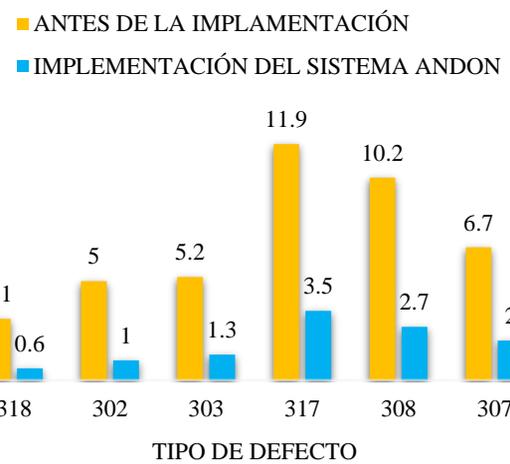


Gráfico 7 Comparativo del tiempo de respuesta (minutos)
Fuente: Elaboración propia

Después de la implementación del sistema ANDON se determinó el tiempo muerto total como se muestra en la tabla 10, se eliminó un total de 110.24 horas que no agregan valor al proceso, por el contrario, fue convertido en actividades productivas e impactando de manera favorable en la línea de panel.

Código	302	303	307	308	317	318
Tiempo promedio en minutos	1	1.3	2	2.7	3.5	0.6
Tiempo muerto (minutos)	159	150.8	294	415.8	549.5	85.8
Tiempo total en minutos	1654.9					
Tiempo en Horas	27.58					

Tabla 10 Total de tiempo muerto con la implementación del sistema ANDON
Fuente: Elaboración propia

Al hablar de productividad nos referimos a la mejora continua del proceso, ya que no solo se busca una producción rápida, también buscamos producir mejor.

De acuerdo con los valores obtenidos se entiende que el aumento de la productividad en la empresa antes y después de la implementación del sistema ANDON, en relación con la producción hubo un aumento del 32.12 % (1581 tarimas), considerando que el costo promedio por tarima es de \$28.03 dólares se obtuvo una ganancia de \$44,315.43 dólares.

Con la implementación de este proyecto se generó un ahorro por concepto de servicios (agua, energía eléctrica, combustibles), tal y como se muestra en el gráfico 8, cabe señalar que con la implementación del sistema se evitó un gasto de \$18,564.41 dólares mensuales para la empresa.



Gráfico 8 Comparativo del gasto en servicios antes y después de la implementación
Fuente: Elaboración propia

Otro beneficio fue la reducción de horas extraordinarias, anteriormente esta era una práctica recurrente para poder cumplir con las metas de producción diarias, en el gráfico 9 se muestra el comparativo en términos económicos antes y después de la implementación.



Gráfico 9 Comparativo horas extra antes y después de la implementación
Fuente: elaboración propia

Agradecimiento

A la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Huachinango por el apoyo y las facilidades en el desarrollo de este proyecto, así mismo, agradezco el trabajo colegiado de los miembros del Cuerpo Académico Tecnología Aplicada con número de registro ITESHUAU-CA-2.

Conclusiones

Actualmente las empresas están obligadas a analizar sus tiempos muertos relacionados con su operación diaria, ocasionan el consumo extraordinario de todo tipo de insumos, también se generan actividades que no agregan valor al proceso y encarecen el costo del producto final.

Generalmente los tiempos muertos o de espera se presentan cuando ocurre una falla en la línea de producción y no es corregida en su momento. La automatización industrial es una disciplina que involucra principalmente a las especialidades de la ingeniería electrónica, industrial, mecánica, mecatrónica y de sistemas computacionales que va desde un sencillo “sistema de control”; hasta la instrumentación industrial, sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de procesos y plantas industriales (Poma, 2011).

En este caso de estudio se actualizó y revolucionó el sistema de producción de la línea de panel con la implementación del sistema ANDON, mismo que contiene diversos dispositivos instalados en las estaciones de trabajo que integran esta línea.

Además, se logró una comunicación más rápida para la solución de contingencias en las estaciones de trabajo, por otra parte, el sistema implementado permite el registro de cada uno de los tipos de defectos, así como el tiempo de paro y la causa de la problemática, la información registrada puede ser examinada por el supervisor de la línea en tiempo real, contribuyendo a la toma de decisiones, mejorando el flujo del proceso.

De acuerdo con la implementación del sistema ANDON se consiguieron los siguientes beneficios:

- Después de las pruebas que se realizaron en la línea de panel y una vez implementada la herramienta, se concluye que se cumplieron los objetivos planteados.
- Se eliminó un total de 110.24 horas que no agregan valor al proceso, también se incrementaron de manera favorable y sistemática los tiempos de respuesta.
- Se mejoró el flujo de comunicación en la línea de panel, generando confianza y trabajo colaborativo entre los operadores y supervisores.
- También se logró una reducción del 58.82% en tarimas rechazadas, dando como resultado un proceso más confiable y de calidad.
- La producción aumentó en 32.12 % (1581 tarimas), es decir, una ganancia de \$44,315.43 dólares.

Se deberá realizar una constante motivación del equipo de trabajo para continuar usando el sistema ANDON, realizando reportes de los nuevos problemas, recalando que el personal de mantenimiento deberá estar al tanto de las señales de este sistema, es parte fundamental para la solución del problema.

Para que esta herramienta funcione correctamente, el operador debe ser responsable y cuidadoso de utilizarlo correctamente, activando las alarmas solo para verdaderas emergencias.

Profundizar el estudio de los nuevos modelos de producción como la manufactura esbelta y su incidencia en los procesos de las industrias, de igual manera conceptos como el mantenimiento productivo total (TPM).

Referencias

Ávila, B. L. (11 de diciembre de 2015). *Emprendices*. recuperado de <https://www.emprendices.com>

Arango, M. J. (2013). *Aplicación de herramientas de manufactura esbelta para el mejoramiento de la cadena de valor de una línea de producción de sillas para oficina*.

Cruz, I. B., & Aguilar, J. A. (2020). *La gestión LEAN del tiempo: Método LTM para ser más ágil y efectivo trabajando menos y mejor*. Editorial UOC.

Gutiérrez Pulido H. (2010). *Calidad total y productividad*, Tercera edición, México, D.F., McGraw-Hill.

Esquivel V. J. (2009). *Metodología para la detección y prevención de Fallas en equipos industriales de producción* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2872/1/esquivelvillar.pdf>

Montalvo, W., Llamuca, E. S., Benalcazar, F. G., Garcia, C. A., & Garcia, M. V. (2020). *Sistemas de automatización de bajo costo para la integración industrial de plantas basadas en AMQP*. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E27), 121-134.

