Revista
Capital Intelectual
Ciencia Tecnología Sociedad

Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para compras en plataformas en Santa Rosalía, BCS.

Optimización de Procesos en la Industria Metalmecánica Mediante Lean Manufacturing.

Diseño y Fabricación de un Sistema de Cultivo basado en Técnicas de Agricultura de Precisión.

Estrategias de resiliencia empresarial implementadas por MIPYMES en México.

Recopilación de propiedades del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo, necesarias para realizar análisis estructural de fatiga por vibración aleatoria.

Gestión de Proyectos Pequeños y Medianos en MiPyMes de Ingeniería Basada en el Modelo de Sistemas Viables.

Banco pruebas para validación de sensores IoT para el análisis de variables de mantenimiento.



Año:11 Número: 33 ISSN:2007-9893

Revista Capital Intelectual
Ciencia Tecnología Sociedad

Directorio

Dr. Ramón Jiménez López
Director General Tecnológico Nacional de México

MC. Manuel Chávez Sáenz
Director de Institutos Tecnológicos Descentralizados

Lic. Juan Carlos Torres Cedillo
Secretario de Educación del Gobierno del Estado de San Luis Potosí

Mtra. Jocelin Villagrán Rodríguez
Directora de Educación Media Superior y Superior de la SEGE

Lic. Luis Gerardo Aldaco Ortega
Encargado de la Dirección General del ITSSLP,C

Consejo Editorial

MPS. Adela Marisol Sierra Guerrero
Encargada de la Dirección Académica del ITSSLP,C

Dra. Lya Adlih Oros Méndez
Subdirectora Académica del ITSSLP,C

Lic. Verónica del Rosario García Sánchez
Encargada de la Subdirección de Vinculación del ITSSLP,C

Dra. Gabriela Rangel Ramírez
Encargada de la Subdirección de Posgrado e Investigación del ITSSLP,C

MMA. Hulda Zulema del Angel López
Encargada de la Jefatura de División de Estudios de Posgrado e Investigación del ITSSLP,C

REVISTA CAPITAL INTELECTUAL. Año 11. No. 33; Mayo - Agosto 2025 es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Carretera 57 México – Piedras Negras Km 189+100 Tramo Querétaro – San Luis Potosí N° 6501 Villa de Pozos, San Luis Potosí, C.P. 78421 Tel. 444 8041220.https://slpotosicapital.tecnm.mx//-comunicacion-difusion/revista/ ; revista.captial.intelectual@gmail.com; Editor responsable: Dra. Gabriela Rangel Ramírez, Encargada de la Subdiección de Posgrado e Investigación. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 042014-073119354200-102, ISSN: 2007-9893; ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor, Responsable de la última actualización de este número, Lic. Verónica del Rosario García Sánchez, Subdirectora de Vincualción del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Su objetivo principal es difundir el quehacer académico (investigación y docencia) del personal adscrito al ITSSLP,C, así como del personal del Tecnológico Nacional de México y otras instituciones de Educación Superior Nacionales y Extranjeras. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Todo artículo publicado es responsabiloidad de los autores. Queda estrictamente prohibida la reporoducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital.

Editor

Dra. Gabriela Rangel Ramírez

Encargada de la Subdirección de Estudios de Posgrado e Investigación del ITSSLP,C

MMA. Hulda Zulema del Angel López

Encargada de la Jefatura de División de Estudios de Posgrado e Investigación del ITSSLP,C

Diseñadora

Lic. María de Lourdes Aranda Sánchez

ÍNDICE

Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para compras en plataformas en Santa Rosalía, BCS. 4
Juan Carlos Hernández Valenzuela, Jorge Carlos Calleros Gastelum, Antonio Meza Arellano, Carlos Agustín Arévalo Andrade

Optimización de Procesos en la Industria Metalmecánica Mediante Lean Manufacturing. 11
José Armando Rodríguez-Cerros, María del Carmen Murillo Flores, Marcela Rodríguez-González Claudia Alonso-Lara, Lorena Carreón-Calvillo

Diseño y Fabricación de un Sistema de Cultivo basado en Técnicas de Agricultura de Precisión. 21
Vázquez Rivera José Álvaro, Coreño Torres Jorge Omar, Juárez González Erick Alejandro, Horacio Gutiérrez Amador

Estrategias de resiliencia empresarial implementadas por MIPYMES en México. 27
Silvia Sánchez Aguilera, Laura Lucía Castañeda Santillán

Recopilación de propiedades del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo, necesarias para realizar análisis estructural de fatiga por vibración aleatoria. 33
Alejandro Martinez Sahagun, Victor Samuel Vilchis Bravo

Gestión de Proyectos Pequeños y Medianos en MiPyMes de Ingeniería Basada en el Modelo de Sistemas Viables. 52
Luis Alfonso Magaña Medina, Ignacio Levy García de la Cadena Pallares

Banco de pruebas para validación de sensores IoT para el análisis de variables de mantenimiento 62
Juan Francisco Cedano Lezcano, Luis Emmanuel Correa Olvera

Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para compras en plataformas en Santa Rosalía, BCS.



DR. Juan Carlos Hernández Valenzuela, Tecnológico Nacional de México/ ITS de Mulegé
MTE. Jorge Carlos Calleros Gastelum, Tecnológico Nacional de México/ ITS de Mulegé
MSC. Antonio Meza Arellano, Tecnológico Nacional de México/ ITS de Mulegé
Carlos Agustín Arévalo Andrade, Tecnológico Nacional de México/ ITS de Mulegé

ABSTRACT.

This article presents the results of a study on the factors that influence the use of mobile devices for shopping on different mobile platforms, focused on the inhabitants of Santa Rosalía, Baja California Sur, in order to identify the key factors affecting mobile shopping behavior in this region. A quantitative methodology was used with a non-probabilistic sampling, distributing surveys through WhatsApp, Facebook, and in person, applied to 68 residents of Santa Rosalía, mainly students from ITESME. The results show that although most respondents use their mobile devices for shopping, many face obstacles such as lack of familiarity with the applications, concerns about data security, and the quality of the internet connection. Additionally, areas of dissatisfaction were found, such as the complexity of using the platforms. The study reveals that despite the difficulties, residents are willing to adopt more mobile commerce if appropriate solutions are implemented. It is suggested to create training to improve the design and security of mobile applications, as well as to invite local merchants to use them for selling their products and services on mobile platforms. These actions would not only improve the shopping experience but also foster greater trust and use of mobile technologies in the region and beyond.

RESUMEN.

Este artículo presenta los resultados del estudio sobre los factores que influyen en el uso de dispositivos móviles para realizar compras en diferentes plataformas móviles enfocado en los habitantes de Santa Rosalía, Baja California Sur, para identificar los factores clave que afectan el comportamiento de compra móvil de los habitantes de esta región, Se utilizó una metodología cuantitativa mediante un muestreo no probabilístico, con encuestas distribuidas a través de WhatsApp, Facebook y de manera presencial, aplicadas a 68 residentes de Santa Rosalía principalmente estudiantes del ITESME donde los resultados muestran que, aunque la mayoría de los encuestados tiene utiliza sus dispositivos móviles para compras, muchos enfrentan obstáculos como la falta de familiaridad con las aplicaciones, preocupaciones sobre la seguridad de los datos, y la calidad de la conexión a internet, además, se encontraron áreas de insatisfacción, como la complejidad de uso de las plataformas, el estudio revela que, a pesar de las dificultades, los residentes están dispuestos a adoptar más el comercio móvil si se implementan soluciones adecuadas, se sugiere crear capacitaciones para mejorar el diseño y seguridad de las aplicaciones móviles al igual de que se invita a los comerciantes locales a utilizarlas para las ventas de sus productos para la oferta de servicios y productos locales en las plataformas móviles. Estas acciones no solo mejorarían la experiencia de compra, sino que también fomentarían una mayor confianza y uso de las tecnologías móviles en la región y en cualquier lugar.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de dispositivos móviles para realizar compras se ha vuelto una práctica común entre los consumidores, ofreciendo comodidad y accesibilidad, Sin embargo, en Santa Rosalía, Baja California Sur, se ha observado que varios factores influyen en cómo y por qué las personas eligen utilizar sus móviles para las compras en diferentes plataformas es por ello que este estudio se enfoca en analizar estos factores, identificando obstáculos como la falta de familiaridad con las aplicaciones, preocupaciones sobre la seguridad de los datos y la calidad de la conexión a internet, además, busca proponer soluciones prácticas para superar estos retos, como la implementación de programas de capacitación digital y mejoras en la infraestructura tecnológica, no solo es destacala importancia del comercio móvil, sino también se buscara promover estrategias concretas que permitan a los consumidores de Santa Rosalía aprovechar al máximo las ventajas de las compras móviles, asegurando una experiencia de compra segura y eficiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la era digital actual, el uso de dispositivos móviles para realizar compras en plataformas ha experimentado un crecimiento significativo. Sin embargo, a pesar de esta tendencia creciente, existen diversos factores que influyen en la adopción y el uso de estos dispositivos para compras en línea. Es por ello que estos factores pueden variar desde la percepción de la utilidad y la facilidad de uso de las aplicaciones móviles, hasta la confianza y el riesgo percibido por los usuarios al realizar transacciones en línea y a medida que más consumidores optan por utilizar sus dispositivos móviles para comprar, por ello es crucial entender qué motiva o desalienta este comportamiento sin embargo la falta de comprensión de estos factores puede llevar a la utilización de las plataformas móviles por parte de los consumidores y, en consecuencia, a una pérdida de oportunidades para los comercios electrónicos. Además, la competencia en el mercado digital es muy fuerte, y las empresas que no logran optimizar sus plataformas móviles pueden quedarse atrás. Es por esto que es necesario investigar y analizar los factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes comercios electrónicos.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

OBJETIVO GENERAL.

Investigar los factores que influyen en el uso de dispositivos móviles para compras en distintas plataformas, enfocándose en aspectos como usabilidad, seguridad y preferencias del consumidor, para entender cómo afectan la decisión de compra y así ofrecer recomendaciones que mejoren la experiencia móvil y promuevan su adopción en el comercio electrónico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar los factores que influyen en la adopción y uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas.

- Analizar la relación entre las características del dispositivo móvil y la experiencia del usuario en la adopción del comercio móvil.

- Proporcionar recomendaciones para optimizar la experiencia de compra móvil y fomentar su adopción en los comercios.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizará una metodología mixta, la cual integra enfoques cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión más completa del fenómeno de estudio. Según Creswell et al. (2019), esta combinación permite a los investigadores obtener datos complementarios, ya que cada método aporta información única que el otro no podría proporcionar.

En cuanto al enfoque cuantitativo, se emplearán encuestas, en línea como una herramienta fundamental para la recolección de datos. En este caso, la encuesta será creada en una plataforma digital como Forms, facilitando así el acceso y la respuesta desde cualquier lugar. Además, el formato digital permitirá mantener el anonimato, lo que incrementará la confianza de los participantes y la honestidad de sus respuestas. Los métodos de recolección de información se aplicarán a los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Mulegé con el fin de obtener datos precisos y relevantes para el proyecto. Finalmente, en cuanto a la selección de la muestra, Hernández Sampieri (2014) explica que las muestras probabilísticas son esenciales en diseños de investigación como el transaccional, donde se pretende hacer estimaciones de variables en la población. Estas muestras, al permitir una selección aleatoria, garantizan que todos los elementos de la población tengan la misma probabilidad de ser elegidos, lo cual contribuye a que los valores obtenidos en la muestra reflejen de manera precisa las características de la población total. La metodología que se llevara a cabo en este estudio será mixta, esta herramienta ayuda a recopilar datos, en este caso, se pondrá en práctica una encuesta para este estudio, el cual constará de 19 preguntas con 4 opciones de respuesta, dichas interrogantes están relacionadas con la frecuencia de la utilidad de dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en los jóvenes y el estudio socioeconómico, dichas encuestas serán aplicada a un total de 68 personas, para la realización de dicho estudio las encuestas se realizaran por medio de la plataforma Forms. También, importante que el entrevistador no suelte el link de la encuesta y que esta sea realizada de manera presencial. Sin embargo, se eligieron a los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Mulegé para aplicar las 68 encuestas. Para conocer la cantidad de población que existe en la localidad de Santa Rosalía se recurrió a la búsqueda de la página de Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía e información INEGI (2020), la cual arrojó la cantidad de habitantes 14, 357 habitantes de esta localidad. Por consiguiente, se investigó la fórmula de la muestra poblacional y realizando el cálculo correspondiente se llegó a la conclusión de realizar 68 encuestas, para el estudio de mercado. De igual manera la entrevista se hará a 10 alumnos y contará de 10 preguntas con opción de respuesta abierta. Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente muestra de acuerdo con Suarez L. y Tapia Z. (2012).

PERFIL SOCIOECONÓMICO

La muestra estuvo integrada por 68 encuestados, en su mayoría estudiantes universitarios, donde el 63% de estos se encuentran en la edad 22 a 25 años de edad, lo que corresponde a 43 personas, muy pocos de los encuestados se encuentran en las edades de entre 18 a 21, de 26 a 29 y solo uno corresponde a la edad de más de 30, en cuanto al género el 59% de los encuestados son mujeres correspondientes a 40 personas y el 41% son de sexo masculino correspondiente a 28 personas, lo que muestra una mayor presencia de mujeres en la encuesta. En cuanto al nivel educativo un 65% corresponden al nivel universitario con un total de 41 personas y muy pocos de nivel preparatoria con un 35% correspondiente a 22 personas, por otra parte, en cuestión de viviendas el 44% de los encuestados que corresponde a 28 personas rentan la vivienda mientras que el 37% correspondiente a 23 personas tienen una vivienda propia y la minoría de estos viven en una casa prestada.

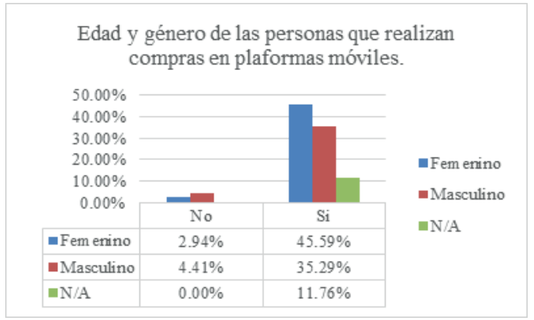
Hablando de los ingresos mensuales una amplia mayoría con un 75% recibe más de 10,000 pesos al mes, correspondiente a 47 de los encuestados, con una minoría se encuentran los siguientes rangos, de 5,000 a 6000 correspondiente a 2 personas, de 6500 a 8000 correspondiente a 3 personas y de 8,000 a 10,000 correspondiente a 11 personas, ahora bien en cuanto a la ocupación actual con un 82% correspondiente a 51 personas, son estudiantes, un 15% correspondiente a 9 personas son empleados y un 3% son autónomos (tienen un negocio propio) correspondiente a 2 personas, esto muestra una alta presencia de estudiantes dentro de los encuestados.

RESULTADOS

COMPRAS EN PLATAFORMAS MÓVILES.

El comportamiento de compra en plataformas móviles varía entre hombres y mujeres, influenciado por preferencias, necesidades y hábitos personales. Las compras a través de dispositivos móviles han aumentado significativamente debido a la conveniencia y accesibilidad que ofrecen. Por consiguiente, es importante señalar que implementar el uso de aplicaciones móviles para la venta de productos puede ser beneficioso para toda aquella persona que se dedique a vender artículos. Ahora bien, Gómez Haensel et. al. (2021) menciona cómo las aplicaciones móviles tuvieron una gran demanda y usabilidad en la pandemia, ya que los negocios podrían seguir vendiendo sus productos y los clientes adquiriéndolos sin importar el lugar donde se encontrarán. Es por ello y mucho más que utilizar aplicaciones móviles para la compra y venta de productos es importante, ya que, además de mantener tus ventas en situaciones adversas, también ayuda al crecimiento y posicionamiento de los vendedores, Además, el uso de aplicaciones móviles permite a los vendedores recopilar datos valiosos sobre el comportamiento y las preferencias de sus clientes, lo que facilita la personalización de las ofertas y promociones. Esta personalización no solo aumenta la satisfacción del cliente, sino que también impulsa las ventas recurrentes. Las aplicaciones móviles eliminan las barreras geográficas, permitiendo que los negocios locales lleguen a clientes en diferentes regiones e incluso en otros países. Los clientes pueden realizar compras en cualquier momento y desde cualquier lugar, lo que se traduce en un incremento en las ventas impulsivas. Los vendedores pueden aprovechar esta tendencia para lanzar promociones y descuentos en tiempo real, incentivando las compras instantáneas.