Poma D. J., Tello Y. R., Berrospi Q. E., (2011). *Gestión de base de datos con SCADA para control automatizado de una válvula de control proporcional*. *Sistema e informática*, *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Roqueme Salazar. E., Suarez Ballesteros L. (2015). Implementación de la Metodología Lean para el mejoramiento del proceso comercial de la pyme Tres60 logística, Bogotá DC, Universidad Militar Nueva Granada.

Saá Tapia, F. D., Noboa Castro, A. J. (2018). Implementación del sistema ANDON en el área de aparato central para la gestión automática de imprevistos en un proceso productivo de la empresa plasticacho industrial [Tesis de Licenciatura, Universidad Tecnológica Indoamérica]<http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1059>

Socconini L. (2008). Lean Manufacturing: Paso a paso, México; Editorial Norma Ediciones.

Vera Torres R., Alvarado Santander L. (2018). Industria 4.0, Prendas Inteligentes: Andon como Sistema de Información para la toma de decisiones. Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada, 6(12), 116-121.

Pérez Vergara, I. G., & Rojas López, J. A. (2019). Lean, Seis Sigma y Herramientas Cuantitativas: Una Experiencia Real en el Mejoramiento Productivo de Procesos de la Industria Gráfica en Colombia // Lean, Six Sigma and Quantitative Tools: A Real Experience in the Productive Improvement of Processes of th. Revista De Métodos Cuantitativos Para La Economía Y La Empresa, 27, 259-284. Recuperado a partir de <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/3218>

Wilches Arango M., Cabarcas Reyes, J. (2013). Aplicación de herramientas de manufactura esbelta para el mejoramiento de la cadena de valor de una línea de producción de sillas para oficina. Dimensión empresarial, 11, 126-136.

Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos

Automation and control of a self-sustaining modular prototype for food production

CASTILLO-QUIROZ, Gregorio†*, CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, ROJAS-BALBUENA, Dorian y LIMON-DIAZ, Miguel Ángel

Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, División de Ingeniería Mecatrónica y Maestría en Tecnologías de la Información

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

ID 1^{er} Coautor: *Arnulfo, Cruz-Garrido* / **ORC ID:** 0000-0001-9366-8525, **Researcher ID Thomson:** F-8400-2019, **arXiv Author ID:** 0000-0001-9366-8525, **CVU CONACYT ID:** 320172

ID 2^{do} Coautor: *Dorian, Rojas-Balbuena* / **ORC ID:** 0000-0002-4770-8669, **Researcher ID Thomson:** AAN-1530-2020, **arXiv Author ID:** 0000-0002-4770-8669, **CVU CONACYT ID:** 299726

ID 3^{er} Coautor: *Miguel Angel, Limon-Diaz* / **ORC ID:** 0000-0002-7578-7077, **Researcher ID Thomson:** T-6486-2017, **arXiv Author ID:** 0000-0002-7578-7077, **CVU CONACYT ID:** 349952

DOI: 10.35429/JIE.2020.12.4.42.53

Recibido Abril 20, 2020; Aceptado Junio 30, 2020

Resumen

La automatización de actividades productivas mediante soluciones tecnológicas es una apuesta clara para la disminución en costos de producción y un mayor control en los parámetros de calidad y seguridad. Es por eso que la tecnificación en el área de alimentos para acelerar la producción de alimentos vegetales y animales que reduzcan los costos y contrarresten la escasez. El presente artículo presenta el desarrollo de un prototipo modular vertical autosustentable para la producción de hortalizas y carne (aves de corral y peces) para la región de la Sierra Norte de Puebla, mediante el diseño e integración de un sistema de control automatizado respondiendo a la necesidad de proporcionar una alternativa en la producción de alimentos. El prototipo está compuesto por tres módulos: el primer módulo es para la crianza de peces, el segundo módulo es para la producción de hortalizas, el tercer módulo es para la crianza de aves de corral. De esta manera el proyecto pretende que a partir de la metodología puesta en marcha pueda ser implementada para la producción de alimentos en nuestra región.

Prototipo modular, Autosustentable, Alimentos

Abstract

Since 2009, Mexico faces a crisis due to scarcity and the consequent increase in prices of basic products. This situation is expected to continue, because the area available for cultivation, livestock and fishing is reaching its limit, while the population and its food needs are increasing. Today, strategies must be used to accelerate the production of plant and animal food that reduce costs and counter shortages. This article presents the development of a self-supporting vertical modular prototype for the production of vegetables and meat (poultry and fish) for the Sierra Norte region of Puebla, through the design and integration of an automated control system responding to the need to provide an alternative in food production. The prototype is made up of three modules: the first module is for raising fish, the second module is for vegetable production, the third module is for raising poultry. In this way, the project intends that, based on the methodology put in place, it can be implemented for food production in our region.

Modular prototype, Self-sustaining, Food

Citación: CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, ROJAS-BALBUENA, Dorian y LIMON-DIAZ, Miguel Ángel. Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos. Revista de Ingeniería Industrial. 2020. 4-12:42-53.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gcquiroz1977@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La seguridad alimentaria es un concepto donde convergen aspectos de crecimiento económico, agropecuario y social. A partir de ellos, cada país trabaja para asegurar a sus habitantes el acceso a alimentos seguros, nutritivos y de acuerdo a sus necesidades. Diversos gobiernos y organismos multinacionales han hecho hincapié en la reducción del hambre y la desnutrición, dado que, según declaraciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el problema de la seguridad alimentaria radica en el acceso desigual a los alimentos, cambios climáticos, crisis económicas, conflictos y desplazamientos de población (Genesis, 2018).

Un informe presentado conjuntamente por la Unión Europea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Programa Mundial de Alimentos (PMA), concluye que: en 2018, la cifra de 113 millones de personas que se enfrentan a crisis alimentarias, el número de personas en el mundo que padecen estas crisis alimentarias se ha mantenido por encima de los 100 millones en los últimos tres años, y el número de países afectados ha aumentado.

En este contexto, el Consejo Nacional de la Evaluación Política de Desarrollo Social (Coneval) en 2016 estimó la existencia de 53.4 millones de personas en situación de pobreza en el país, equivalente a 43.6 por ciento de la población total y de estas, 9.4 millones están en pobreza extrema, lo que en términos económicos limita el acceso a los alimentos necesarios para una adecuada alimentación y nutrición. Así también, debido a los constantes cambios climáticos surge la necesidad de cuidar la producción de alimentos desde su cultivo o crianza hasta el consumo con la finalidad de asegurar la producción y salud en nuestra población. Los métodos clásicos de producción de alimentos están cambiando constantemente, sobre todo con la incorporación de la tecnología de vanguardia, como resultado se generen sistemas de producción altamente rentables y eficientes.