GRÁFICA 1.



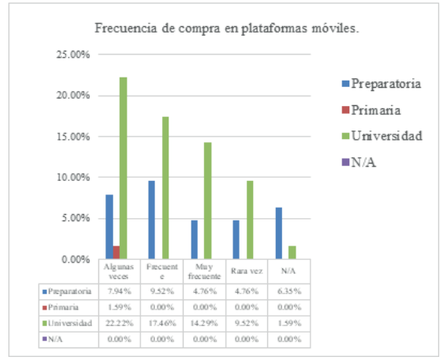
Gráfica 1. Edad y género de las personas que realizan compras en plataformas móviles. Fuente: elaboración propia sacada de Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en Santa Rosalía Baja California Sur

La gráfica 1 muestra que el 45.59% de las mujeres encuestadas ha comprado en plataformas móviles mientras que el 35.29% de hombres de igual manera ha realizado compras en plataformas móviles por otro lado el 2.94% de mujeres y el 4.41% de hombre no han realizado compras en estas plataformas, este análisis destaca la creciente adopción del comercio móvil entre los habitantes, especialmente entre las mujeres. La notable diferencia en los porcentajes de uso entre hombres y mujeres sugiere una oportunidad para adaptar estrategias de marketing y mejorar la experiencia de compra móvil para ambos géneros. Fomentar el uso de plataformas móviles no solo beneficiará a los consumidores al ofrecerles comodidad y accesibilidad, sino que también impulsará el crecimiento económico local al aumentar la participación en el comercio digital. Implementar programas de educación y promoción para aquellos que aún no han adoptado estas tecnologías puede resultar en un incremento significativo en la penetración del mercado móvil.

ÍNDICE DE COMPRAS EN PLATAFORMAS MÓVILES.

Los índices de compra en plataformas móviles han mostrado un notable crecimiento en los últimos años, transformando la manera en que las personas adquieren productos y servicios. Este aumento se debe principalmente a la comodidad y accesibilidad que ofrecen los dispositivos móviles, permitiendo a los consumidores realizar compras desde cualquier lugar y en cualquier momento ahora bien Bohorquez-Villalta, (2023) menciona cómo las plataformas móviles han transformado significativamente el comportamiento de compra de los consumidores. En grandes rasgos, los autores destacan varios puntos clave: Las plataformas móviles han hecho que las compras sean más accesibles, permitiendo a los usuarios adquirir productos desde cualquier lugar y en cualquier momento, lo cual ha aumentado la frecuencia de compras impulsivas, es por ello que observo que las plataformas móviles no solo han facilitado y mejorado la experiencia de compra, sino que también han transformado el panorama del comercio global, proporcionando a los vendedores herramientas poderosas para alcanzar y retener a sus clientes de manera más efectiva.

GRÁFICA 2.



Gráfica 2. Frecuencia de compra en plataformas móviles Fuente: elaboración propia sacada de Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en Santa Rosalía Baja California Sur.

La gráfica 2, muestra la frecuencia de compra en plataformas móviles clasificada por nivel educativo (Primaria, Preparatoria, Universidad y una categoría N/A). En el eje vertical se presenta el porcentaje de cada grupo que reporta cada frecuencia de compra, mientras que en el eje horizontal se distinguen las categorías de frecuencia (Algunas veces, Frecuente, Muy frecuente, Rara vez y N/A).

De manera general, el grupo universitario, es el que concentra los porcentajes más altos en las categorías de compra de mayor regularidad. Por ejemplo, se observa un 22.22% de universitarios que compran "algunas veces", un 20.20% que lo hacen "frecuente" y un 19.19% que realiza compras "muy frecuentes". En contraste, sus porcentajes en "rara vez" y N/A son relativamente bajos, lo que sugiere que la mayoría de este grupo participa de manera constante en compras a través de plataformas móviles.

En preparatoria, los porcentajes más altos aparecen en "frecuente" (9.52%) y "rara vez" (7.72%), seguidos por "algunas veces" (7.41%). La categoría "muy frecuente" (6.48%) es algo menor en comparación con universidad, lo cual indica que sí hay actividad de compra, pero no tan intensa como la de los universitarios.
La primaria, presenta un patrón parecido al de preparatoria, aunque con porcentajes algo más bajos. Su valor más alto está en "frecuente" (9.09%), mientras que en "muy frecuente" (5.30%) y "rara vez" (4.55%) los porcentajes disminuyen. De igual modo, el 5.30% que aparece en N/A sugiere que una parte de los encuestados de este grupo no reporta o no realiza compras.

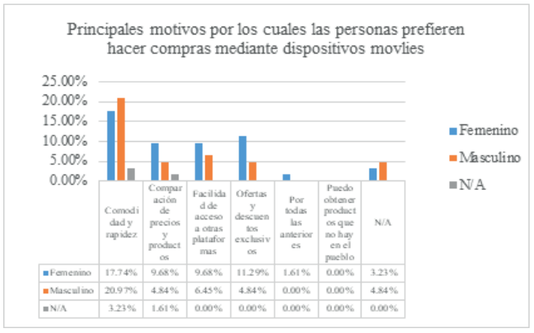
Finalmente, la categoría N/A, muestra valores muy bajos o nulos en todas las frecuencias de compra, lo que puede indicar poca participación en las compras móviles o simplemente falta de información sobre su comportamiento.

Por lo que el nivel universitario es el más activo en las compras a través de plataformas móviles, seguido de preparatoria y primaria, lo que podría estar relacionado con mayor acceso a dispositivos, independencia económica y hábitos de consumo digital de cada segmento de la población.

POR QUÉ LAS PERSONAS PREFIEREN COMPRAR EN LÍNEA

Las compras en línea han ganado popularidad debido a la conveniencia y accesibilidad que ofrecen, permitiendo a los consumidores realizar compras desde cualquier lugar y en cualquier momento. Las tiendas en línea proporcionan una mayor variedad de productos, precios competitivos, y permiten comparar características y precios de manera fácil y rápida. Los avances en la seguridad de las transacciones han incrementado la confianza de los usuarios, y el acceso a opiniones y reseñas facilita decisiones informadas. Además, el servicio de entrega a domicilio y la personalización de ofertas mejoran la experiencia del cliente, ya que las principales razones que impulsan a los consumidores a preferir las compras en línea, entre los factores más destacados están la conveniencia y la facilidad de uso, que permiten a los usuarios acceder a productos y servicios de manera rápida y sin desplazamientos físicos. La percepción de seguridad también juega un papel clave, ya que los consumidores valoran sistemas de pago confiables y plataformas que protejan su información personal. Además, el ahorro de tiempo y esfuerzo, en este contexto se puede entender que los principales motivos de compra son la comodidad y facilidad con las que se puede hacer las compras en línea principalmente, sin embargo, también se consideran otros factores como lo son las ofertas y descuentos entre otras.

GRÁFICA 3.



Gráfica 3. Principales motivos por los cuales las personas prefieren hacer compras mediante dispositivos móviles Fuente: elaboración propia sacada de Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en Santa Rosalía Baja California Sur.

La gráfica 3, presenta los principales motivos por los cuales las personas prefieren hacer compras mediante dispositivos móviles, diferenciando tres grupos: Femenino, Masculino y una categoría N/A.

A simple vista, se aprecia que la comodidad y rapidez es el factor más mencionado en ambos géneros, aunque con una mayor proporción en el grupo femenino (17.14%) en comparación con el masculino (9.52%). Este dato sugiere que, para las mujeres, la facilidad y la velocidad de compra representan un motivo especialmente relevante.

Después de la comodidad y rapidez, los motivos más destacados para el grupo femenino son las ofertas y descuentos exclusivos (11.29%) y la facilidad de acceso a otras plataformas (9.68%). Para el grupo masculino, también las ofertas y descuentos (8.57%) se sitúan como la segunda razón más relevante, seguidas de la comparación de precios y productos (6.35%). En general, se observa que la proporción de mujeres que menciona cada motivo tiende a ser mayor que la de hombres, lo que podría indicar un mayor interés o diversidad de razones para comprar en línea dentro del grupo femenino.

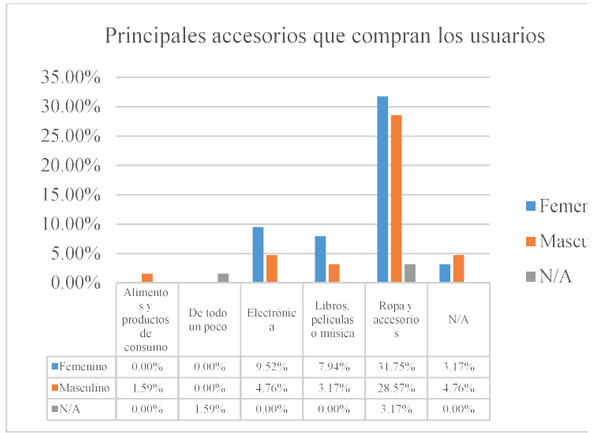
Otros factores como "por todas las tiendas en un solo lugar" y "puedo obtener productos que no hay en mi pueblo" aparecen con porcentajes menores en ambos grupos, aunque las mujeres siguen mostrando cifras algo más altas que los hombres. Por su parte, la categoría N/A presenta porcentajes bajos en todos los motivos, lo que indica que un grupo reducido de personas no especifica o no se identifica con estas razones.

Además, la comodidad y rapidez se posiciona como la razón principal para comprar mediante dispositivos móviles, tanto para mujeres como para hombres, seguida de cerca por los descuentos exclusivos y la posibilidad de comparar precios. No obstante, el grupo femenino muestra porcentajes más elevados en casi todos los motivos, lo que sugiere una mayor diversidad de razones que impulsan sus compras en línea.

TENDENCIAS EN LA COMPRA DE ACCESORIOS: PREFERENCIAS DE LOS CONSUMIDORES

Hoy en día, las compras de accesorios están marcadas por una evolución constante en las preferencias de los consumidores, influenciada por aspectos culturales, tecnológicos y económicos. La personalización y la exclusividad son clave ya que las personas buscan productos que reflejen su estilo y personalidad, desde colecciones limitadas hasta opciones hechas a medida es por ello que esto beneficia tanto a marcas de lujo como a negocios locales, así mismo el comercio electrónico y las aplicaciones móviles se han vuelto indispensables, ya que ofrecen comodidad y rapidez, especialmente para los jóvenes las plataformas con recomendaciones personalizadas gracias a la inteligencia artificial están en auge, por otro lado, hay una creciente inclinación por accesorios sostenibles, elaborados con materiales ecológicos, mientras que la tecnología integrada en productos como relojes inteligentes y bolsos con cargadores responde a las necesidades actuales. Las redes sociales también juegan un papel crucial ahora bien Nguyen et.all. (2015) aborda cómo las decisiones de compra relacionadas con marcas de lujo reflejan la identidad extendida de los consumidores, es decir, cómo sus elecciones de productos, incluidos los accesorios, están influenciadas por sus valores personales, aspiraciones y la necesidad de expresar su estilo único. La investigación sugiere que las marcas de lujo y exclusivas tienen un fuerte vínculo con la forma en que los consumidores se ven a sí mismos y cómo desean ser percibidos en su entorno social y cultural. Esto resalta la importancia de la personalización y exclusividad en las tendencias actuales de compra de accesorios.

GRÁFICA 4.



Gráfica 4. Principales accesorios que compran los usuarios. Fuente: elaboración propia sacada de Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en Santa Rosalía Baja California Sur.

La gráfica 4, presenta los principales tipos de productos que los usuarios adquieren mediante compras en línea, diferenciando tres grupos: Femenino, Masculino y una categoría N/A. Se observa que la ropa y los accesorios constituyen la categoría más destacada, principalmente entre las mujeres (31.70%) frente al 10.00% de los hombres. Por su parte, la electrónica registra un 4.00% en el grupo femenino y un 6.35% en el masculino.

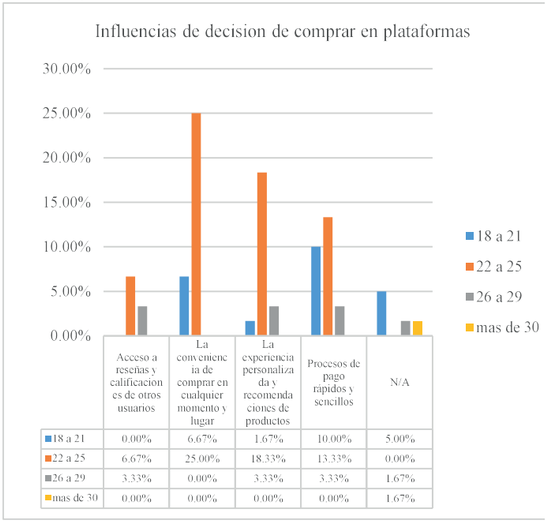
En cuanto a libros, películas o música, el 7.00% de las mujeres señala comprar estos productos, frente al 2.22% de los hombres. Solo el 3.00% de las mujeres y el 1.59% de los hombres opta por "de todo un poco", mientras que alimentos y productos de consumo apenas alcanzan el 1.00% en las mujeres y el 0.00% en los hombres.

Por último, la categoría N/A (en la cual se ubican usuarios que no especifican o no se identifican con ninguna categoría) se encuentra en 0.00% para todos los rubros, lo que indica que la mayoría de los participantes sí definió claramente qué tipo de productos suele adquirir. En conjunto, estos datos evidencian diferencias notables en los hábitos de compra según el género, con un marcado interés de las mujeres por la moda y los accesorios, mientras que los hombres muestran una ligera preferencia por la electrónica.

LA INFLUENCIA DE LAS APLICACIONES MÓVILES EN EL COMPORTAMIENTO DE COMPRAS DEL CONSUMIDOR

En la actualidad, las aplicaciones móviles han transformado profundamente el comportamiento de compra de los consumidores, la facilidad y flexibilidad para realizar compras en cualquier momento y desde cualquier lugar ha incrementado las compras impulsivas, además, la capacidad de las aplicaciones para personalizar la experiencia de compra, ofreciendo recomendaciones y ofertas basadas en los datos del usuario, mejora la satisfacción y fidelidad del cliente. Estas herramientas permiten a los consumidores tomar decisiones informadas de manera ágil, convirtiendo el comercio electrónico en una experiencia más accesible y adaptada a las necesidades individúales, la integración de características como el seguimiento en tiempo real de pedidos y la asistencia virtual también contribuyen a optimizar la experiencia de compra, haciendo que los consumidores confíen más en las plataformas móviles para sus necesidades de consumo, ahora bien Barreno Paredes, (2018) menciona cómo las aplicaciones móviles influyen en las decisiones de compra de los consumidores en línea. La investigación destaca que las aplicaciones móviles han transformado la experiencia de compra, proporcionando a los consumidores una plataforma conveniente y accesible para realizar compras en este sentido se puede entender que la preferencia de compra de los consumidores va más allá de una simple necesidad ya que al tener acceso a reseñas o procesos de pago más sencillos o simplemente la comodidad de comprar en cualquier momento y lugar influye en las decisiones de comprar en plataformas móviles.

GRÁFICA 5.



Gráfica 5. Influencias de decisión de compra en plataformas. Fuente: elaboración propia sacada de Factores que influyen en el uso del dispositivo móvil para las compras en diferentes plataformas en Santa Rosalía Baja California Sur.

La gráfica 5, anterior muestra que influencia a las personas a tomar la decisión de comprar en plataformas móviles y los rangos de edades en los que se encuentran los encuestados, en primer lugar, se encuentra la conveniencia de comprar en cualquier momento y lugar con un 31.67% donde el 25% se encuentra en el rango de edad de 22 a 25 años de edad y el resto se encuentra dentro del rango de 18 a 21 años de edad, en segundo lugar se encuentran los procesos de pagos rápidos y sencillos donde el 13.33% se encuentran en el rango de edad de entre 22 a 25 años y el 10% se encuentran en el rango de 18 a 21 años de edad y el resto se encuentra en el rango de 26 a 29 años de edad, en tercer lugar se encuentra la experiencia personalizada y recomendaciones de productos con un 23.80% donde en su mayoría con un 18.33% se encuentran el en rango de edad de 22 a 25 años, el 3.33% se encuentran en el rango de 26 a 29 años y el resto se encuentra en el rango de edad de 18 a 21 años y por ultimo con un 11.11% se encuentra el acceso a reseñas y calificaciones de otros productos donde el 6.67% de estos se encuentran en el

rango de edad de entre 22 a 25 años y el resto está en el rango de 26 a 29 años. Este análisis subraya la importancia de comprender los factores que influyen en las decisiones de compra en diferentes grupos de edad. La conveniencia y la rapidez en los procesos de pago son elementos clave que atraen a los consumidores jóvenes, especialmente aquellos de 22 a 25 años. Por otro lado, la experiencia personalizada y las recomendaciones de productos también juegan un papel significativo, destacando la necesidad de adaptar las estrategias de mejora para ofrecer una experiencia más relevante y satisfactoria. Además, la importancia del acceso a reseñas y calificaciones indica que los consumidores valoran la opinión de otros usuarios antes de tomar decisiones de compra. Al enfocarse en estos aspectos, las plataformas móviles pueden mejorar su oferta y atraer a una base de usuarios más amplia y comprometida, fomentando así una mayor lealtad y satisfacción del cliente.

DISCUSIONES

PROPUESTA DE VALOR: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL USO DEL DISPOSITIVO MÓVIL.

A partir de los datos obtenidos, se identifica que los residentes de Santa Rosalía, Baja California Sur, muestran un interés significativo por el uso de dispositivos móviles para realizar compras en diversas plataformas, destacando su importancia en la vida cotidiana, sin embargo, existen varios factores que limitan su adopción plena y eficaz. Muchos residentes enfrentan obstáculos como la falta de familiaridad con las aplicaciones, preocupaciones sobre la seguridad de los datos y la calidad de la conexión a internet, esto refleja la necesidad de brindar oportunidades accesibles que les permitan mejorar su conocimiento y confianza en el uso de estas tecnologías, el interés expresado por la mayoría en adoptar más el comercio móvil resalta el valor que estas competencias tienen en su vida diaria, al mismo tiempo, la frecuencia de uso moderada y las barreras tecnológicas indican que muchos residentes aún no han incorporado completamente estas herramientas en su rutina diaria esto puede estar relacionado con la complejidad percibida de las plataformas o la falta de recursos adecuados, lo cual impacta directamente en su confianza y disposición para utilizarlas, por otro lado, se observa que los aspectos que generan insatisfacción, la complejidad de uso de las plataformas, y la falta de seguridad al momento de realizar los pagos pueden limitar el alcance y la utilidad percibida de estas herramientas; esto refuerza la idea de que proporcionar un acceso más amplio a conocimientos prácticos y mejorar la infraestructura tecnológica puede transformar estas limitaciones en oportunidades de crecimiento personal y comunitario así pues, las plataformas móviles para compras representan no solo un recurso clave para facilitar la vida cotidiana, sino también, facilitan el acceso a productos y servicios, mejoran la conveniencia y fomentan una mayor eficiencia en la gestión del tiempo, consolidándose como un pilar fundamental en su vida diaria. Capacitar a los habitantes y principalmente a los estudiantes encuestados en Santa Rosalía Baja California Sur en el uso práctico y avanzado de estas plataformas no solo resolverá estas brechas, sino que también fortalecerá su confianza y competencias, impactando positivamente su disposición para realizar compras móviles estas habilidades serán un factor diferenciador clave que les permitirá aprovechar al máximo las ventajas del comercio móvil en un entorno cada vez más digital, de igual manera implementar mayor medios de seguridad en las plataformas móviles es viable para los compradores y además ofrecer diseños más intuitivos.

CONCLUSIONES

El estudio pone de manifiesto que, si bien el 93% de los estudiantes realiza compras en línea, únicamente el 17% se siente seguro al hacerlo a través de plataformas móviles. Además, el 41% de los encuestados reconoce que el diseño de dichas plataformas es importante, aunque no determina su decisión de compra, mientras que el 59% considera fundamental mejorar la seguridad para proteger su información. Estos datos evidencian que, pese a la alta adopción de aplicaciones móviles, aún existe la necesidad de ofrecer entornos más seguros y con diseños más intuitivos.

En cuanto a la confianza, el 59% de los estudiantes mantiene una postura "neutral", pero el 100% coincide en la urgencia de reforzar la seguridad de las plataformas. Asimismo, un 31% señala la carencia de contenidos avanzados y enfatiza la importancia de mejorar la confianza a la hora de realizar transacciones.

Particularmente en Santa Rosalía, Baja California Sur, diversos factores dificultan el uso de dispositivos móviles para comprar en línea: el desconocimiento sobre el funcionamiento de las aplicaciones, la preocupación por la seguridad de los datos y la conexión a internet deficiente. Aun así, se observa un creciente interés en el uso de teléfonos móviles para adquirir bienes y servicios, lo que sugiere que, si se superan estos obstáculos, más personas estarían dispuestas a usar estas tecnologías.

Los resultados evidencian que, aunque la mayoría de los estudiantes del ITESME compra en línea, muchos no confían en las plataformas móviles. Para abordar esta deficiencia, se propone implementar programas de capacitación digital con asignaturas sobre ciberseguridad, protección de datos y compras en línea seguras. Además, se recomienda capacitar al personal docente, crear aulas tecnológicas con laboratorios virtuales y fortalecer la infraestructura de internet.

También es clave desarrollar campañas de concientización y colaborar con comercios y expertos en ciberseguridad para mejorar la formación. Finalmente, se sugiere evaluar periódicamente el impacto de estas iniciativas. Con estas acciones, el ITESME podría impulsar la confianza en el comercio digital y fortalecer su papel en la transformación digital de la región.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Mulegé por brindarnos las herramientas y el conocimiento necesario para la realización de este trabajo. Asimismo, agradecemos a la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial, a sus docentes y a todos aquellos que, con su orientación y apoyo, contribuyeron a la culminación de esta investigación sobre los factores que influyen en el uso del móvil para compras en plataformas en Santa Rosalía, BCS.

A nuestras familiares y amigos, por su paciencia y motivación constante, y a todas las personas que de alguna manera hicieron posible este proyecto.

¡Gracias!

REFERENCIAS

[1] Suarez y Tapia Z. (2012) Interaprendizaje de estadística básica, Universidad técnica del norte, Facultad de ciencias administrativas y económicas, primera edición, Ibarra Ecuador (Pág. 16), ISBN: 987-9942-11-239-2, consultada el día 28 de noviembre del 2024

[2] Barreno Paredes (2018). Impacto de las aplicaciones móviles sobre el comportamiento del consumidor en la decisión de compra online. ID Digital School. Consultada el día 26 de noviembre del 2024 de DOI: https://doi.org/10.29105/vtga8.6-245

[3] Bohorquez-Villalta, (2023). Comportamiento del consumidor hacia las compras en línea durante la Covid-19 en Latinoamérica: Revisión sistemática de la literatura. INNOVA Research Journal, 8(3), 110-131. Consultada el día 27 de noviembre del 2024 https://doi.org/10.33890/innova.v8.n3.2023.2269

[4] Creswell, et. all (2017). Designing and conducting mixed methods research. SAGE Open, 7(1), 1-9. consultada el día 26 de noviembre del 2024 de https://doi.org/10.1177/2158244017745861

[5] Gomez Haensel, et. All. (2021). El comportamiento del consumidor de los aplicativos móviles para restaurantes en el contexto de la pandemia del COVID-19. Compendium, 8(3), 303-316. consultada el día 26 de noviembre del 2024 de https://doi.org/10.46677/compendium.v8i3.996

[6] Hernández, (2018). Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill editorial. España, pág. 10, ISBN 978-1-4562-6096-5. Consultado el 23 de noviembre del 2023 en el libro Metodología de la investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.

[7] Hernández, et all (2006) Metodología de la investigación. McGraw-Hill editorial. México, pág 52, ISBN 970-10-5753-8. Consultado el 29 de octubre del 2023 del libro Metodología de la investigación., https://-doi.org/10.30878/idigital.2018.001

[8] INEGI (2020) Población, Santa Rosalía Baja California Sur. Consultado el 05 de diciembre del 2023 de la pág. https://www.inegi.org.mx

[9] Nguyen et.all. (2015). Luxury brand purchases and the extended self. Asia-Pacific Journal of Business Administration, 7(3), 153-173. Consultada el 11 de noviembre del 2024 https://doi.org/10.1108/apjba-05-2015-0046

[10]



Juan Carlos Hernández Valenzuela es Licenciado en Sistemas de Información Administrativa, con una Maestría en Administración de la Calidad y un Doctorado en Tecnología Educativa. Actualmente, cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable y posee 14 años de experiencia como docente en el Instituto Tecnológico Superior de Mulegé. A lo largo de su trayectoria, ha participado activamente en la publicación de artículos educativos en el ámbito de la investigación e innovación.



Jorge Carlos Calleros Gastélum es Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico de La Paz. Cursó la Maestría en Tecnología Educativa en la Universidad UDAVINCI, a través de una modalidad completamente en línea. Actualmente, cuenta con 17 años de experiencia como docente en el Instituto Tecnológico Superior de Mulegé, donde ha participado activamente en la publicación de artículos educativos en el ámbito de la investigación e innovación.



Antonio Meza Arellano es Ingeniero en Computación egresado de la Universidad Autónoma de Baja California, campus Mexicali, y cuenta con una Maestría en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de La Paz. Posee una destacada trayectoria profesional con 5 años de experiencia en la industria manufacturera de alta tecnología, así como 7 años en la administración pública dentro de una Secretaría del Gobierno Federal. Además, ha dedicado más de 10 años a la docencia en el Instituto Tecnológico Superior de Mulegé, donde es profesor con reconocimiento PRODEP y miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Baja California Sur, consolidándose como un referente en la educación y la investigación en el ámbito de la computación y los sistemas tecnológicos.



Estudiante de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial de 7mo semestre, del Instituto Tecnológico Superior de Mulegé.





Optimización de Procesos en la Industria Metalmecánica Mediante Lean Manufacturing

José Armando Rodríguez-Cerros / Tecnológico Nacional de México campus Aguascalientes.
María del Carmen Murillo-Flores / Tecnológico Nacional de México campus Aguascalientes.
Marcela Rodríguez-González / Tecnológico Nacional de México campus Aguascalientes.
Claudia Alonso-Lara / Tecnológico Nacional de México campus Aguascalientes.
Lorena Carreón-Calvillo / / Tecnológico Nacional de México campus Aguascalientes.

ABSTRACT.

The present study shows a Process Optimization in the Metalworking Industry through the implementation of Lean Manufacturing tools in a company located in the city of Aguascalientes. The objective is to improve the efficiency of production processes, since failure to do so impacts customer satisfaction due to delays in deliveries and product defects. Through a mixed methodology, both qualitative and quantitative data were collected through observation, conducting surveys and studying productive indicators. Lean instruments such as 5"s", VSM (Value Stream Mapping), 8D and Takt Time were used, which facilitated the detection of waste and areas of opportunity in the production chain. The findings show progress in the standardization of processes, reduction in production times and reduction of waste, which promotes efficiency in operations and consequently customer satisfaction.

Keywords: Lean Manufacturing, lean production, process improvement, production optimization, customer satisfaction.

RESUMEN.

El presente estudio muestra la Optimización de Procesos en la Industria Metalmecánica mediante la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en una empresa situada en la ciudad de Aguascalientes. El objetivo es mejorar la eficiencia de los procesos productivos, ya que de no hacerlo impacta en la satisfacción del cliente debido a las demoras en las entregas y defectos en los productos. A través de una metodología mixta, se recolectaron datos tanto cualitativos como cuantitativos por medio de la observación, la realización de encuestas y el estudio de indicadores productivos. Se utilizaron instrumentos Lean como 5"s", VSM (Mapeo de Flujos de Valor), 8D y Takt Time, lo que facilitó la detección de residuos y áreas de oportunidad en la cadena productiva. Los hallazgos muestran un avance en la estandarización de procesos, disminución de los tiempos de producción y reducción de desperdicios, lo que promueve la eficiencia en las operaciones y en consecuencia en la satisfacción del cliente.

Palabras clave: Lean Manufacturing, manufactura esbelta, mejora de procesos, optimización productiva, satisfacción del cliente.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto indaga sobre aquellas características elementales que influyen de manera significativa en la empresa del sector metalmecánica en el municipio de Aguascalientes, cuyo objetivo es identificar los problemas y evaluar el grado de influencia de la mala planeación en el proceso que impacta en el alto porcentaje de defectos y la deficiente satisfacción del cliente, aplicando las herramientas de Lean Manufacturing.

En un entorno industrial cada vez más competitivo, las compañías manufactureras se encuentran con el reto de identificar las variables más representativas, por lo que se busca estandarizar los procesos, incrementar la eficiencia, mejorar la calidad del producto y lograr la satisfacción del cliente (Womack & Jones, 2003). Lean Manufacturing se ha consolidado como una metodología para tratar estos problemas, debido a que se fundamenta en la disminución sistemática de tareas que no aportan valor y en la optimización constante de los procesos de producción (Ohno, 1988).

Se ha evidenciado que el uso de las herramientas Lean, 5"s", VSM, 8D y Takt Time potencia la optimización de los procesos y reduce el índice de mala calidad (Hernández & Vizán, 2013; Rajadell & Sánchez, 2010). La mejora de los procedimientos son aspectos que nos ayudan a optimizar el tiempo ciclo de las operaciones y sobrellevar los desafíos en la industria manufacturera (Tejada, 2011).

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

Objetivo general

Identificar áreas de oportunidad, mejorar y estandarizar los procesos de producción, utilizando las herramientas de Lean Manufacturing. (Womack & Jones, 2003; Ohno, 1988).

Objetivos específicos

1. Mapear el estado actual del proceso, mediante la recopilación y análisis de la información, identificando la causa raíz que origina la baja eficiencia y el incumplimiento en las entregas (Tejada, 2011; Hernández & Vizán, 2013).

2. Estandarizar los procesos productivos, mediante la implementación de las herramientas Lean Manufacturing. (Hernández & Vizán, 2013; Ohno, 1988).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. Lean Manufacturing

Es un enfoque sistemático para realizar la eliminación de desperdicios dentro del sistema de fabricación, de modo que solo se produce lo que se necesita (Womack & Jones, 2003). Tiene sus orígenes en el Sistema de Producción Toyota (TPS), desarrollado por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo, quienes lo concibieron como un modelo basado en la eficiencia operativa y la eliminación de actividades que no agregan valor al producto final (Ohno, 1988).

Lean Manufacturing es una filosofía basada en cinco conceptos fundamentales: (1) El valor debe ser definido por el cliente. (2) El valor puede ser un flujo establecido para evaluar y eliminar desperdicios. (3) El proceso debe ser como un río (flujo continuo). (4) La producción debe estar impulsada por la demanda (pull). (5) Premisa de la mejora continua incorporada en las organizaciones (Womack & Jones, 2003).

B. Herramientas de Lean Manufacturing y su Aplicación

Lean Manufacturing utiliza varias herramientas para lograr la optimización de procesos, las más importantes se enumeran a continuación:

• 5S: Una metodología centrada en la organización del lugar de trabajo para aumentar el rendimiento y reducir el tiempo de inactividad (Socconini, 2019).

• Value Stream Mapping (VSM): Una técnica que se puede usar para visualizar mejor el flujo del valor en la producción y detectar actividades que no generan valor (Hernández & Vizán, 2013).

• 8D (Eight Disciplines): Método estructurado para la resolución de problemas y la mejora de la calidad en la manufactura (Rajadell & Sánchez, 2010).

• Takt Time: Herramienta que permite sincronizar el ritmo de producción con la demanda del cliente para optimizar la capacidad de producción (Tejada, 2011).

C. El Impacto de Lean Manufacturing en la Productividad de la Industria del Trabajo de Metales.

Lean Manufacturing, a pesar de ser una disciplina introducida en la industria automotriz, se ha arraigado en la industria del trabajo de metales (Ohno, 1988; Womack & Jones, 2003), logrando disminuciones sustanciales en los tiempos de producción, desperdicios y mejorando la calidad de los productos. La literatura existente ha demostrado una influencia positiva de las herramientas esbeltas en la disminución de los costos operativos de las empresas junto con la mejora en la confiabilidad de entrega y, por tanto, aumentando la satisfacción de los clientes (Hernández & Vizán, 2013; Socconini, 2019).

Hay información basta en la literatura respecto al entorno de manufactura esbelta orientado a la industria del trabajo de metales y aspectos decisivos que garantizan el éxito, incluyendo la formación del personal, procedimientos estandarizados y el compromiso corporativo con la mejora continua (Rajadell & Sánchez, 2010). Vemos que el nivel de optimización de la producción no solo aumenta la competencia en el mercado, sino que también minimiza cualquier tipo de variabilidad en el proceso y aporta ímpetu para la excelencia operativa (Tejada, 2011).