Hoy en día los alimentos locales, sin pesticidas y cuya producción no genere emisiones ahora son posibles más allá de pequeños huertos urbanos. Pues como afirma el autor Lidia (2018), la producción a escala industrial responde al nombre de agricultura vertical. Las ventajas de la agricultura vertical son múltiples: reduce el espacio de producción, ahorra agua hasta en un 95%, produce todo el año independientemente del clima; logra una mayor producción en menos tiempo, reduce el gasto en transporte, reduce las emisiones de CO₂ y acerca la agricultura a las ciudades. El país de Holanda fue pionera con la primera granja vertical que operó comercialmente, la compañía Staay Food Group la instaló en Dronten. Pero a nivel mundial uno de los grandes referentes es Aerofarms, la compañía que patentó tecnología LED para que las plantas pudieran hacer la fotosíntesis, con la mayor eficiencia energética posible. Con este sistema, ya no hay límites para la producción alimentaria, ni la escasez de agua ni la climatología ni la falta de espacio. En España también se encuentran proyectos que van encaminados hacia la agricultura vertical. Un ejemplo es la empresa Achipámpanos, reinventa los huertos verticales con la idea de que cada uno en su casa pueda instalar su propio invernadero vertical.

Ahora en el contexto de la región de la Sierra Norte de Puebla, específicamente en Huauchinango tiene una producción importante de aves de corral, crianza de peces y producción de hortalizas, el propósito del presente proyecto titulado “Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos”, se fundamenta en el diseño e integración de un sistema de control automatizado respondiendo a la necesidad de proporcionar una alternativa en la producción de alimentos: hortalizas, aves de corral y peces.

El prototipo contempla una parte estructural que soporta tres módulos verticalmente. El primer módulo está destinado a la crianza de peces con un sistema de filtraje, recirculación, censado de PH, un sistema de calentamiento y oxigenación del agua. El segundo módulo está destinado a la producción de hortalizas, con un sistema para el control de los nutrientes necesarios de los vegetales, y a su vez, los desechos de estos sirvan de alimento a las aves de corral.

El tercer módulo contempla la crianza de aves de corral, contando con un sistema que concentra y trata los desechos, que sirven como nutrientes para las hortalizas, de igual manera este módulo cuenta con un sistema de calefacción, un sistema de oxigenación, y un sistema de extracción de gas amoníaco, para evitar enfermedades.

El proyecto está enfocado para lograr un alto rendimiento del prototipo modular para la producción de hortalizas y carne (aves de corral y peces), e incorpora tecnología para poder controlar su desarrollo. De esta manera el proyecto pretende que a partir de la metodología puesta en marcha pueda ser implementada en la región de la Sierra Norte del Estado de Puebla en favor de la seguridad alimentaria.

El desarrollo de este trabajo de investigación está dividido en las secciones que a continuación se describen:

1. Metodología.

Se describen los pasos que se siguieron para el desarrollo del proyecto.

2. Resultados.

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para determinar si se ha logrado el objetivo.

3. Agradecimientos.

Se agradece a las personas e instituciones que permitieron el desarrollo de esta investigación.

4. Conclusiones.

Se habla de los objetivos logrados satisfactoriamente y de cómo contribuye este trabajo en la producción de alimentos.

Metodología

El prototipo modular vertical autosustentable se divide en tres partes: el primer módulo es para la crianza de peces, el segundo módulo es para la producción de hortalizas, el tercer módulo es para la crianza de aves de corral, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1 Prototipo modular autosustentable
Fuente: Elaboración propia

El prototipo modular implementado busca la necesidad de garantizar el suministro continuo de alimentos e impactar de manera considerable en la economía familiar tanto en zonas rurales y urbanas al producir estos insumos de manera más eficiente y optimiza recursos mediante procesos automatizados, permitiendo generar dichos insumos incluso fuera de temporada. Se implementó en 3 niveles, organizado de manera vertical, considerando factores críticos para su fácil implementación y reducción de costos. En este enfoque, la estructura se basa en un perfil tubular cuadrado (PTR) y perfil angular, con diseño modular para que la producción y ensamble sean económicos y de sencillo acceso. Por consiguiente, un sistema básico de esta naturaleza tiene un costo aproximado de 40 mil pesos.

Materiales

El prototipo modular consta con tres niveles, cada uno de ellos dedicado a la producción de cada una de dichas especies. Para la automatización y control del prototipo modular se precisó de las necesidades del proyecto, optando por la siguiente lista con sus respectivas especificaciones que se presenta en la Tabla 1:

Elementos	Especificaciones	Cantidad
Bomba de agua de medio HP	De medio HP. Además, que funcione con un voltaje de 110 VCA a 60 Hz monofásico.	1
Foco incandescente	De 60 watts, que funcione con 110 VCA a 60 Hz	3
Extractor	Alimentación con 110 VCA a 60 Hz.	1
Ventilador	Alimentación a 110 VCA a 60 Hz monofásico.	1
Sensor de temperatura pt100	Alimentación con 5 VCC, que pueda mandar señales análogas de 0 a 1023.	1
Sensor de humedad yl-19	Alimentación con 5 VCC y mandar señales análogas de 0 a 1023	2
Sensor de nivel	Alimentación con 5 VCC, tener la capacidad de pasar de NA - NC y estar compuesto enteramente por material de tipo polímero	4
Sensor de PH	Alimentación con 5 VCC, mandar señales análogas de 0 a 1023 y que sea resistente al agua	1
Conductor eléctrico calibre 10	Cable de 2 polos	6 m
Conductor eléctrico	Cable a base de cobre, calibre 14	30 m
Conductor para componentes electrónicos	Cable UTP de un solo hilo	30
Soquet	Deberá ser a 120 VCA	6
Clemas	3 amperes cada uno	10 Pzas.
Controlador DAQ USB-6008	Sujeto a especificaciones del proveedor	1
Arduino UNO	Sujeto a especificaciones del proveedor	1
Laptop	Sujeto a especificaciones del proveedor	1

Tabla 1 Especificaciones de los materiales

Fuente: Elaboración propia

Instalación de sistema de recirculación del agua

El diseño del sistema de circulación del agua, se empleó el software de diseño de sistemas hidráulicos FluidSIM de Festo.

Cabe aclarar que algunos componentes al ser muy básicos sus símbolos, se colocaron elementos para simbolizar el tipo de proceso que se realiza en cada estación, obteniendo el diseño como se observa en Figura 2.