D. La importancia de la estandarización en los procesos de producción.

Uno de los objetivos principales del Lean Manufacturing es la estandarización de procesos, ya que conduce a una disminución de la variabilidad de la producción y asegura la calidad del producto final (Hernández & Vizán, 2013). El uso de estándares operativos ayuda a reducir el retrabajo, controlar los defectos y optimizar la generación de recursos (Socconini, 2019).

Además, en diferentes empresas del sector manufacturero se han logrado ahorros en costos y mejoras en la productividad a través de la estandarización de los tiempos de ciclo y la optimización de las líneas de producción (Tejada, 2011).

Este estudio está orientado al Lean Manufacturing como una filosofía, una teoría aplicable dentro del marco de la optimización de procesos en la industria metalmecánica. Se anticipa que las herramientas Lean Manufacturing erradiquen desperdicios y mejoren la calidad, al mismo tiempo que acortan los tiempos de entrega de bienes y servicios.

Este estudio tiene como objetivo contribuir al cuerpo de conocimiento sobre cómo implementar prácticas de Lean Manufacturing resultando en una mejor eficiencia operativa y satisfacción del cliente, dado el competitivo ambiente empresarial.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realiza a través de un enfoque mixto, el cual permite cuantificar y cualificar características propias de la investigación, permitiendo evaluar, ponderar e interpretar la información obtenida. Lo anterior con ayuda de la observación, encuestas, indicadores y estadística del proceso productivo.
A. Enfoque y Diseño de la Investigación

Este enfoque lleva a cabo el diagnóstico e interacción con los colaboradores y datos obtenidos, generando una interpretación de la información del proceso de las piezas metálicas (Hernández-Sampieri et al., 2018).

POBLACIÓN

La población del estudio fueron los colaboradores de la empresa en el área de producción, en la cual se encontraron procesos críticos que podrían mejorarse. Basado en su conocimiento y participación en la fabricación, se determinó elegir el cien porciento de los empleados del área de producción siendo estos un total de 16 empleados involucrados en la fabricación de piezas metálicas. (Hernández-Sampieri et al., 2018).

FASES DE INVESTIGACIÓN

El estudio se diseñó en tres etapas:

1- Diagnóstico del proceso de producción:

• Se realizó observación directa de las líneas de producción y análisis de los indicadores clave de desempeño (KPI) para encontrar cuellos de botella, desperdicios y oportunidades de mejora (Womack y Jones, 2003).

• Se llevaron a cabo entrevistas con operarios y supervisores en las cuales se identifican los principales problemas de fabricación a través de entrevistas semiestructuradas (Rajadell & Sánchez, 2010).

2 - Implementación de herramientas Lean Manufacturing:

• Se utilizaron herramientas Lean como 5S, Mapeo de la Cadena de Valor (VSM), 8D, Takt Time, etc. (Socconini, 2019).

• Se utilizó VSM para diseñar una nueva cadena de valor, identificando tanto los tiempos de ciclo como los puntos de mejora (Hernández & Vizán, 2013).

• La metodología 8D se utiliza para identificar y abordar problemas específicos en el proceso de producción (Rajadell & Sánchez, 2010).

3. Evaluación de resultados y valoración del impacto:

• Se realizó una comparación de los indicadores de rendimiento antes y después de la implementación de Lean Manufacturing, midiendo reducciones en los tiempos de producción, niveles de desperdicio y satisfacción del cliente (Ohno, 1988).

• Encuestas a empleados para medir su percepción sobre la efectividad de las mejoras realizadas (Tejada, 2011).

INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Los siguientes datos fueron recolectados usando las técnicas e instrumentos:

• Observación: Registro de los tiempos de ciclo, movimientos en la línea de producción y detección de desperdicios (Hernández-Sampieri et al., 2018).

• Entrevistas semiestructuradas: Realizadas con operadores y supervisores para identificar problemas durante el proceso de producción (Rajadell & Sánchez, 2010).

• Análisis documental: Evaluación de registros de producción e informes de calidad antes y después de Lean Manufacturing (Womack & Jones, 2003).

• Pretrabajo y encuesta: Administrada al personal para determinar su percepción sobre la eficiencia del proceso antes de la implementación (Tejada, 2011).

ANÁLISIS DE DATOS

Los datos se analizan cuantitativamente utilizando estadísticas descriptivas, previamente descritas de tendencia central, y se realizó una dispersión para analizar la variabilidad en los tiempos de producción antes y después de la implementación de Lean Manufacturing y una medida de reducción de desperdicios.
(Hernández-Sampieri et al., 2018). Las entrevistas y observaciones (datos cualitativos) se codificaron utilizando un esquema temático que ayudó a establecer los patrones recurrentes en los problemas y también en la aceptación de cambios en la empresa (Rajadell & Sánchez, 2010).

IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING

Previo a la implementación de Lean Manufacturing en la empresa del sector metalmecánico se realizó una tabla de análisis de las herramientas a implementar durante este proceso de mejora, con el objetivo de mejorar los procesos operativos, disminuir desperdicios y mejorar la satisfacción del cliente (Womack & Jones, 2003; Socconini, 2019).

1. Identificación de herramientas productivas.

Mediante la matriz de herramientas mostrada en la tabla I, se identificaron las herramientas a implementar, las cuales permitieron mejorar el proceso productivo de la empresa.

TABLA I. Matriz de análisis de herramientas

FASE	HERRAMIENTA	RESULTADOS	PROPUESTA
Diagnostico	Diagrama de flujo	Cuando no se cuenta con materias primas el Lead time incrementa, si no se cumple con los parámetros de calidad se presentan los mayores reprocesos.	Adecuación puestos de trabajo
	Takt Time	Ajustar el proceso	Ajuste de VSM
	Análisis de capacidad	Se debe ajustar el proceso para entregar al cliente el producto en 5 días	
	VSM	Se identifican los procesos con mayor presencia de desperdicios	
Análisis	8D	Se describe el problema, se analizan las causas, se realizan las acciones correctivas, se controlan, se previene la recurrencia del problema y se reconocen los esfuerzos del equipo	• 5S • Poka Yokes • Capacitación

Fuente: Elaboración propia

Con la colaboración de un equipo multidisciplinario de 5 integrantes, se desarrolló la metodología de las 8D (8 Disciplinas), llevándose a cabo hasta la D2 para identificar la causa raíz del problema, teniendo como líder al gerente de planta, ya que tiene la habilidad y conocimiento en la resolución de problemas.

2. D1. Conformación del equipo de trabajo.

En la tabla 2 se muestra la conformación del equipo de trabajo, éste fue integrado por el gerente de planta, super$visor, operadores e ingeniero de procesos.

TABLA 2. D-1 Conformación de equipo de trabajo

D1 Equipo	1	**Tema:**	Problema: Aumento del 20% en los reclamos del cliente		
		Líder:	Juan		
		Equipo:	Manuel	Jesús	Ignacio
		Fecha de inicio:	2022	Línea:	Producci ón
		Fecha de cierre:	2023		

Fuente: Elaboración propia

Una vez desarrollada la primera D, se realizó la descripción del problema (D2), donde se recopilan los datos de los implicados en el problema, con el fin de generar una descripción más clara de la problemática.

3. D2: Descripción del problema

En esta etapa se utilizó la herramienta de los 5 porqué para evidenciar el problema, siendo éste la eficiencia de la mejora continua de la empresa, como se visualiza en la tabla 3.

TABLA 3. D-2 Descripción del Problema

D2 Descricion del problema	**¿Cuál es el problema**	**¿Por qué es el problema?**	**¿Quién detecto el poblema?**
	Problema: Aumento del 20% en las quejasy reclamos del 2022	Perdida de posibles proyectos	Gerente de operaciones
	¿Cuándo fue detectado el problema?	**¿Cómo fue detectado el problema?**	**¿Cómo fue detectado el problema?**
	Inicios del 2022	Analisis de datos historicos	Es la eficiencia de la mejora continua de la empresa

Fuente: Elaboración propia

4. VSM Actual.

Se realizó el mapeo actual con el objetivo de comprender e identificar el flujo del proceso, así como también las operaciones que no agregan valor al producto, con un Lead time de 7 días, lo que indica que sólo 5 de ellos agregan valor al producto y los otros 2 no tienen valor agregado.
Ver figura 1.

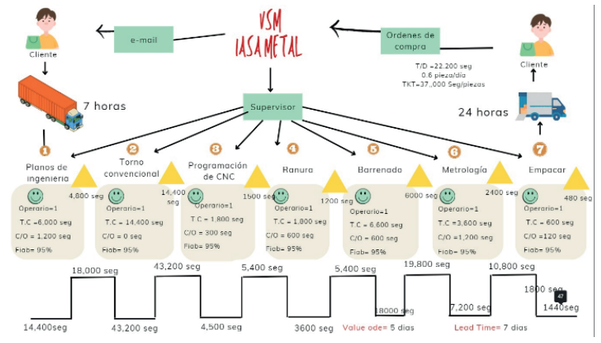


Fig. 1. VSM Actual Fuente: Elaboración propia

Partiendo del VSM actual de la empresa se realizó un diagnóstico de los procesos que intervienen en la fabricación de piezas que no agregan valor al producto y con el apoyo del diagrama de flujo del proceso se tomaron decisiones e identificaron actividades a realizar. En el diagrama de proceso de la empresa se identificaron 2 áreas de oportunidad. Se muestra en la figura 2

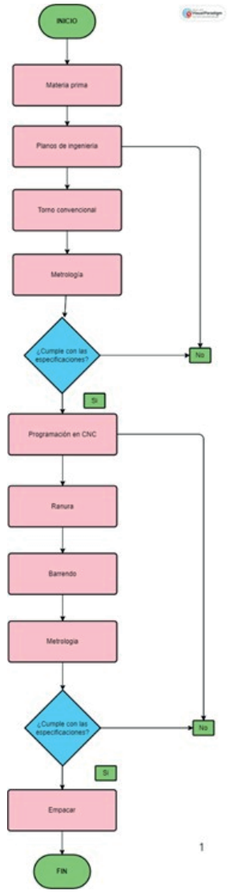


Fig. 2. Diagrama de Flujo. Fuente: Elaboración propia

5. Takt Time por pieza
Se procedió a realizar el cálculo del Takt Time y se observó que tiene un tiempo de fabricación por pieza de 37,000 segundos, el cual es muy alto, por lo que se consideró como un área de oportunidad. Ver tabla 4

TABLA 4 Takt Time

Tiempo disponible por día	480	Minutos
Descanso por hora	80	Minutos
Comida	30	Minutos
Demanda	3	Piezas
Tackt time	Tiempo de producción disponible/ cantidad diaria requerida	
Tackt time	22,200	Segundos/ piezas
Tackt time	37,000	Segundos

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los requerimientos del cliente. 8D Fase 3, 4 y 5. Posterior al desarrollo de las dos primeras D, se plantea una solución temporal para mitigar los impactos generados a los clientes.

6. D3. Implementación de solución temporal.

En la tabla 5, Se muestra la solución temporal planteada por el equipo de trabajo.

D3 Implementar solución temporal
Realizar los análisis de los PQRS y tomar la decisión de hacer una reposición del producto o una negociación de entrega por una próxima vez.

Fuente: Elaboración propia

7. D4. Lluvia de ideas y diagrama causa efecto

En la cuarta D, se llevó a cabo una lluvia de ideas con todo el equipo de trabajo, partiendo del problema y considerando las 6 M, tomando como referencia la SOD (Severidad, ocurrencia y detección) de la posible causa para posteriormente considerar las 3 más relevantes y evaluarlas con la técnica de los 5 porqués. Se ilustra en la figura 3.

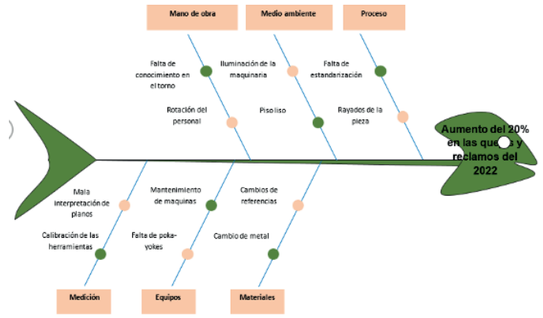


Fig. 3. Diagrama Causa Efecto Fuente: Elaboración propia

8. Técnica de los 5 porques

Se realiza los 5 porqués para identificar las causas que generan mayor impacto en la empresa.

TABLA 6. Implementación de Acciones Contingentes

Posibles causas	V	¿Por qué?	V	¿Por qué?	V
Falta de estandarización en el torno	o	Se hace el proceso de diferentes maneras, según el operario	o	Por qué no se cuenta con un instructivo	o
Desorden en máquinas y herramientas	o	Por falta de implementación de 5s	o	Por desconocimiento de la metodología	o
Calibración de herramientas (vernier)	o	Por falta de experticia en instrumentos de medición	o	Por capacitación	o
Falta de Poka Yokes	o	Por mejoramiento de maquinaria	o	Por poco tiempo de apertura de la empresa	
Iluminación de máquinas CNC	o	Falta de adecuaciones locativas	o		
Rotación de personal		Por factores externos	o		
Pisos lisos		Por refrigerante en el piso	o	Por mejoramiento de maquinaria	o

Fuente: Elaboración propia

9. D5. Plan de acción

Partiendo del diagnóstico y el análisis del proceso de fabricación de piezas, se desarrolla la quinta D que consiste en realizar soluciones a la causa raíz del problema.
Observar la siguiente tabla.

TABLA 7. Plan de Acción

D5 Desarrollo de soluciones permanentes				
Acciones	**Correctivo/ Preventivo**	**Responsable**	**Estandarización**	**Verificación**
Realizar propuesta de VSM	Correctiva y preventiva	Juan	Ok	100%
Creación de un instructivo para el proceso del torno	Correctiva	Manuel	Ok	100%
Propuesta de 5s	Correctiva y preventiva	Ignacio	Ok	100%
Hacer capacitación de instrumentos de medición	Correctiva y preventiva	Juan	Ok	100%
Realizar propuestas de adecuación de trabajo	Correctiva y preventiva	Ignacio	Ok	100%

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

La implementación de las herramientas Lean Manufacturing permitieron mejorar la eficiencia de la empresa, la reducción de defectos y se logró hacer las entregas a tiempo.

Se disminuyó el tiempo ciclo y a través de la identificación de procesos que no agregaban valor se logró disminuirlos consistentemente. Se mejoró el Takt Time ya que se obtuvo una reducción del 20%.

El VSM actual y el VSM futuro mostraron una reducción del 25% en los tiempos muertos del proceso, logrando un mayor flujo, y disminución de WIP (inventario en proceso) (Womack & Jones, 2003).

Con la aplicación de herramientas Lean, se identificaron y eliminaron actividades que no proporcionaban valor agregado.
Con la implementación de las 5S, se mejoró el orden y la limpieza de las áreas de trabajo, reduciendo el tiempo de ocio y facilitando el trabajo con las herramientas de mano debidamente identificadas, disminuyendo los tiempos de búsqueda en un 30% brindando al trabajador la seguridad e integridad debida. (Hirano, 1996).

El scrap tuvo un impacto positivo disminuyendo la cantidad de reproceso de las piezas en un 15%, aumentando la productividad y mejorando la calidad del producto (Socconini, 2019).

10. VSM propuesto

En la tabla 8 se detalla el VSM propuesto para lo cual se utilizaron los siguientes datos: 1 turno de 8 horas con 30 minutos de comida, con una demanda semanal de 3 piezas y demanda mensual de 12 piezas.

TABLA 8. VSM Propuesto

Tiempo disponible por día	8 horas – 30 minutos de comida= 450 minutos. 450 minutos x 60 segundos= 27,000 segundos.
Demanda Diaria	12 piezas / 20 días hábiles= 0.6 piezas diarias.
Tiempo tackt	27,000 segundos / 0.6 piezas=45,000 segundos (12.5 horas) por pieza.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las soluciones planteadas anteriormente, el propósito fue la reducción del Lead time del cliente, por tal motivo se realiza el VSM propuesto, que tiene las siguientes mejoras: Un lead time del proceso de 7 días a 5 días, entrenar al operador y convertirlo en experto en el manejo del torno convencional para evitar retrabajos y fallas de calidad. Para lograr esta reestructuración se utilizaron herramientas Lean Manufacturing que contribuyeron a la disminución de desperdicios en el proceso.

En la figura 4 se observan las mejoras mencionadas con anterioridad.



Fig. 4. VSM Propuesto Fuente: Elaboración propio

11. Manual de operaciones y 5"s"

Se realizó un instructivo o manual del proceso que permitiera establecer el proceso de cada actividad del torno.

12. AMEF análisis de modo y efecto de falla.

Con el fin de prevenir las recurrencias de los problemas identificados y soluciones de las propuestas se desarrolló el AMEF, con el fin de colocar las posibles causas de falla en la implementación de las propuestas anteriormente citadas.



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN.

En esta investigación, se confirma que la implementación de Lean Manufacturing conduce a la mejora de procesos, mayor productividad, mayor eficiencia, menor desperdicio y un aumento en la satisfacción del cliente en la industria metalmecánica. Estos resultados son consistentes con los resultados de estudios previos sobre manufactura esbelta que han probado su efectividad en la optimización de la Productividad Total de los Factores en segmentos de fabricación (Womack & Jones, 2003; Ohno, 1988; Socconini, 2019).

Comparación con otros estudios.

Se ha demostrado que Lean Manufacturing reduce los tiempos de producción y los defectos a través de varios estudios. Hernández y Vizán (2013) mostraron que el uso de VSM y Takt Time en empresas manufactureras ayudó a sincronizar la producción con la demanda, logrando reducir los tiempos de ciclo hasta un 30%, similar a los datos obtenidos en esta investigación (reducción del 25% en los tiempos de espera y 20% en tiempos de fabricación).

Además, la aplicación de 5S y 8D en la investigación actual logró una reducción del 15% en los defectos, cuyo valor fue igual al presentado por Rajadell y Sánchez (2010), mostrando que la estandarización de procesos y el control visual reducen los errores de fabricación. La identificación de acciones innecesarias es clave para la mejora continua y la calidad incorporada y, como tal, apoya la gestión de la cadena de valor.

Impacto en la reducción de desperdicios y defectos.

La reducción de residuos operativos es uno de los mayores beneficios reconocidos con la introducción de la Manufactura Esbelta. Los residuos asociados a la fabricación fueron definidos por Ohno (1988) como siete clases: sobreproducción, espera, sobretransporte, sobreinventario, defectos, sobrecarga de movimiento y sobreprocesamiento.

En este estudio, se evidenció una disminución del 30% en los tiempos muertos cuando se aplicó 5S, y una reducción del 40% en los incidentes de defectos con la ayuda de la metodología 8D. Estos resultados están en línea con los hallazgos de Socconini (2019), donde, tras la aplicación de herramientas Lean, las empresas manufactureras reportaron mejoras significativas en su desempeño.

Eficiencia y productividad operativa

La división del trabajo se realizó de manera no lineal y el flujo de producción se alineó, lo que llevó a un aumento de la productividad operativa del 18%. Estos hallazgos son reforzados por Tejada (2011), mostrando que la introducción de la Manufactura Esbelta eleva la productividad en un 15% a 25% según el segmento de la industria.

Tal aumento de productividad se hizo visible en la disminución del tiempo de entrega de 7 a 5 días, y mejoró la confiabilidad en la relación con el cliente, lo que aumenta la satisfacción del cliente y la ventaja competitiva de una empresa en el ámbito global.

Relevancia de la satisfacción del cliente y la cultura organizacional.

En la percepción de los clientes y el personal operativo sobre la manufactura esbelta, se refleja no solo en el rendimiento de producción y operación. La disminución del 20% en el número total de quejas sugiere que las mejoras en la calidad y el tiempo de entrega fueron bien valoradas por los clientes. Otro hallazgo que no se puede pasar por alto es que el 85% de los operadores informó que estaban mejor organizados y su trabajo era más fácil, resultado alineado con estudios previos que muestran que las implementaciones efectivas de manufactura esbelta están correlacionadas con el compromiso y motivación de los empleados (Hirano, 1996; Rajadell & Sánchez, 2010).

Limitaciones del estudio.

Existen advertencias en este estudio, a pesar de los resultados positivos.

Primero, la implementación se centró en una sola empresa, y los hallazgos pueden no ser generalizables a otros entornos de fabricación.

Segundo, el período de evaluación posterior a la intervención fue relativamente corto, y si los resultados positivos observados de inmediato se mantendrán a largo plazo es incierto sin análisis longitudinales adicionales.

CONCLUSIONES

Mediante un VSM actual de la empresa, se identificaron las variables que no agregaban valor al proceso, por lo que de manera visual se logró identificar el proceso con mayor deficiencia y de esta manera se procedió a trabajar en el área más débil de la compañía, por lo que se aplicaron diferentes herramientas como VSM, 5"s", 8D y Takt Time.

Con esta implementación se logró reducir los desperdicios, disminuir tiempos de espera, scrap y aumentar la eficacia de la producción, lo que favoreció las entregas a tiempo y la satisfacción del cliente. La reducción del lead time de 7 a 5 días fue un gran logro, asegurando mayor agilidad en el proceso productivo. Por su parte la metodología 5"s" optimizó el orden y la limpieza en el área de trabajo, reduciendo un 30% el tiempo de búsqueda de herramientas y mejorando la seguridad laboral. Asimismo, la metodología 8D permitió identificar y corregir problemas de producción disminuyendo el scrap en 15% y mejorando la caldiad del producto.

La manufactura esbelta no solo ha optimizado los procesos en la empresa metalmecánica, ademas representa una ventaja competitiva para las empresas que buscan incrementar su productividad y agregar valor al cliente. La sostenibilidad de estos logros dependerá del seguimiento continuo a los indicadores de desempeño y del compromiso con la mejora continua.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere que futuros estudios incluyan otras empresas del segmento metalmecánico o de fabricación en general, con el objetivo de verificar la aplicabilidad de los resultados en otros entornos de producción.

Asimismo, sería útil desarrollar estudios de seguimiento a largo plazo para evaluar la sostenibilidad de las mejoras implementadas y determinar el impacto de Lean Manufacturing en indicadores financieros, como la rentabilidad y la reducción de costos operativos.

El estudio estaba limitado ya que no tomó en cuenta factores externos que impactan la eficiencia operativa, como cambios en la demanda del mercado, disponibilidad de suministros o disponibilidad de mano de obra. Esto establece el escenario para exploraciones futuras, alejando la atención de los principios de la fabricación esbelta hacia el contexto en el que se aplica.

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a Salvador Alejandro Alonso Mireles, Juan Carlos de la Serna Villavicencio, Juana Candelaria Durón Esparza, Dulce María López Hernández y Edgar Emmanuel Padilla Santoyo, ya que con su apoyo, compromiso y dedicación se logró el desarrollo e implementación de las herramientas de Lean Manufacturing. El apoyo en la recopilación de datos y análisis favoreció a la identificación de procesos con deficiencias. Gracias a la empresa por su confianza, así como también a todos los operarios y supervisores por su aporte, apoyo, disposición y apertura en cuanto a la mejora continua.

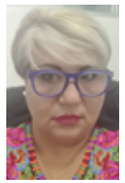
REFERENCIAS

- [1] Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. International Journal of Production Economics, 107(1), 223-236. https://-doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009
- [2] Andreu, J. (2021). Gestión Lean: Estrategias para la eficiencia y productividad. Editorial Alfaomega.
- [3] Antonucci, Y. (2020). The five principles of lean thinking. Lean Journal of Management, 5(2), 45-60.
- [4] Arrieta, H., & Botero, C. (2010). Implementación de herramientas Lean en manufactura. Revista de Ingeniería Industrial, 22(3), 87-104.
- [5] Buzón-Quijada, M. (2019). Lean Manufacturing: Orígenes y aplicación en la industria moderna. McGraw-Hill.
- [6] Carrillo-Estrella, E., & López-Vintimilla, R. (2012). La importancia de Lean Manufacturing en la reducción de desperdicios. Revista de Producción y Gestión, 10(1), 112-125.
- [7] Dora, M., Kumar, M., & Gellynck, X. (2015). Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs. Production Planning & Control, 26(11), 858-870. https://-doi.org/10.1080/09537287.2014.981265
- [8] Felizzola-Jiménez, H., & Luna-Amaya, C. (2014). Aplicación de Lean Manufacturing en empresas metalmecánicas. Revista de Ingeniería y Tecnología, 15(2), 40-52.
- [9] García, D., Martínez, J., & Aragón, R. (2009). Lean Manufacturing en la industria de alimentos. Journal of Food Engineering, 5(3), 189-204.
- [10] Hernández, R., & Vizán, A. (2013). Aplicación de Lean Manufacturing en la mejora continua de procesos productivos. Revista de Ingeniería Industrial, 8(1), 75-92.
- [11] Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.
- [12] Hirano, H. (1996). 5S for Operators: 5 Pillars of the Visual Workplace. Productivity Press.
- [13] Ibarra-Balderas, L., & Ballesteros-Medina, M. (2010). Manufactura esbelta: Un análisis comparativo. Revista de Ingeniería y Tecnología, 12(3), 105-118.
- [14] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Clasificación industrial de América del Norte: Estadísticas manufactureras. INEGI.
- [15] Leanlandia. (2018). Lean Manufacturing: Guía práctica para la implementación exitosa. Editorial Técnica.

• [16] Mendoza, L. (2012). Impacto de Lean Manufacturing en pequeñas y medianas empresas. Revista de Negocios y Tecnología, 4(1), 9-20.
• [17] Ohno, T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press.
• [18] Orozco-Acosta, M., & Pérez-Gómez, J. (2020). Manufactura esbelta en la industria de alimentos: Una revisión sistemática. Journal of Food Production and Management, 7(2), 18-27.
• [19] Palacios-Guillem, A. (2021). Herramientas Lean y su impacto en la industria manufacturera. Revista de Innovación y Producción, 9(3), 33-50.
• [20] Pérez, M. (2016). Estandarización de procesos y mejora continua. Revista de Ingeniería de Producción, 14(2), 120-134.
• [21] Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). Lean Manufacturing: La evidencia científica detrás de la manufactura esbelta. Editorial Pearson.
• [22] Ruiz de Arbulo-López, P. (2007). Beneficios de Lean Manufacturing en la reducción de costos y tiempos de producción. Revista de Ingeniería Industrial, 6(4), 25-33.
• [23] Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing paso a paso: Estrategias para la mejora continua. McGraw-Hill.
• [24] Tejada, P. (2011). Implementación de Lean Manufacturing en la industria automotriz. Revista de Ingeniería de Producción, 15(1), 280-295.
• [25] Varela-Loyola, C., Torres-Ramos, C., & Jiménez-Salazar, H. (2014). Aplicación de 5S en la industria manufacturera. Revista de Ingeniería y Gestión, 10(2), 85-98.
• [26] Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (2ª ed.). Free Press.



Claudia Alonso Lara, docente del TecNM Campus Aguascalientes del área de Ingeniería Industrial con experiencia docente en asignaturas: como Administración de Proyectos, Metodología de la investigación, Tópicos de Calidad e Ingeniería de Sistemas. Experienca profesional en Gestión de Proyectos e Ingeniería de Procesos.



Lorena Lorena Carreón Calvillo docente del TecNM Campus Instituto Tecnológico de Aguascalientes del departamento de Ingeniería Industrial con experiencia en Sistema de Gestión de Calidad, Ingeniería de procesos y Mejora Continua (Kaizen, VSM) en el sector automotriz implementando Lean



José Armando Rodríguez Cerros Profesor Investigador del TecNM Campus Aguascalientes del departamento de Ingeniería Industrial con experiencia profesional en gestión logística, ISO, Six Sigma y ERP. Experiencia en líenas de investigación de cadena de suministro, gestión de proveedores y caldiad dirigidos al desarrollo de PyMes.



María del Carmen Murillo, docente del TecNM Campus Aguascalientes del área de Ingeniería Industrial con experiencia en Procesos de Manufactura y calidad en el sector automotriz implementando proyectos de mejora continua (Seis Sigma. Lean Manufacturing, VRK, Kaizen y Core Tools), enfocados a la calidad del producto, eficiencia operativa y reducción de costos.



Marcela Rodríguez González docente del TecNM Campus Instituto Tecnológico de Aguascalientes del departamento de Ingeniería Industrial con experiencia en Investigación, Ingeniería y Supervisión de Procesos de Manufactura en el sector automotriz implementando proyectos Lean Seis Sigma con el objetivo de aumentara productividad de las empresas.

Diseño y Fabricación de un Sistema de Cultivo basado en Técnicas de Agricultura de Precisión

Vázquez Rivera José Álvaro / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí Capital
Coreño Torres Jorge Omar / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí Capital
Juárez González Erick Alejandro / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí Capital
Horacio Gutiérrez Amador / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí

RESUMEN

En el presente ensayo se documenta la realización de un proyecto de desarrollo tecnológico que tiene como objetivo principal Diseñar y construir un sistema de cultivo basado en la estrategia de gestión conocida como agricultura de precisión la cual se basa en el uso de tecnologías con el fin de gestionar los datos recopilados del proyecto, integrando elementos como, cabinas de cultivo, sistemas de iluminación, sensores, actuadores, controladores lógicos, ordenadores, software, bases de datos, y tecnología de internet de las cosas, para recopilar analizar y aplicar información para la toma de decisiones en las etapas de la producción.

Se modeló la cabina en software de dibujo 3d, se construyó la estructura, se intalaron los recubrimientos, las lámparas, ventilador, bomba, depósito de agua y sensores. Se diseñó el programa de PLC, se diseñó, construyó e instaló el tablero de control. Se diseñó e instaló el sistema de adquisición y manejo de datos. Por último se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema en general. El resultado es una cabina automatizada capaz de brindar las condiciones específicas para diferentes cultivos, así como registrar en una base de datos los registros de los sensores.

ABSTRACT

This essay documents the implementation of a technological development project whose main objective is to design and build a cultivation system based on the management strategy known as precision agriculture. This strategy relies on the use of technologies to manage the data collected throughout the project, integrating elements such as grow chambers, lighting systems, sensors, actuators, logic controllers, computers, software, databases, and Internet of Things (IoT) technology to collect, analyze, and apply information for decision-making in the various stages of production. The grow chamber was modeled using 3D design software, the structure was built, and coverings, lamps, a fan, pump, water tank, and sensors were installed. The PLC program was designed, and the control panel was built and installed. A data acquisition and management system was also designed and installed. Finally, functional tests were conducted on the entire system. The result is an automated grow chamber capable of providing specific conditions for various crops, as well as recording sensor data in a database.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Cultivo en interior, Cabina de cultivo, Sensores, IoT, Base de datos.
Keywords: Precision agriculture, Indoor cultivation, Cultivation chamber, Sensors, IoT, Database.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se realiza con la finalidad de desarrollar y documentar el conocimiento para ofrecer una alternativa de modernización para sistemas de cultivo en interior tradicionales, que necesitan aplicar tecnologías avanzadas para la producción agrícola como sensores de diversos tipos, control autónomo de luces, bombas, o ventiladores, el uso de big data y análisis de datos, controlando la humedad tanto en la tierra como en el ambiente asi como el tiempo de encendido de las lámparas y bombas del sistema. Ayudando a eficientizar y maximizar la producción de un cultivo, por medio de la automatización y el análisis de datos. Optimizando el uso de los recursos como el agua y los fertilizantes. Así mismo, disponiendo de una base de datos con registros en la nube que permiten monitorear el desarrollo del huerto. "La agricultura de precisión se refiere a un enfoque integrado que utiliza tecnologías avanzadas para recopilar y analizar datos de los campos agrícolas, permitiendo a los agricultores tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia de los recursos, reducir los impactos ambientales y aumentar el rendimiento de los cultivos" (Zhang, Wang, & Zhang, 2018, p. 202).

La agricultura de precisión surge debido a que existe una demanda creciente de soluciones eficientes a la necesidad de producir alimentos. "En la década de 1980 se comenzaron a utilizar los sistemas de posicionamiento global y sensores en cultivos al aire libre para mejorar el uso de recursos como el agua, fertilizantes y pesticidas." (Martínez, Arnó, 2022).
El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar un sistema de cultivo de interior, basado en la estrategia de gestión conocida como agricultura de precisión, integrando elementos como, cabinas de cultivo, sistemas de iluminación, sensores, actuadores, controladores lógicos, ordenadores, software, bases de datos y tecnología de internet de las cosas, para recopilar, analizar y aplicar información específica para la toma de decisiones en las etapas de una producción.