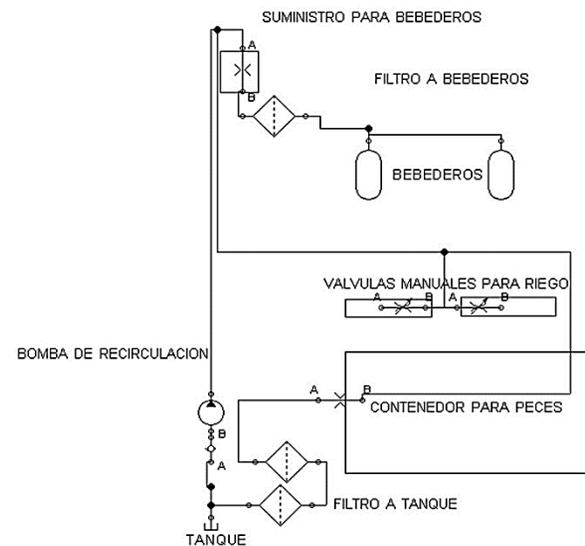


Figura 2 Diseño de sistema de recirculación del agua

Fuente: Elaboración propia

Para la selección de la bomba se basó en la NORMA Oficial Mexicana NOM-004-ENER-2014 para bombeo de agua limpia de uso doméstico, en potencias de 0.180 kW hasta 0.750 kW. Se instaló una bomba de ½" hp, ubicándolo dentro del cuarto de control, para reducir los daños por estrés que el ruido de la bomba ocasiona al entrar en estado activo y pueda tener repercusiones tanto en los peces y en las aves.

Para suministrar el agua al prototipo se conectó en la salida de la bomba una manguera de ½" hasta la entrada del contenedor del agua para los bebederos en donde se colocó una T de CPVC de ½" para dividir el caudal entre el contenedor y las tuberías empleadas para el riego de las hortalizas, por último el resto del agua en circulación caerá al estanque de los peces por medio de una tubería conectada en una división que se le hizo a la tubería del riego de las hortalizas como un método de oxigenación. Parte del agua que no se almacena en el contenedor de los bebederos es empleada para el riego de las hortalizas, por el método de goteo. El sistema de siembra permite que el agua empleado para regar las hortalizas se filtre y descienda al contenedor de peces favoreciendo a la oxigenación del agua en favor de los peces.

Diseño, maquinado e integración del circuito de opto-acoplado

El diseño de la placa se realizó en el software PCB de PROTEUS, es para el control de actuadores a 127 v de corriente alterna con una señal de la DAQ de 5 VCC.

Se optó por diseñar una sola placa que contenga a los circuitos de control de todos los actuadores a excepción de la bomba, siendo un total de 5 actuadores en la placa, con esto se optimiza el espacio dentro del cajón de mando brindando mejor estética y seguridad al disminuir la cantidad de cable que se empleó para la alimentación eléctrica, véase la Figura 3.

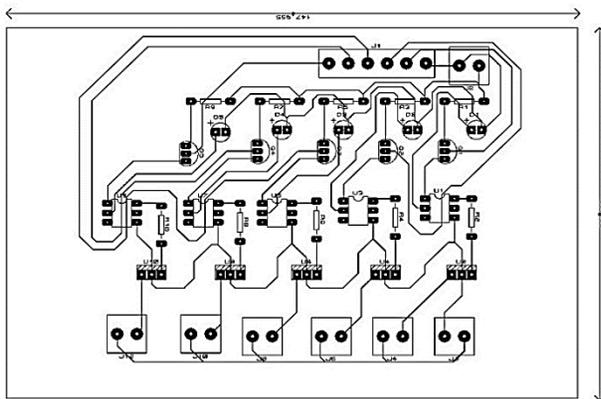


Figura 3 Diseño de placa general simulando todos los componentes

Fuente: Elaboración propia

Para el control de la bomba se diseñó otra placa (Figura 4) con características que permitieran controlar un potencial de mayor amperaje, debido al mayor consumo de la bomba, con esto se evita que por el consumo de potencial de la bomba se pueda producir sobrecalentamiento o corto circuito a los circuitos de control de los demás actuadores.

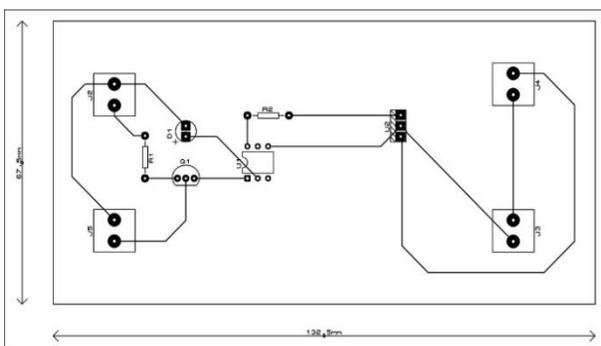


Figura 4 Diseño de placa para la bomba simulando componentes reales

Fuente: Elaboración propia

Una vez que los diseños estaban concluidos se obtuvieron los códigos para empezar con el maquinado de las placas. En el caso de la placa general se soldaron componentes para cinco circuitos de opto acoplado donde se conectarán el extractor, el ventilador, las lámparas de crecimiento, los focos incandescentes, véase Figura 5.

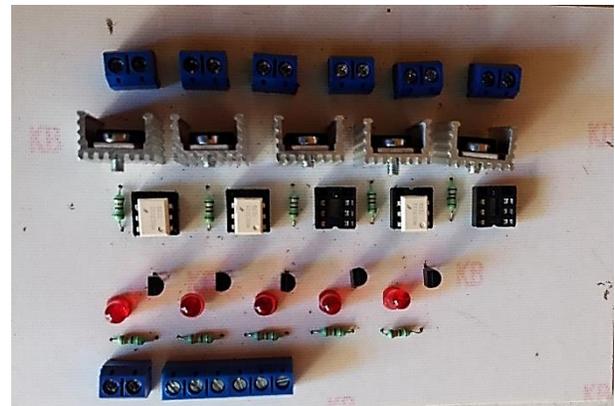


Figura 5 Placa general integrada

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de corriente total requerida

Todos los componentes eléctricos que se adquirieron traen las especificaciones del consumo energético en potencia o sea en watts, para calcular la corriente necesaria se obtuvo que aplicar la ley de Watt.

Para calcular las protecciones eléctricas se debe hacer la suma total de todas las cargas en watts que consumen los componentes, esto se divide entre el voltaje con el que se cuenta o se quiere trabajar y el resultado es la corriente expresado en amperes que será multiplicado por el factor establecido en la NOM-101-SEDE-2012, para instalaciones eléctricas Capítulo 2 Apartado 215 alimentadores y Capítulo 2 Apartado 240 protección contra sobrecalentamiento que es 0.25, una vez obtenido el resultado y no hay protección exacta se debe elegir uno con el valor superior más próximo, en nuestro caso el voltaje proveniente de la toma corriente al cual se conectó la alimentación es de 110 VCA, realizando las operaciones mencionadas se obtuvo que la corriente i_n es de 25.2 A.

Cálculo e instalación de conductores eléctricos

Tomando en cuenta datos del consumo requerido por los actuadores, se compararon con respecto a valores determinados por la norma. Los requisitos establecidos en este proyecto tienen el propósito de garantizar la seguridad de las personas, animales y bienes contra los riesgos que puedan resultar de la utilización de las instalaciones eléctricas.