Entre los objetivos específicos se pueden mencionar los siguientes; Diseñar y construir la cabina de cultivo, seleccionar e instalar luces, sensores y forros aislantes, programar el controlador lógico (PLC), configurar de la comunicación entre la base de datos y el PLC, recolectar y almacenar los datos obtenidos de los sensores, publicar en la nube los datos obtenidos del sistema de cultivo, analizar de datos para la toma de decisiones.

DISEÑO DE LA CABINA

La primera etapa del proyecto es diseñar la cabina una parte fundamental del invernadero, por lo cual se propuso como medidas, de altura 1.9 m, como ancho 2 m, y como profundidad 0.8 m, en la ilustración 1 se puede observar el plano realizado en Solid Works.

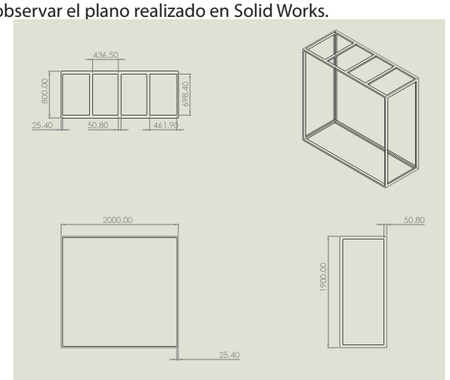


Ilustración 1. plano estructural de la cabina para invernadero en interior.

Mediante el modelado de la cabina en tamaño real en el software SolidWorks se confirma que es espacio suficiente para albergar 12 contenedores de 5 galones como se muestra en la ilustración 2, lo que permite maximizar el uso del espacio interior.



Ilustración 2. Modelado final con medidas estándar en los componentes utilizados.

Selección de Materiales para la Manufactura de la Cabina.

Se seleccionó como material estructural la madera por su accesibilidad y fácil manufactura, como medidas de cada larguero se establecieron 2.54 cm x 5.08 cm (1 in x 2 in) es una medida estándar en este tipo de materiales como se puede ver en la ilustración 3.

Como método de sujeción de la estructura se seleccionaron tornillos



Ilustración 3 tabla de pino cepillado (medidas: 1 X 2 X 8)



Ilustración 4. tornillos Phillips 6 x 2 in

Phillips 6 x 2 in para madera como se puede ver en la ilustración 4. "La madera es el principal material sostenible estructural del cual dispone el arquitecto para la concreción de sus proyectos, ya que posee cualidades que le permiten cumplir sus funciones arquitectónicas y una vez finalizada su vida útil se degrada sin dejar huella ecológica en el medio ambiente." María Gabriela Culasso, (2019), en La versatilidad de la madera.

Como forro reflejante se optó por tela aluminizada (ilustración 5), ya que es un buen material térmico, altamente duradero, versátil, fácil de moldear y se adapta a muchas superficies, ofreciendo una solución práctica y económica para el aislamiento de calor y frío, además que su parte reflectiva ayuda a una distribución uniforme de la luz de las lámparas.



Ilustración 5. tela aluminizada de uso agrícola.

Selección de componentes electrónicos.

El proyecto está basado en en el control de las condiciones ambientales específicas para cualquier tipo de cultivo. Se analizaron diferentes tipos de sensores, ventiladores, lámparas y bombas de riego. La iluminación de la cabina la suministran dos lámparas "espectro completo" de 2000W, que cuentan con 256 Leds (ilustración 6), las cuales tienen la cualidad de emitir la luz y el color necesario para el correcto desarrollo desde las plántulas hasta la etapa de cosecha de la mayoría de las hortalizas.

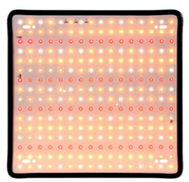


Ilustración 6. Lámpara Led de espectro completo para cultivo de plantas.

"Las lámparas LED son más eficientes porque pueden ser diseñadas para emitir una específica longitud de onda usando una fracción de la energía necesaria para hacer funcionar las otras opciones de iluminación." Jiménez García, J. A., & Herrera Irra, A. (2021). En Sistema de cultivo lucrativo en pro del medio ambiente aplicado a un invernadero.

Como sensor de composición de suelo se optó por un "SOIL-MB-NPKPHCTH-S" (ilustración 7) un dispositivo con salida opcional de 4-20ma 0-5V compatible con RS485, este sensor tiene la capacidad de monitorear los valores de Temperatura, humedad, conductividad, el PH del agua, la concentración de Nitrógeno, Fosforo y de Potasio en el sustrato, lo que nos ofrece un amplio control de cada variable que pueda afectar el crecimiento de las plantas.



Ilustración 7. Sensor EC PH NPK de humedad y temperatura del suelo con salida RS485.

Como Sensor de luz Solar, se seleccionó uno capaz de captar la radiación fotosintética activa para agricultura, con medidor cuántico de luz radiante y piranómetro de radiación de 0-5V, conectado mediante RS485 para monitorear el espectro de luz, debido a que este sensor capta la radiación en el rango espectral de 400 ~ 700nm y que sirve de ayuda al regular la intensidad de las lámparas como se ve en la ilustración 8.



Ilustración 8 Sensor de luz Solar de radiación activa fotosintética para agricultura, medidor cuántico de luz radiante.

El controlador lógico programable (PLC) utilizado es el FX3U LE3U 24MT 6AD2DA RTC, con 14 entradas, con reloj en tiempo real y compatible con RS485 como se puede observar en la ilustración 9.

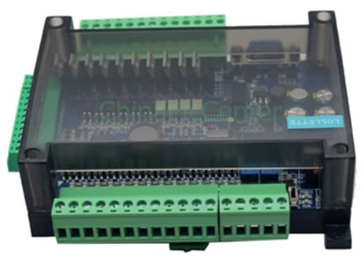


Ilustración 9. PLC modelo: FX3U LE3U 24MT 6AD2DA RTC

Manufactura de la Cabina

El primer paso fue el de construir los pilares con medida de 1.90 mts asi como los cargueros superiores e inferiores con medidas de 0.8 mts, para posteriormente unirlos por cada extremo formando una estructura rectangular, después con uso de un taladro, perforar y atornillar cada esquina de los pilares como se puede ver en la ilustración 10.



Ilustración 10. Estructura lateral de la cabina

Como siguiente operación se cortan los largueros ubicados a lo largo de la estructura, asi uniendo las estructuras ya formadas, de la misma manera con ayuda de pijas, obteniendo ya una estructura. (ilustración 11).



Ilustración 11. Estructura con largueros de madera

Utilizando una engrapadora para madera y grapas de la medida 8mm (5/16”), se procede a revestir las paredes, techo y suelo de la cabina con tela aluminizada agrícola como se puede ver en la ilustración 12, buscando como prioridad aislar el interior de la misma y teniendo en cuenta la cualidad reflectiva de esta tela.



Ilustración 12. revestimiento de la cabina con tela aluminizada de uso agrícola.

Como siguiente procedimiento se desinfectan los muebles utilizados dentro de la cabina y se esteriliza el interior de esta, una vez desinfectada el área dentro de la cabina se procede a sujetar las lámparas, posicionar los sensores como se puede ver en la ilustración 13, y asi ubicar las macetas dentro del espacio de trabajo con la precaución de que todas las macetas puedan tener acceso a la luz y un fácil acceso para un buen monitoreo.



Ilustración 13. acondicionamiento de sensores y lámparas dentro de la cabina.

Programación del Controlador Lógico

Como software de programación se utilizó Gxworks2 que es capaz de manejar la plataforma FX3U, los sensores se comunicaron por Interconexión de sistema abierto (RS485), ya que al emplear voltajes diferenciales reducen los ruidos eléctricos que aparecen en las líneas de transmisión de datos (Ilustración 14).

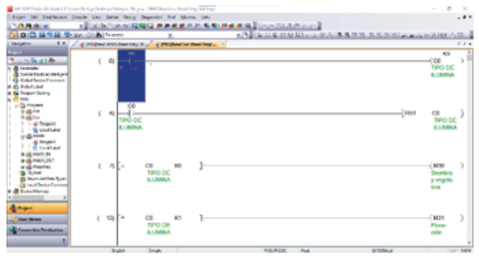


Ilustración 14 Representación del diagrama de programación de PLC en Software Gxworks2

Como software de comunicación entre el controlador lógico y la base de datos, se utilizó KepserverEX (OPC) el cual es una herramienta de comunicación que actúa como, servidor el cual proporciona datos de la misma manera actúa como cliente leyendo y manipulando los datos para establecer una comunicación sin restricciones o límites establecidos por los fabricantes (Ilustración 15).

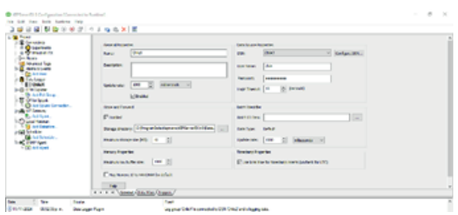


Ilustración 15 Software KepserverEX

Como sistema de gestión de datos se optó por MySQL que permite almacenar de forma eficiente y sencilla los datos obtenidos del cultivo llevado de la mano de un software de administración de datos llamado HeidiSQL la cual permite explorar, editar, crear vistas, y crear nuevos registros de futuros sensores (Ilustración 16).

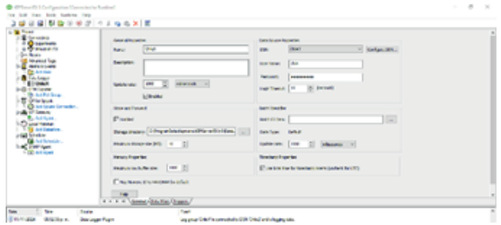


Ilustración 16 base de datos en HeidiSQL

RESULTADOS

El principal resultado del proyecto fue una cabina de cultivo funcional, diseñada y construida bajo el enfoque de la agricultura de precisión, equipada con sensores, actuadores, controladores y dispositivos de obtención, almacenamiento y análisis de datos ambientales necesarios para controlar las condiciones internas de la cabina de acuerdo a las necesidades del cultivo como se observa en la ilustración 17.



Ilustración 17. Gabinete que contine el controlador de la cabina

La cabina de cultivo fue construida con materiales adecuados para las necesidades de un ambiente controlado. La estructura cuenta con paneles aislantes que mantienen condiciones térmicas estables y minimizan la pérdida de humedad y reflejan la luz de las lámparas. Su tamaño fue optimizado para adaptarse a un entorno urbano.

Se incorporó un conjunto de sensores de temperatura, humedad relativa, luz, y dióxido de carbono (CO_2), entre otros, que permiten un monitoreo continuo del ambiente interno. Un sensor de luz el cual mide la intensidad lumínica y detecta la necesidad de ajustes en el tiempo de encendido y apagado del sistema de iluminación instalado.

Se integró un sistema de iluminación LED que asegura que la cabina reciba la cantidad adecuada de luz, optimizando el uso de energía y proporcionando condiciones de crecimiento ideales (ilustración 18).



Ilustración 18 Iluminación led de 2000W en el interior de la cabina.

Los datos obtenidos de los sensores se almacenan en una base de datos, accesible a través de una aplicación web, permitiendo el análisis en tiempo real y la visualización histórica de las condiciones de la cabina (ilustración 19).

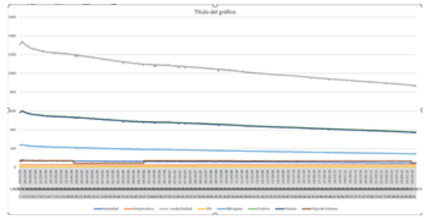


Ilustración 19 grafica de registros de los sensores cada 20 segundos durante 1 día.

Discusión

Se recomienda realizar una investigación continua sobre los nuevos dispositivos y tecnologías disponibles en el mercado, tales como sensores avanzados, sistemas de iluminación, controladores lógicos programables (PLCs), bombas, ventiladores, materiales aislantes, así como herramientas de big data e Internet de las Cosas (IoT). La incorporación de estos elementos puede contribuir significativamente a modernizar, optimizar costos y mejorar la eficiencia del proyecto en futuras versiones.

Conclusiones

Este proyecto logró con éxito el diseño y construcción de una cabina de cultivo basada en las técnicas de agricultura de precisión, integrando tecnologías clave como sensores, iluminación controlada, actuadores, controladores lógicos programables (PLC), y sistemas de adquisición y análisis de datos (ilustración 20). La cabina monitorea con precisión las condiciones de crecimiento de las plantas, como temperatura, humedad, pH, y niveles de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, y potasio) en el sustrato. Además, controla automáticamente el sistema de iluminación y riego, según los parámetros previamente configurados a través del PLC, y transmite toda la información recopilada a una base de datos, donde se presenta en una interfaz computarizada para análisis y toma de decisiones informadas.

Los beneficios principales de esta cabina incluyen un crecimiento optimizado de las plantas, ya que el sistema ajusta constantemente el entorno y la nutrición para ofrecer condiciones óptimas, favoreciendo un desarrollo más rápido y una mejor calidad del cultivo.

El sistema ofrece una cómoda solución al tedioso e impreciso monitoreo de variables indispensables como la humedad del sustrato de cada planta asi como los valores de nutrientes clave en las diferentes etapas de un cultivo.



Ilustración 20. Cabina de cultivo ya finalizada, totalmente funcional censando datos de los sensores.

El sistema de cultivo desarrollado es altamente replicable y adaptable a diversos entornos, como cultivos urbanos en áreas con espacio limitado y en zonas donde las condiciones climáticas dificultan el cultivo tradicional. También es aplicable en laboratorios de investigación que requieren condiciones controladas para estudiar el crecimiento de plantas bajo parámetros específicos. Además, el proyecto tiene potencial para escalarse a nivel industrial, lo que lo convierte en una herramienta versátil para distintos sectores agrícolas.

Este proyecto contribuye al conocimiento en agricultura de precisión al ofrecer una guía accesible y rentable para la construcción de sistemas de cultivo controlado, una alternativa económica a los sistemas comerciales del mercado. Esta cabina abre nuevas posibilidades para la agricultura sostenible y la investigación científica en entornos de cultivo controlado.

Bibliografía

Caughey-Espinoza, M., Miriam, D., Buitimea-Cantúa, G. V., Buitimea-Cantúa, N. E., Ayala-Astorga, G. I., & Ochoa-Meza, A. (2020). "Propiedades fisicoquímicas y rendimiento de frutos de chile chiltepín (Capsicum annuum var. glabriusculum Dunal) cultivados bajo diferentes condiciones de crecimiento." Idesia (Arica), 38(3), 77-86.

Zhang, N., Wang, M., & Zhang, Z. (2018). "Precision agriculture – A worldwide overview. Computers and Electronics in Agriculture", 151, 199-208. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.06.015

Martínez Casasnovas, J. A., Arnó Satorra, J., & Escolà i Agustí, A. (2022). "Sensores de conductividad eléctrica aparente para el análisis de la variabilidad del suelo en Agricultura de Precisión."

Culasso, M. G. (2019). "La madera como material estructural. Estructuras", Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universitat de Lleida, 2(3-4), 10-18.

Cabral, R. D. C., Vendruscolo, E. P., Martins, M. B., Zoz, T., Costa, E., & Silva, A. G. D. (2020). "Material reflectante en bancos de cultivo y paja de arroz sobre el sustrato en la producción de plántulas de papaya." Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(8), 1713-1723.

García, J. A. J., & Irra, A. H. (2021). "Sistema de cultivo lucrativo en pro del medio ambiente aplicado a un invernadero." Nextia, (3), 26-34.

Zamora Zavando, B. A. (2021). "Sistema semiautomático de asistencia para cultivos en huertos urbanos y periurbanos." Tesis de licenciatura, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de ciencias de la computación.

Saldaña Carpio, K. L. (2023). "Cultivos hidropónicos sostenibles en el Ecuador." Tesis de licenciatura, BABAHOYO: UTB.

Tortosa, A. F. (2024). "Uso de bioestimulantes para mejorar la calidad de hortalizas de hoja en cultivo bajo luz artificial." (Disertación doctoral, Universidad de Murcia).

Autores



Vázquez Rivera José Álvaro, Docente de la academia de ingeniería mecatrónica del ITSSLP, C.



Coreño Torres Jorge Omar, Docente de la academia de ingeniería mecatrónica del ITSSLP, C



Juárez González Erick Alejandro, Estudiante de la academia de ingeniería mecatrónica del ITSSLP, C.



Horacio Gutiérrez Amador, Docente de la academia de ingeniería mecánica del ITSSLP,C.