Para la alimentación general del prototipo se empleó cable calibre 12 AWG, debido a que es el que más idóneo por todos los actuadores que posee el sistema. El cableado para la alimentación de las lámparas de crecimiento y de alimentación y adquisición de datos para los sensores, se ruteó sobre la parte trasera de la estructura, dentro de unas canaletas hasta llegar a la caja de registro. De la caja de registro se trasladan los conductores introduciéndolos en manguera según la norma para instalaciones eléctricas.

Los cables provenientes de la caja denominada de registro son seleccionadas dependiendo del voltaje que trasladan las de potencia son recibidas por unas clemas que se encuentran dentro del cajón de mando. Posteriormente el cable de cada clema es conectado a un pin determinado en el circuito de potencia. Los cables señal para la adquisición de datos se conectaron a una Protoboard en el que a cada sensor tiene un circuito control, los módulos de linealizado de los sensores de humedad YL-19 igualmente fueron colocados en la Protoboard. Las salidas de los transistores se conectaron a los pines específicos de la DAQ determinados en el software de control, ver Figura 6, de esta manera el software podrá empezar a recibir los datos de los sensores, los comparará a los valores establecidos y ejecutará las acciones establecidas en el programa. Con esto la DAQ enviará una señal a un pin del circuito de potencia con lo cual se accionará el actuador necesario para regular las variables.

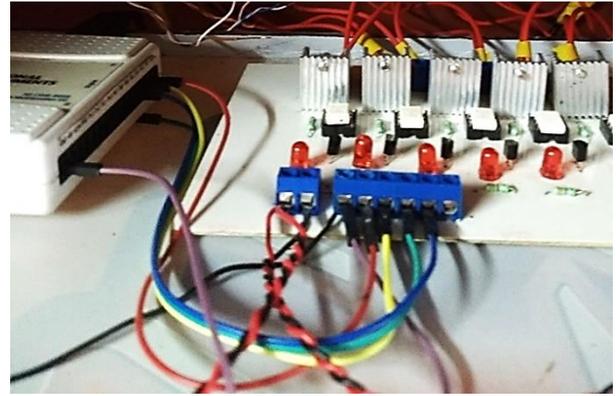


Figura 6 Conexión a DAQ
Fuente: Elaboración propia

Tecnologías de control y propuesta de automatización

El análisis e interpretación de las variables (temperatura y humedad relativa) permiten tener un referente de diseño, ensamble, revestimiento y colocación física del prototipo. También sirve para dimensionar y seleccionar el tipo de control a utilizar, los sensores y actuadores, así como, para la selección de valores de ajuste en los algoritmos de control y diseño de la interfaz de monitoreo, graficación y control de los tres módulos y sus alarmas de proceso. El sistema de control está basado en el controlador DAQ NI USB-6008, cuenta con 8 puertos de entrada que sirven de entradas analógicas o digitales para realizar la adquisición de datos de los sensores.

Los puntos de datos muestreados y establecidos forman parte del sistema de control y monitoreo. Proporcionan valores y una marca temporal, lo cual permite el monitoreo y el control, así como la generación de alarmas que permite la supervisión y la pronta atención en caso de haber falla. La construcción de una interfaz de usuario amigable y fácil de usar se empleó el entorno de desarrollo gráfico de LabVIEW 2019 aprovechando su compatibilidad con el controlador utilizado y recomendada para sistemas de pruebas de control y diseño, simulado o real y embebido.

Desarrollo del panel de control y visualización del nivel para la crianza de aves de corral

En este módulo se realizó el sistema de adquisición de datos para sensar temperatura y humedad relativa para controlar el sistema de calefacción, oxigenación, y extracción de gas amoníaco, que tiende a enfermar de vías respiratorias a las aves. Además, un sistema de monitoreo del nivel de agua en el contenedor de agua para los bebederos.

Teniendo como base referente los siguientes datos mostrados en la Tabla 2, proporcionados por los manuales de avicultura.

Edad en días	Temperatura
1-7	28-32 °C
8-14	26-28 °C
15-21	24-26 °C
22-28	22-25 °C
29-35	20-22 °C
36 al sacrificio	20-22 °C

Tabla 2 Guía de avicultura

Fuente: <https://avicultura.info/medicion-de-parametros-productivos-en-avicultura/>

Para el monitoreo y control de las variables en el galpón de las aves se diseñó un algoritmo en el que se empleó el sensor de humedad y temperatura DHT-11, un sensor de tipo switch, un extractor y un ventilador, y en un circuito separado una fotocelda y 2 focos incandescentes, un termopar tipo j, un pirómetro y una resistencia para generar calor. Una vez que la DAQ recibe los datos del sensor los compara, con los valores establecidos como ideales y en caso de que el valor de la temperatura sea mayor o igual a 30°C, ejecutará una acción que deberá activar al extractor, así deberá empezarse a regular la temperatura. En caso del ventilador de oxigenación estará encendiéndose 15 minutos y apagándose 15 minutos para suministrar aire al interior de nave.

En la interfaz de usuario se hace la visualización del estado de los niveles de agua que intervienen en el suministro a los bebederos. En donde los indicadores de cada contenedor representan un sensor en la estructura real.

Después de hacer la instalación de los sensores y actuadores se diseñó el sistema de adquisición de datos para el sensor DHT11 ubicado en la nave de las aves, con el algoritmo programado para el sensor DHT-11 se obtiene la visualización de la humedad y la temperatura dentro del galpón por medio de indicadores analógicos. El estado del extractor y del ventilador se mostrará en el panel de visualización, ver Figura 7.

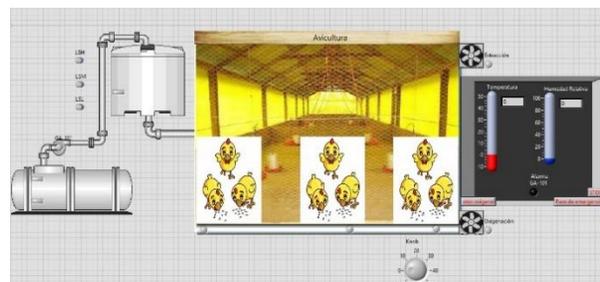


Figura 7 Panel de visualización del nivel para la crianza de aves de corral

Fuente: *Elaboración propia*

Desarrollo del panel de control y visualización del nivel para el cultivo de hortalizas

Partiendo de los datos proporcionados por la FAO mostrados en la Tabla 3 sobre la temperatura, humedad relativa y las condiciones de almacenamiento óptimo para las principales especies de frutas y verduras. Además, se consideró las condiciones climatológicas del Estado de Puebla, se eligieron las especies de hortalizas a rotar en la producción.

Especie	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Tiempo de almacenamiento (días)
Brócoli	0	95-100	14-21
Cebolla bulbo	0	65-70	30-240
Cebolla de verdeo	0	95-100	21-28
Cebollino	0	95-100	14-21
Espinaca	0	95-100	10-14
Lechuga	0-2	98-100	14-21
Perejil	0	95-100	30-60
Pimiento	7-13	90-95	14-21
Repollo de Bruselas	0	95-100	21-35
Repollo chino	0	95-100	60-90
Tomate verde maduro	12.5-15	90-95	14-21
Tomate rojo maduro	8-10	90-95	8-10
Tomate de árbol	3-4	85-90	21-28
Zanahoria c/hoja	0	95-100	14
Zanahoria s/hoja	0	98-100	210-270

Tabla 3 Condiciones de almacenamiento óptimo para las principales especies de hortalizas

Fuente: <http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s06.htm>

En la tabla anterior, se observa una constante de humedad relativa alta, que va del 85% al 100%, se decidió colocar un sensor de humedad relativa en tierra, lo que determina la variable medida con respecto al valor de ajuste del 100% donde para la bomba de riego se le colocó una histéresis que va entre 80% y 90% según la hortaliza a producir, basado en los parámetros referentes y la humedad relativa censada, con el fin de activar la bomba y/o los aspersores.

Empleando un sensor de humedad en suelo YL-19 en cada cajón del sistema hidropónico para monitorear la humedad de la tierra, se diseñó el sistema de adquisición de datos para los sensores y el panel de visualización al usuario. Para hacer más fácil la interpretación de los datos de la DAQ únicamente será por medio de indicadores como se representa el estado de la humedad, en cada cajón se cuenta con tres indicadores a los cuales se le dio la nomenclatura de S= seca, H= húmeda y MH= muy húmeda. Los valores de cada nomenclatura están entre, 0.01 V- 1 V = a MH, de 1.2 V a 2.8 V= H y de 3.1 V-3.5 V =S.

Para tener un buen desarrollo se instalaron lámparas de crecimiento cuya función es brindar luminosidad cuando exista escasez de luz solar, por lo que fue necesario desarrollar un sistema de adquisición de datos para trabajar con un sensor de luminosidad (LDR). En el panel de visualización se muestra el estado de la humedad por medio de indicador variable cuyo valor va de 0 – 5 V representando mayor humedad cuando exista menor voltaje respectivamente.

El código nos indica un comparador de valores de voltaje de 0 V – 4 V cuyo valor se puede ver representado en los indicadores del panel de visualización (Figura 8) y en caso de que el valor se menor a 0 se envía la señal que debe activar a las lámparas y en cuanto se activen las lámparas de la estructura el indicador en el panel de visualización cambiará de igual manera a estado activo.

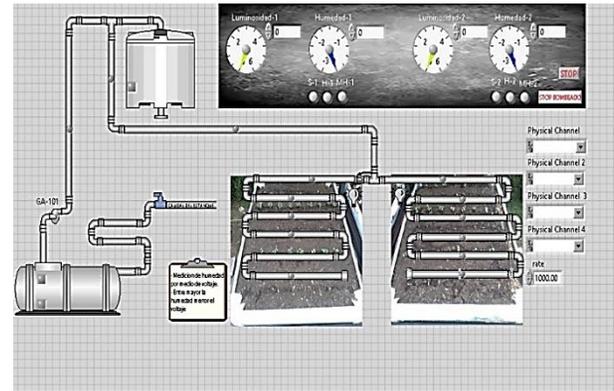


Figura 8 Panel de visualización del nivel para el cultivo de hortalizas

Fuente: Elaboración propia

Desarrollo del panel de control y visualización del nivel para la crianza de peces

El control se diseñó para mantener oxígeno suficiente controlado y cumplir con el ciclo de carbono para el mejor rendimiento y desarrollo de las especies, cabe mencionar que es necesario censar el pH del agua para el control de los sistemas de filtrado y retroalimentación, todo esto con un sistema de adquisición de datos y control automático.

En este caso se monitorea el nivel de pH del agua con el sensor E201-BNC colocado en el estanque, este sensor arroja la señal con voltaje, que con una ecuación se tratada para indicar el pH presente, al obtener el valor del pH se clasifica el valor de 9-14 unidades el pH es considerado alto por lo tanto la DAQ manda una señal al panel de visualización indicando una alarma, de 5 -9 el PH es considerado aceptable y cualquier valor menor a 5 será considerada baja por lo tanto también deberá activarse la alarma.

El sistema de almacenamiento y recirculación del agua es monitoreado mediante sensores todo o nada, se colocaron 2 sensores en el contenedor enterrado, la función de estos sensores es activar y desactivar la bomba.

El estado de pH medido es visualizado por medio de indicadores de tipo booleano para expresar el rango e indicadores variables para expresar el valor en el panel de visualización, véase Figura 9. Además, en el panel se pueden ver indicadores del estado de los sensores de nivel en tanque bajo y tanque alto, así como indicadores booleanos para las alertas en caso de error en el almacenamiento del agua sea en tanque alto o tanque bajo.

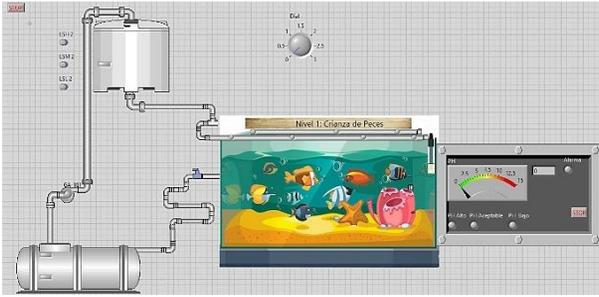


Figura 9 Panel de visualización del nivel para la crianza de peces

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Una vez que los tres niveles de la estructura del prototipo se ensamblaron y adecuaron con los elementos necesarios, colocando desde un sensor, un actuador hasta desarrollando un software subdividido enfocado en controlar un nivel en específico, se implementó un sistema de acceso por contraseña para manipular el prototipo modular, como se puede ver en la Figura 10. Una vez colocado nombre y contraseña correctamente, aparece un mensaje de bienvenida al operario en la vista frontal, cuando el usuario acepta el mensaje de bienvenida, automáticamente se visualizan los tres sistemas que integran el prototipo.