Estrategias de resiliencia empresarial implementadas por MIPYMES en México

Silvia Sánchez Aguilera / TECNM/ ITS de San Luis Potosí, Capital.
Laura Lucía Castañeda Santillán / TECNM/ ITS de San Luis Potosí, Capital.

ABSTRACT.

Mexican businesses are constantly facing difficult situation throughout their life cycle, MSMEs have greater difficulty to remain in the market in the face of changes in the environment, partly due to their size, financial situation, ability to adapt, and deficiency in technology and infrastructure assets, in contrast, these businesses are of major relevance to the country's economy, they represent a large part of the job generation and contribute highly to the GDP. This research work has the objective of identifying the main business resilience strategies implemented by MSMEs in Mexico. A type of documentary research and an analysis of the information found are used. The main resilience strategies found are: the ability to adapt, having healthy finances, the use of Information Technologies, Artificial Intelligence, sustainability, collaboration networks, and the culture of innovation.

Keywords: resilience, MSMEs, strategies.

RESUMEN

Las empresas mexicanas constantemente enfrentan situaciones difíciles a lo largo de su vida, las MiPymes presentan mayor dificultad para permanecer en el mercado ante cambios en el entorno, en parte por las dimensiones, situación financiera, capacidad de adaptación y deficiencia en tecnología e infraestructura, en contraste, estas empresas son de gran relevancia para la economía del país, representan gran parte de la generación de empleos y una alta contribución al PIB, por ello es necesario conocer e implementar estrategias que les permitan lograr resiliencia empresarial. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo identificar las principales estrategias de resiliencia empresarial implementadas por las MiPymes en México. Se emplea un tipo de investigación documental y un análisis de la información encontrada. Las principales estrategias de resiliencia empresarial identificadas son: la capacidad de adaptación, poseer finanzas sanas, el empleo de Tecnologías de la Información, la inteligencia artificial, la sostenibilidad, las redes de colaboración y la cultura de la innovación.

Palabras clave: Resiliencia empresarial, MiPymes, estrategias.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de la estructura económica en México, está soportada en las micro, pequeñas y medianas empresas, las cuales nacen para atender a una necesidad que exige la sociedad creando satisfactores a cambio de una retribución que compensará el riesgo, los esfuerzo e inversiones de los empresarios.

Las empresas mexicanas, diariamente se enfrentan a situaciones de inestabilidad económica y financiera lo cual en el proceso de toma de decisiones en contextos de crisis es muy complejo y orilla a tomar decisiones de riesgo muy alto, por lo anterior es indispensable que los empresarios cuenten con herramientas adecuadas para analizar información que impacta, hacer equipo, no solo con sus colaboradores sino también con clientes, proveedores e incluso con sus principales competidores para anticiparse y prepararse ante nuevas situaciones de crisis, para que en caso de que ocurrieran tratar de adaptarse y recuperarse ante las adversidades. Las organizaciones han utilizado diversas estrategias para sobreponerse a los cambios y para salir adelante de las adversidades económicas, políticas, sociales, culturales, tecnológicas y de salud como las endemias y pandemias (Covid-19) entre otras, se pretende con este trabajo de investigación dar un panorama general de las estrategias que han utilizado las MiPymes y les han permitido sobreponerse y continuar operando.

Objetivo

El objetivo de la presente investigación es identificar y describir las principales estrategias de resiliencia empresarial implementadas por MiPymes en México.

Desarrollo

Antecedentes

Según Cossio, Ortega y Padrón (2017), la Resiliencia proviene del campo de la física y la ingeniería, como la capacidad de los metales para recuperar su forma original, luego de ser sometidos a presiones deformadoras. Desde la visión de la Sociología y Economía, la resiliencia es la facultad para enfrentar catástrofes frente a cualquier situación y lograr recuperarse. Desde la perspectiva de las Ciencias Sociales el concepto resiliencia es "aprender", es resultado de la interacción del individuo con su ambiente, en la actualidad la definición de resiliencia es "se construye". El concepto resiliencia como tal, se orienta a la acción, a las oportunidades frente a situaciones de estrés. Permite desarrollar habilidades de autoeficacia, apoyo social y bienestar que deben salir a flote, las mismas son cruciales a nivel de individuos y de comunidad; la finalidad es responder de manera asertiva frente a contextos de diversa índole (Hamadeh et al., 2021). Se presentan diversos conceptos de resiliencia empresarial, los que se pueden revisar en la Tabla 1.

Concepto de empresa: grupo social en la que, a través de la administración del capital y el trabajo, se producen bienes y/o servicios tendientes a la satisfacción de las necesidades de la comunidad. Münch, G.L. y García, M.J., (2020).

Importancia de las MiPymes

En una economía globalizada, es necesario replantear estructuras económicas, políticas, financieras y sociales, ya que de ello depende el desarrollo de un país. Las MiPymes en México, desempeñan un papel fundamental al innovar, producir y generar empleos, representan uno de los pilares económicos (ver figura 1).

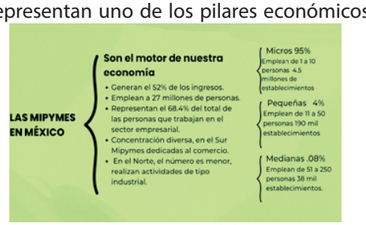


Fig. 1. Las MiPymes mexicanas como motor de la economía en México, fuente: Secretaría de Economía (2024, pag.15)

En América Latina el 90 por ciento de los países clasifica a las empresas en función del número de trabajadores (Cardozo, et al…, 2012). En México los principales criterios considerados para la clasificación son el número de trabajadores y los ingresos por ventas anuales, de acuerdo con (INEGI 2015 en González y Becerra, 2021). De acuerdo con DOF (2009) las empresas se clasifican de la siguiente manera: son microempresas, para todos los sectores, si tienen de 1 a 10 trabajadores e ingreso por ventas hasta 4 millones de pesos, comercio de 11 a 30, ingresos de 4.01 a 100 millones; pequeña, industria y servicios de 11 a 50 e ingresos de 4.01 a 100 millones, comercio de 31 a 100 e ingresos de 100.01 a 250 millones de pesos; mediana, industria de 51 a 250 e ingresos de 100.01 a 250 millones de pesos, servicios de 51 a 100 e ingresos de 100.01 a 250 millones de pesos (ver Figura 2).

Estratificación				
Tamaño	Sector	Rango de número de trabajadores	Rango de monto de ventas anuales (mdp)	Tope máximo combinado*
Micro	Todas	Hasta 10	Hasta $4	4.6
Pequeña	Comercio	Desde 11 hasta 30	Desde $4.01 hasta $100	93
	Industria y Servicios	Desde 11 hasta 50	Desde $4.01 hasta $100	95
Mediana	Comercio	Desde 31 hasta 100	Desde $100.01 hasta $250	235
	Servicios	Desde 51 hasta 100		
	Industria	Desde 51 hasta 250	Desde $100.01 hasta $250	250

De acuerdo a INEGI 2020, el 95 por ciento de las empresas en México son micro, el 4 por ciento son pequeñas y el 0.8 por ciento son medianas, las cuales generan el 72% del empleo formal y el 52% de PIB.

Las MiPymes, representan el corazón de la economía en México, sin embargo, cada día enfrentan varios desafíos, como la falta de acceso a financiamientos, restricciones en la obtención de créditos, esto debido a la falta de garantías y a los altos costos por los servicios financieros, este problema frena su crecimiento y reduce la competitividad en mercados nacionales y extranjeros, escasez de mano de obra calificada, la necesidad de acceso a nuevas tecnologías.

Las MiPymes contribuyen a la generación de empleos y el crecimiento económico, considerándose como un pilar en la economía mexicana, creando oportunidades laborales, fomentando la competitividad laboral regional y el fortalecimiento de las cadenas de valor.

Las MiPymes no solo son importantes en la generación de empleos, sino que también contribuyen a la resiliencia económica del país.

Autor	Concepto Resiliencia Empresarial
González (2020)	Capacidad de una empresa ante una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera eficaz, que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (UNISDR, 2009).
Abad (2024)	La resiliencia organizacional es determinada como una habilidad de adaptarse positivamente, ergo recuperarse de complicaciones significativas, e incluso emerger más fuerte.
Cusilayme (2022)	Este término hace referencia a la capacidad de adaptación que mantiene una organización para el cambio, es decir, la forma que tiene de afrontarlo.
IKUSI (2025)	Resiliencia empresarial es la capacidad de adaptación que mantiene una organización para el cambio, es decir, la forma que tiene de afrontarlo. De esta manera, al aplicar acciones empresariales con la intención de resistir, será posible garantizar la continuidad del negocio.
Sanchis y Poler (2014)	La resiliencia empresarial es una capacidad clave para hacer frente de manera sostenible y eficiente a las disrupciones, de forma que sea fuente de ventaja competitiva frente a aquellas empresas menos resilientes.
García, et al. (2015)	La resiliencia empresarial se refiere a las capacidades dinámicas de una empresa para afrontar con éxito situaciones que amenazan su supervivencia y, basándose en el aprendizaje acumulado, transformar su estado previo o forma organizativa.
Mendieta (2024)	La resiliencia empresarial se define como la capacidad de una organización para resistir, adaptarse y recuperarse de las crisis, transformando las amenazas en oportunidades de crecimiento y desarrollo.
Conexión Esan, párr. 2, (2025)	La resiliencia empresarial es: "La capacidad que tiene la organización para recuperarse de los constantes cambios que sufre, poder identificar y medir las condiciones usualmente inestables de un sistema y transformarlas. Es decir, consiste en aportar nuevas ideas para que el ecosistema empresarial conformado por la organización, las personas y las áreas que componen el negocio, puedan lograr resultados deseados en medio de la adversidad."
Hernández, et al.(2025)	La resiliencia organizacional se entiende como la habilidad de una organización para adaptarse y manejar un entorno en transformación, de tal forma que logre sus metas y asegure su continuidad a largo plazo. Este término ha cobrado importancia en la gestión estratégica, puesto que ayuda a las empresas a abordar desafíos inesperados y conservar su competitividad en mercados cambiantes (Linnenluecke,2017).

Tabla1. Conceptos de Resiliencia Empresarial, (fuente Elaboración propia).

Después de analizar los conceptos anteriores, se deduce que la resiliencia empresarial es la capacidad que tiene una organización para adaptarse a los cambios y dificultades del entorno y recuperarse de las adversidades que se le presenten.

ESTRATEGIAS DE RESILIENCIA EMPRESARIAL

Una de las principales estrategias de resiliencia empresarial, es la capacidad de adaptación, ser capaz de realizar ajustes de acuerdo a cambios en el entorno, económico, político, social, tecnológico, etc., tener flexibilidad en la forma de operación y comercialización de los productos y servicios.

Gestionar y administrar adecuadamente los recursos financieros de la empresa, contar con finanzas sanas, reducir el capital ajeno con respecto al propio, tener reservas de efectivo para afrontar crisis o imprevistos.

Implementar tecnologías de la información para hacer más eficiente a las organizaciones, innovar en las operaciones, implementar soluciones con software o plataformas de manejo de datos e información que agilicen la toma de decisiones y permitan estar a la vanguardia en la comercialización y venta de productos o servicios, como el empleo de Mercadotecnia electrónica.

Tener ingresos diversificados o que provengan de diferentes fuentes, no depender de uno o dos clientes solamente o de la venta de un solo producto o servicio, de tal manera que al tener varias fuentes de ingreso las MiPymes puedan resistir y sobreponerse a las crisis o eventos inesperados.

Asociarse con otras MiPymes, organismos, asociaciones empresariales formado redes empresariales y de apoyo, como las cámaras de comercio de cada sector, les permiten tener acceso a asesorías, apoyos, capacitaciones, etc., formando redes que ayuden a las empresas a adaptarse, resistir cambios y salir fortalecidos.

Contar con líderes hábiles, que dirijan y gestionen las actividades y operaciones de las empresas y los equipos de trabajo de manera eficiente y efectiva, que inspiren, sean buenos planeadores, comunicadores y planeadores del tiempo, inteligentes emocionalmente, creativos, flexibles y capaces de adaptarse al cambio. En la tabla 3, se pueden observar diferentes estrategias de resiliencia empresarial empleadas por MiPymes en México.



Autor	Estrategias de Resiliencia Empresarial
Ruíz (2023)	**Estrategias orientadas a procesos**, principalmente originadas por los ajustes requeridos para poder tener distanciamiento social y el menor número de colaboradores y así evitar posibles contagios. **Estrategias de capital humano** fueron las que mayor frecuencia mostraron, estas estuvieron relacionadas con aspectos económicos, de pasivo laboral, así como de organización de los servicios prestados a los colaboradores, con respecto al trabajo desde casa "home office", que fue un lujo que solo se pudo implementar para el personal administrativo **Estrategias de compras** las opciones fueron limitadas, no obstante que la principal problemática está vinculada al desabasto provocado por la ineficiencia de las cadenas de suministro, estas estrategias no han sido ágiles, lo que ha desencadenado paros técnicos, así como llevar a cabo limpieza y sobre todo apagar todos los equipos ya que no iba haber ningún otro turno para trabajar" Cerrar negociaciones con nuevos proveedores en otras partes del mundo que, aunque no tuvieron tanto beneficio económico, si se tuviera con ellos, la certeza de no parar por la falta de algún insumo y así se tuviera un costo mayor por algún paro operativo". **Estrategia de venta,** solo se limitaron a vender en línea a pesar de que fue una de las mayores problemáticas **Estrategia de gestión** buscando nuevas formas de llevar que el negocio no solo sea que el cliente llegue a la tienda y hasta allá compre si no que se pueda meter a una página web vea los colores y compre en línea …" Las estrategias de gestión se pueden agrupar en dos grandes áreas: la primera relacionada con la gestión de la pandemia y la segunda relacionada con nuevas formas de trabajar y de liderar. " Liderazgo complejo. La empresa fue directa con sus trabajadores. Hubo total transparencia para construir confianza y colaboración." " Hacer juntas o reuniones por medio de videollamadas: Las tecnologías de la información y comunicaciones han estado jugando un papel muy importante a lo largo de esta pandemia. Herramientas como lo son Microsoft Teams, Google Meet, Zoom, Cisco Webex, Whatsapp han traído grandes beneficios como lo son una comunicación ágil y desde cualquier parte del mundo en donde se encuentren los participantes de la junta. Otro beneficio es el modo multi colaborativo,
Mateos, et. al.(2024)	**Inteligencia Artificial** La IA figura como una tendencia de alcance global que ha ido ganando terreno en la vida de cada consumidor. Esta va desde el uso de asistentes de voz, ciberseguridad, digitalización de contenidos educativos o recreativos, sistemas de geolocalización en el teléfono o automóviles, etc. Particularmente en el mundo empresarial, las organizaciones a nivel internacional, nacional e incluso local la implementan a través de chatbots para atención al cliente, campañas digitales, reconocimiento de imágenes y voz, fijación dinámica de precios, etc.
Hernández, et al.(2025)	**Estrategias de Sostenibilidad Organizacional** En contextos marcados por la gran incertidumbre, la sostenibilidad en las organizaciones no se relaciona únicamente con la responsabilidad social o ambiental, sino también con la habilidad de la empresa para conservar su viabilidad y competitividad a lo largo del tiempo. En este escenario, las organizaciones necesitan implementar enfoques que les faciliten incorporar la sostenibilidad en su cultura empresarial, sistemas de gobernanza y modelos de negocio. Las organizaciones que consiguen integrar la resiliencia con la sostenibilidad construyen una habilidad adaptativa que les facilita prever y manejar riesgos de forma eficiente, en este caso la implementación de normas internacionales, como ISO 14001 para la gestión ambiental y ISO 26000 para la responsabilidad social, permite a las organizaciones incorporar estrategias de sostenibilidad en consonancia con su resiliencia operativa (Plasencia-Soler et al., 2018).
Cortés y González (2018)	La innovación en las organizaciones es fundamental para crear empresas sostenibles y resilientes. Por ejemplo, las empresas que han implementado modelos de economía circular, tales como el rediseño de productos para reducir residuos o la reutilización de materiales, han mostrado mayor resistencia ante crisis económicas y variaciones en la regulación (Cortés & González, 2018). Este método no solo refuerza la resiliencia de las empresas, sino que también eleva su reputación y competitividad en mercados que son cada vez más exigentes respecto a la sostenibilidad. Un elemento clave de la sostenibilidad en las organizaciones es el capital humano, puesto que las empresas dependen de la habilidad de sus trabajadores para adaptarse a transformaciones e innovar en contextos inciertos.
Díaz, et al.(2025)	**Tecnología de la información y la comunicación y rendimiento de la innovación.** Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son una herramienta que se implementa en las organizaciones para transmitir información y mejorar la comunicación para competir en el contexto del entorno de la información y la comunicación (Ab Wahab et al., 2020). Lecerf y Omrani (2020) examinan los efectos de la innovación en la internacionalización de las pequeñas y medianas empresas (PYME) y los efectos directos y moderadores de la circulación de la información y el conocimiento durante la adopción de la tecnología de la información. Los resultados sugieren que el desarrollo de la innovación aumenta el nivel de la tecnología de la información y puede mejorar la internacionalización **Cultura intraemprendedora y rendimiento en la innovación** Los ejecutivos tienen la tarea de fomentar la participación intraempresarial de los empleados, alentándolos y empoderándolos para que participen activamente en las iniciativas empresariales de su organización (Sánchez-Vidal et al., 2024). La participación de los empleados en los proyectos intraempresariales a nivel organizacional depende significativamente de lo bien que sus atributos individuales se alinean con el entorno organizacional en el que operan (Niemann et al., 2022**).** **Gestión de la colaboración de redes y rendimiento en la innovación** La colaboración puede fomentar interacciones estrechas entre los socios del proyecto y promover el intercambio de información, lo que a su vez impulsa el desarrollo de innovaciones (Klijn et al., 2024). Un estudio realizado en México por Álvarez-Aros et al., (2022) confirmó una relación positiva y significativa entre la colaboración horizontal de la innovación abierta (instituciones educativas, gobierno y competidores) y el rendimiento financiero de las empresas. Keung y Shen (2017) confirmaron en el caso de China que el establecimiento de redes de proyectos eficaces por parte de los contratistas podría beneficiar su competitividad empresarial.
Ruiz-Monteros y Enríquez-Sánchez (2024).	La mercadotecnia digital es una pieza clave para el crecimiento de las Pymes y su permanencia en el mercado.