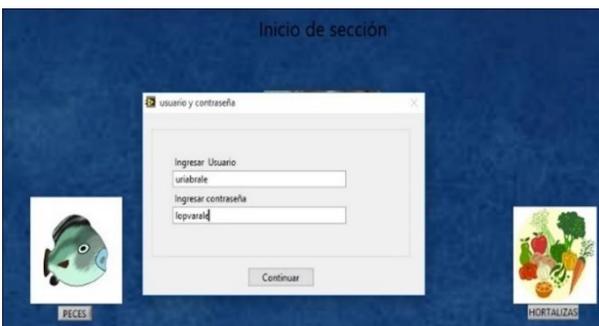


Figura 10 Sistema de acceso por contraseña

Fuente: Elaboración propia

Primer módulo: crianza de peces

En la Tabla 4, se muestran varios muestreos de tres mediciones de pH en diferentes horarios para observar su variación, la primera medición fue del nivel de pH en el estanque sin la presencia de peces, la segunda se realizó una vez que el agua pasó por un filtro y la tercera prueba fue del estanque con la presencia de peces. Los resultados fueron los siguientes:

Horario	Nivel de pH		
	Estanque sin presencia de peces	Después del filtro	Estanque con presencia de peces
09:00 am	7.91	7.72	7.00
10:00 am	7.98	7.00	7.12
11:00 am	7.91	7.38	7.07
12:00 am	7.93	7.38	7.15
13:00 am	7.89	7.12	7.20
14:00 pm	7.93	7.31	7.13
15:00 pm	7.91	7.26	7.12
16:00 pm	7.90	7.49	7.15
17:00 pm	7.85	7.28	7.21
18:00 pm	7.82	7.03	7.08

Tabla 4 Comparación de los niveles de pH

Fuente: Elaboración propia

Segundo módulo: producción de hortalizas

Se realizaron muestreos por tres días diferentes a un LDR en diferente horario y clima para observar la variación de luminosidad, véase en la Tabla 5, además se hizo un muestreo comparando dos LDR en un periodo corto, los resultados se presentan en la Tabla 6.

Horario	Unidad (Volts)			
	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
09:30 am	3.72	3.06	3.64	3.47
10:00 am	4.00	3.18	3.90	3.69
10:30 am	4.38	3.92	3.93	4.07
11:00 am	4.38	4.60	3.98	4.32
11:30 am	4.12	4.26	4.00	4.12
12:00 pm	4.31	4.08	4.00	4.13
12:30 pm	4.26	4.81	4.10	4.39
01:00 pm	4.49	4.84	4.40	4.57
01:30 pm	4.28	4.88	4.80	4.65
02:00 pm	4.03	4.88	4.70	4.53
02:30 pm	3.72	4.88	4.90	4.50
03:00 pm	3.72	3.06	3.64	3.47

Tabla 5 Comparación de los valores del LDR en tres días diferentes

Fuente: Elaboración propia

Horario	Unidad (Volts)	
	LDR 1	LDR 2
07:30 pm	0.103	0.165
08:00 pm	0.103	0.134
08:30 pm	0.103	0.134
09:00 pm	0.103	0.132
09:30 pm	0.103	0.130
10:00 pm	0.103	0.130
10:30 pm	0.103	0.130
11:00 pm	0.103	0.124
11:30 pm	0.103	0.124
12:00 am	0.103	0.124

Tabla 6 Comparación de valores de dos LDR, en un día de máxima oscuridad

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se mantuvo un registro de datos sobre el tamaño promedio de la lechuga, el rábano y el cilantro con diversas circunstancias climatológicas, como se muestra en la Figura 11



Figura 11 Registro de datos sobre el tamaño de los vegetales

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se muestra una comparación en el crecimiento de las hortalizas, se manejaron dos cajones, un cajón (derecho) se le colocó una composta, se le dio riego abundante y con suficiente luz solar, mientras que al otro cajón (izquierdo) no se le colocó composta, el riego fue mínimo y la luz solar fue poca por la posición del módulo.

Días	Unidad (cm), cajón derecho		Unidad (cm), cajón izquierdo	
	Lechuga	Cilantro	Lechuga	Cilantro
10	1.8	2.0	1.0	2.0
23	9.6	8.3	5.2	4.7
46	17.3	15.0	11.1	7.8
58	20.2	19.3	14	9.4
64	22.5	21.5	16.5	11.0

Tabla 7 Comparación de tamaños de hortalizas entre el cajón derecho e izquierdo

Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior se concluyó que la composta que coloca antes del proceso de cultivación es mejor para la tierra debido a los nutrientes que esta le da, el riego no debe ser demasiado para que los rábanos no salgan aguñosos, pero tampoco puede ser mínimo por las lechugas y el cilantro.

Con las diferentes circunstancias que se pusieron en cada cajón, nos resultó que del lado derecho donde tenía buenas condiciones, se logró un 90% del 100% y del lado donde las circunstancias eran no óptimas, la producción fue de un 55% del 100%.

Por lo cual, si colocamos una buena cantidad de composta generada por el tercer módulo, dependiendo del tipo de hortaliza, el riego sea constante y proporcionar la mayor cantidad de luz podríamos llegar a tener un 95% a 100% de producción.

Tercer módulo: crianza de aves de corral

El desarrollo de las aves con respecto al tiempo, podemos verlo el comportamiento de los datos que se muestra en la Tabla 8, con la cual podemos determinar que su crecimiento fue el esperado, se logró mejorar la calidad de vida de las aves y esto trajo como consecuencia una menor mortalidad.

Tiempo (Semanas)	Peso (gramos)
1	150
2	350
3	740
4	1050
5	1500
6	2600

Tabla 8 Desarrollo de las aves con respecto al tiempo

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que se observó una considerable disminución de gas amoníaco debido a la implementación de extractores y a la forma de extraer los desechos de las aves, con este resultado deducimos que se mejoró las condiciones del módulo, teniendo un mayor rendimiento en el crecimiento de las aves y una reducida contaminación, dado que los desechos de las aves se aprovechan como composta para hortalizas.

Agradecimiento

A la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango por el apoyo y las facilidades en el desarrollo del proyecto, así mismo este artículo fue realizado como producto del proyecto “Diseño e integración de prototipo autosustentable vertical para crianza de peces, aves de corral y hortalizas, orientada a seguridad alimentaria en la Región de la Sierra Norte de Puebla” del cuerpo académico “Automatización y control de procesos”, financiado por la convocatoria Fortalecimiento de Cuerpos Académicos del PRODEP.

Conclusiones

El proyecto realizado contribuye aportaciones al sector alimentario en cualquier ambiente que se instale, en zonas rurales brinda al usuario de hortalizas y carnes frescas durante todo el año con un bajo costo de producción, en tanto en los sectores urbanos es una buena opción para disminuir el consumo de alimentos procesados y en ocasiones de dudosa procedencia.

El sistema implementado en el prototipo modular se controlaron las tres secciones, el diseño del sistema de monitoreo y control integrado fue diseñado para que cualquier persona pueda manipular e interpretar lo que sucede mientras el sistema está en funcionamiento, en caso de haber errores se podrán visualizar en forma de mensajes de advertencia o en forma de LED's indicadores en el panel de inicio del sistema.