Tabla 2. Estrategias de Resiliencia Empresarial, (fuente: elaboración propia).

METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque cualitativo, se basa en una metodología que permite abordar tanto la identificación y descripción de las estrategias de resiliencia de las MiPymes en México, es una investigación de tipo documental, debido a que se indagó información en artículos, libros, tesis y memorias de congreso, para lo cual se emplearon buscadores académicos como Redalyc, Scielo, Google académico y Dialnet.

RESULTADOS

De acuerdo al análisis de las estrategias encontradas, resaltan las siguientes: la capacidad de adaptación a cambios en el entorno y hacer frente a las adversidades. El gestionar y administrar adecuadamente los recursos financieros de las empresas para contar con reservas frente a crisis económicas puede ayudar a la permanencia y sobrevivencia. La capacidad de adaptación a cambios en el entorno y hacer frente a las adversidades.

Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como herramienta para mejorar la comunicación, los procesos y hacer más eficiente el funcionamiento de las empresas mediante la reducción de tiempos y costos, facilitan la comercialización y la internacionalización de las Micro, pequeñas y medianas empresas. En empresas resilientes durante la pandemia, fueron de esencial apoyo para las compras y ventas de insumos y productos por parte del sector empresarial. Las Tics permiten implementar el home office o trabajo a distancia con lo que pudieron seguir operando y encontrar nuevas formas de gestionar al capital humano.

La Inteligencia artificial es una herramienta eficiente para la resiliencia empresarial y para la adaptación de las empresas, ya que posee diversas herramientas útiles para la operatividad y gestión, como el uso de asistentes de voz, ciberseguridad, geolocalización, e impacta en la comunicación y gestión de clientes por medio de los chatbots y campañas de mercadotecnia digital.

La sostenibilidad que implementan las organizaciones les permite mejorar su adaptación al prever y enfrentar riesgos. De acuerdo con Cortés y González, 2018, las empresas que han implementado modelos de economía circular, han realizado la reducción de residuos o han reutilización de materiales, muestran mayor resistencia económica.

Las redes de colaboración entre empresas de un mismo sector, así como las redes que incluyen al gobierno, empresas y al sector educativo, fortalecen la competitividad de las empresas, ya que aportan ideas, capacitación, apoyos financieros y logísticos, que favorecen la permanencia, adaptación y sobrevivencia de estas.

Fomentar la cultura de la innovación, mediante programas de apoyo y/o recompensa por las aportaciones por parte de los colaboradores de las empresas, favorece la flexibilidad, adaptación y la permanencia de las organizaciones, les da la posibilidad de hacer frente a los cambios del entorno.

CONCLUSIONES

Las principales estrategias de resiliencia empresarial identificadas en la presente investigación, son: la capacidad de adaptación al cambio o flexibilidad; la adecuada gestión de los recursos financieros que permita contar con reservas para hacer frente a situaciones económicas adversas, el empleo de Tecnologías de la Información y la comunicación para la gestión de las organizaciones y el manejo de la información; el uso de la inteligencia artificial para mejorar la operación y eficientar la comercialización de los productos o servicios, mediante geolocalización, chatbots y la mercadotecnia electrónica.

La sostenibilidad, ya que la preservación y uso racional de los recursos del medio ambiente, benefician tanto al planeta como a las empresas para enfrentar situaciones en momentos de crisis; las redes de colaboración, que se convierten en redes de apoyo y orientación para permitir a las empresas la permanencia y sobrevivencia; y la cultura empresarial de innovación que ayuda a generar nuevos procesos, productos, servicios y formas de operación, que facilitan la adaptación a los cambios del entorno.

Se identificó, además, que una de las estrategias comunes en estudios que analizan resiliencia, pre, durante y post pandemia, es el empleo de las Tecnologías de la información y la comunicación, que representan un aliado de las MiPymes para la resiliencia empresarial.

Referencias:

1. Cardozo, E. (21 de abril de 2016). La definición de PYME en América es una revisión del estado del arte. 1345-1350.Obtenido de https://oa.upm.es/19398/

2. Cusilayme Helfer, C. C. (20 de junio de 2022). Resiliencia empresarial como clave de la innovación en la pandemia del Covid-19. Sinergias Educativas, 1-11. https://sinergiaseducativas.mx/index.php/revi

3. Díaz, D.A.; Purón, C.G.;y R,M.M. (2025). El papel de las TIC, intraemprendimiento y redes de gestión colaborativa en la innovación y la competitividad empresarial. 68,69. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30416sta/article/view/359

4. DOF. (30 de junio de 2009). Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresas. México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5096849&fecha=30/06/2009#gsc.tab=0

5. Economía, S. d. (junio de 2024). MiPymes mexicanas: motor de nuestra economía. Gobierno de México, 11. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachmentfile/923851/20240626_Dosier_MIPYMES_SALIDA_Interactivo_5_.pdf

6. INEGI. (25 de junio de 2020). Estadísticas a Propósito del día de las Micro, pequeñas y medianas empresas. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/MYPIMES20.pdf

7. IKUSI (2025). Servicios Administrados Flexibles y Adaptados a cada demanda y proyección de renovación. (2025). https://www.ikusi.com/mx/

8. Jesús, G. M. (30 de octubre de 2020). Productos de Creación Artística. Tecnológica, Humanidades e Investigación Científica. http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/153407

9. Mateos, S.A, García, G.J. y Aguilar, C.R. (27 de 09 de 2024). Inteligencia Artificial: Una herramienta de gestión para la sostenibilidad empresarial en México. Saberes Administrativos, 2. https://www.uv.mx/iiesca/files/2025/02/04SA2024-02.pdf

10. Münch, y García. (2020). Fundamentos de Administración. México: Trillas, S.A. de C.V.

11. Hernández, J., & Ramírez, P. L. (2025). Resiliencia Organizacional y Estrategias de Sostenibilidad en Entornos de Alta Incertidumbre. 3,4. https://www.researchgate.net/profile/Belem-Gabriela-Hernadez-Jaimes-2/publication/390289449_Resiliencia_Organizacional_y_Estrategias_de_Sostenibilidad_en_Entornos_de_Alta_Incertidumbre/links/67edae7e9b1c6c4877711077/Resiliencia-

12. Pino, S. y Torralba, A. (2024). Resiliencia en la Gestión Empresarial. Una Revisión Teórica. Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos, 32-38.

13. Raúl, S. R. (Diciembre de 2020). Resiliencia Empresarial en Época de Pandemia. Boletín de Estudios Económicos, 501-520. http://hdl.handle.net/10251/165594

14. Ruiz Monteros Juan Alexander, E. S. (2024). El crecimiento de las Pymes a través de la Mercadotecnia Digital. Revista Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica, 1-15. https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1455

15. Ruiz, V. Á. (mayo de 2023). Estrategias Aplicadas durante la pandemia bajo el entorno VUCA en empresas de Guanajuato, México. Ciencias Administrativas Teoría y Praxis, 57-61. https://cienciasadmvastyp.uat.edu.mx/index.php/ACACIA/article/view/384/478

16. Samán Chingay, S. N., Alfaro, M., Guerrero, M., Pilar, M. d., & Esparza Huamanchumo, R. M. (21 de mayo de 2022). Resiliencia competitiva empresarial: Una versión sistemática, período 2011-2021. Revista de Ciencia Sociales (Ve), 2-11. https://www.redalyc.org/journal/280/28071865021/28071865021.pdf



Silvia Sánchez Aguilera
Contador Público en 1995, por la Universidad del Centro de México Campus San Luis Potosí. Maestría en Impuestos en 2006 y doctorante en Ciencias de lo Fiscal por el Instituto de Especialización para Ejecutivos Campus Guadalajara. Docente desde 1998 en Instituciones educativas y desde 2010 a la fecha en el Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí Capital, división de Ingeniería en Administración, Desempeño en contabilidad e Impuestos en la iniciativa privada desde 1991 a la fecha.



Laura Lucía Castañeda Santillán
Técnico en Contabilidad por el CBtis No. 131, Licenciada en Administración por el ITSSLPC, Maestra en Administración Educativa por el CINADE y Doctora en Administración por la UTAN CAMPUS TEQUIS. Tengo 12 años de experiencia en áreas de Recursos Humanos y capacitación, así como de administración general en la empresa PRINT-ENG. Cuento con 10 años de experiencia docente el ITSSLPC, del 2022 al 2025 soy Coordinadora de la carrera de Ingeniería en Administración.



Recopilación de propiedades del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo, necesarias para realizar análisis estructural de fatiga por vibración aleatoria.

Alejandro Martinez Sahagun / Posgrados CIATEQ A.C.
Victor Samuel Vilchis Bravo / CIATEQ A.C. Unidad Bernardo Quintana



ABSTRACT.

Additive manufacturing, particularly Powder Bed Fusion (PBF), is a versatile engineering solution that offers the fabrication of components with exceptional mechanical properties. During the development process of structures, it is advisable to conduct preliminary evaluations to enhance design efficiency and ensure structural performance. Techniques such as computer-aided finite element analysis are useful; however, it is essential to use input parameters that represent the material conditions as realistically as possible to accurately estimate structural performance. Structures used in the automotive industry, such as module brackets, chassis, and/or suspensions components, are subjected to random vibrational loads that can induce fatigue in the materials that made these structures. This work aims to generate a compendium of mechanical properties and fatigue resistance properties of the AlSi10Mg material manufactured through powder bed fusion, understand the variation that exists among various sources, and extract generic values that can be used in preliminary structural analyses during the design and development stages of automotive structures.

RESUMEN.

La manufactura aditiva, en particular la Fusión en Lecho de Polvo (PBF), es una solución de ingeniería versátil al ofrecer la fabricación de componentes con materiales cuyas propiedades mecánicas son excepcionales. Durante el proceso de desarrollo de estructuras, es recomendable que se hagan evaluaciones preliminares para mejorar la eficiencia del diseño y asegurar el desempeño estructural. Técnicas como el análisis por elemento finito asistido por computadora son útiles, sin embargo, es indispensable utilizar parámetros de entrada que representen condiciones del material lo más realista posible para estimar correctamente el desempeño estructural. Las estructuras utilizadas en la industria automotriz, tales como soportes de módulos, componentes del chasis y/o suspensiones, se encuentran sometidas a cargas vibratorias de carácter aleatorio que pueden propiciar fatiga en los materiales que conforman dichas estructuras. Este trabajo tiene como objetivo generar un compendio de propiedades mecánicas y propiedades de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo, entender la variación que existe entre las diversas fuentes y extraer valores genéricos los cuales podrán ser utilizados en análisis estructurales preliminares durante las etapas de diseño y desarrollo de estructuras automotrices.

INTRODUCCIÓN.

Soportes estructurales son utilizados en la industria automotriz y aeroespacial para montar diversos componentes, entre ellos módulos, sistemas de tuberías, arneses. El diseño para la manufactura (DFM) es solo uno de varios procesos que pueden utilizarse para desarrollar los soportes estructurales. El trabajo interdisciplinario que caracteriza este proceso lleva a la necesidad de evaluar el diseño estructural en base a las condiciones operativas a las que va a estar sometido el componente, así como asegurar que tanto la selección de material como el arreglo estructural sean suficientes para asegurar la operación eficiente y efectiva del componente en cuestión. En particular, los soportes de módulos comúnmente desarrollados para la industria automotriz están sujetos a cargas vibratorias de carácter aleatorio cuya forma y amplitud de carga depende de la zona donde éste está montado. Por ejemplo, un soporte montado a cualquier zona del sistema propulsivo (motor, transmisión, diferencial, etc.) normalmente va a recibir mayor carga vibratoria en comparación a un soporte montado en zonas del chasis o de la estructura del vehículo, las cuales transmiten la vibración causada por el camino y sus irregularidades.

En la Figura 1 se muestra de manera muy general el proceso para correr el análisis de fatiga por vibración aleatoria, así como los parámetros de entrada requeridos en cada etapa del proceso. Un ejemplo muy claro de la ejecución de este análisis se aprecia en la Figura 2, extraída del trabajo de [1], en donde se reproduce la fatiga por vibración aleatoria de un soporte para módulo de electrónica.



Figura 1. Diagrama de proceso con entradas y salidas: Análisis de fatiga por vibración aleatoria mediante superposición modal. (Imagen de elaboración propia).

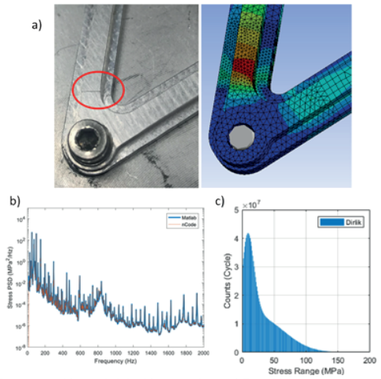


Figura 2. a) Reproducción de iniciación de grieta; b) Función de respuesta espectral de esfuerzo; c) Función de distribución probabilística para conteo de ciclos y daño acumulado. Extraído de [1].

En la Figura 3 se muestra el diseño preliminar de un soporte para módulos de enfriamiento, el cual tiene la necesidad de evaluaciones preliminares de fatiga por vibración aleatoria como parte del proceso de diseño y desarrollo que se está siguiendo.

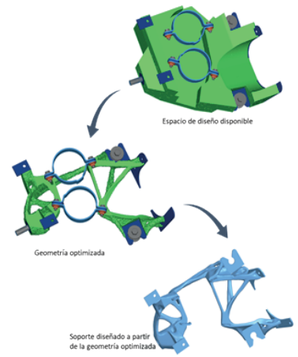


Figura 3. Primer ciclo de diseño basado en optimización topológica de un soporte para módulos de enfriamiento. (Imagen de elaboración propia).

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

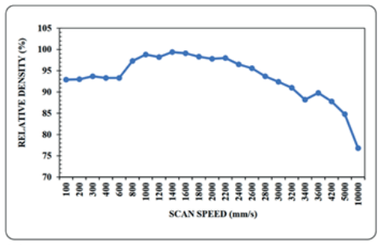
Este trabajo de investigación consiste en recopilar información sobre las propiedades mecánicas y propiedades de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo, así como observar la variación que puede existir debido a diversos factores con el objetivo de identificar un conjunto de propiedades genéricas que puedan ser utilizadas en evaluaciones estructurales durante el desarrollo de componentes como los de las Figuras 2 y 3.

IMPACTOS DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO, TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y ACABADOS SUPERFICIALES POSTERIORES SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ALSI10MG

En el diagrama mostrado en la Figura 1, se aprecian las propiedades de material como algunos