Como resultado del proyecto, es posible concluir, que el sistema implementado nos proporciona una mejor alternativa en la producción de alimentos para autoconsumo.

Referencias

- AGUILAR, N. E. S. (2020). Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos.
- CASTILLO, G., GÓMEZ, E., GONZAGA, E. y REYES, I. (2017). Sintonización y comparación de controladores para un aeropéndulo, *Revista de Ingeniería Eléctrica*, Vol. 1 No. 3, 16-26, http://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num3/ECORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_VI_N3_3.pdf
- Castillo G., Cruz, A., Gonzaga, E. y Luna, E. (2019). "Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola", *Revista de Investigación en Tecnologías de la Investigación (RITI)*, ISSN 2387-0893, 7 (14), Pp31-42. doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>
- Cruz-López, C. (2020). Sistema automatizado de control de variables fisicoquímicas en un prototipo para favorecer la apropiación social del cultivo de spirulina spp.
- Durán, M. (2014). Criterios tecnológico-ambientales bajo un enfoque sistémico: transferencia de tecnología química. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XV (número 3), julio-septiembre, 339-350.
- Fairchild Semiconductor Corporation (2014). "MOC3010M, MOC3011M, MOC3012M, MOC3020M, MOC3021M, MOC3022M, MOC3023M. 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (250/400 volt peak)". En Fairchild Semiconductor Corporation. Consultado el 24 de octubre del 2019. Disponible en: <http://www.farnell.com/datasheets/1806097.pdf>
- Genesis Gatica Porcayo, (2018). El desafío de la seguridad alimentaria en México. Consultado el 23 de octubre del 2019. Obtenido de Cienciamx: <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/24585-seguridad-alimentaria-mexico>
- INTAGRI. (2017). Acuaponía: Producción de Plantas y Peces. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019, de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
- Johana Andrea Ciro-Galeano, Mateo Itza-Ortiz. (2015). Parámetros Productivos. Recuperado el 08 de Septiembre de 2019, de Parámetros Productivos: https://www.researchgate.net/publication/308356178_PARAMETROS_PRODUCTIVOS
- Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- National Instruments (2015). "NI USB-6008/6009". En National Instruments. Consultado el 22 de octubre del 2019. Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>
- Lidia Soria, (2018). El futuro de la alimentación se llama agricultura vertical. . Consultado el 20 de octubre del 2019. Obtenido de Compromiso Empresarial: <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2018/08/el-futuro-de-la-alimentacion-se-llama-agricultura-vertical/>

Lopera, P. (2017). Medición de Parámetros Productivos en Avicultura. La revista global de avicultura, 23-26. Obtenido de Avicultura en producción ecológica:

<https://avicultura.info/medicion-de-parametros-productivos-en-avicultura/>

López Camelo, A. F. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. Organización De Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISBN 92-5-304991-X

<http://www.fao.org/3/y4893s/y4893s06.htm>

Páez Pazmiño, E. L. (2020). Diseño de un automatismo eléctrico de un proceso de Oxidación en una planta de tratamiento de aguas residuales para la industria cartonera.

Semiconductor Components Industries (2013). "P2N2222A". En Semiconductor Components Industries. Consultado el 23 de octubre del 2019.

Disponible en:
<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/P2N2222A-D.PDF>

Valderrama Gámez, A. S. Diseño e implementación de un sistema de control CNC compatible e Intercambiable para impresión 3d, corte y fresado de materiales blandos en aplicaciones didácticas.

Universitario, C. (2020). 0594-CU-P-2020

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]

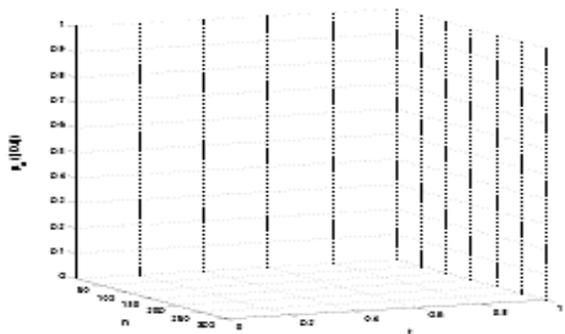


Gráfico 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

No deberán ser imágenes, todo debe ser editable.

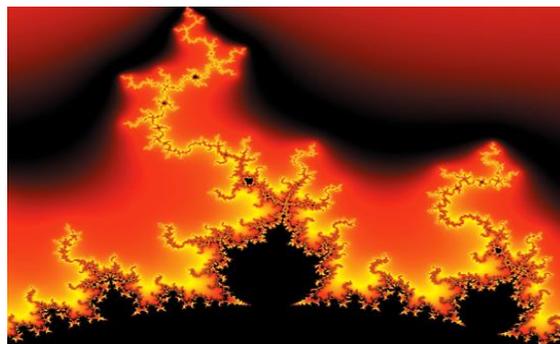


Figura 1 Titulo y Fuente (*en cursiva*)

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 Título secuencial.

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

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

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

Metodología a desarrollar

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

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del Artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

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

Conclusiones

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

Referencias

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

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

Ficha Técnica

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

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

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

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Requerimientos de Propiedad Intelectual para su edición:

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

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

Reserva a la Política Editorial

Revista de 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 serias 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

1047 Avenida La Raza -Santa Ana, Cusco-Perú. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; Correo electrónico: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Directora Ejecutiva

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Diagramador Web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

SORIANO-VELASCO, Jesús. BsC

Traductor

DÍAZ-OCAMPO, Javier. BsC

Filóloga

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN® Republic of Peru), sponsorships@ecorfan.org

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

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

Revista de Ingeniería Industrial

“Optimización del proceso de barrenado del área del estabilizador vertical para disminuir defectos en una empresa del sector aeroespacial mediante la implementación de la metodología DMAIC”

CHAVEZ-MEDINA, Juan, SANTIESTEBAN-LÓPEZ, Norma Angélica, SÁNCHEZ-FLORES Lizbeth y CRUZ-DE LOS ÁNGELES, José Aurelio
Universidad Politécnica de Puebla
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

“Manufactura artesanal de papel”

RAMÍREZ-ROMÁN, Adolfo, SUÁREZ-ÁLVAREZ, Ángel, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Luis Alberto y CHABAT-URANGA, Jacqueline
Universidad Veracruzana

“El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel”

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, Julio Cesar, CRUZ-SOLÍS, Edgar Jesús, HERNÁNDEZ-LUNA, Aldo y HERNÁNDEZ-HILARIO, Raymundo
Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango

“Automatización y control de un prototipo modular autosustentable para la producción de alimentos”

CASTILLO-QUIROZ, Gregorio, CRUZ-GARRIDO, Arnulfo, ROJAS-BALBUENA, Dorian y LIMON-DIAZ, Miguel Ángel
Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango

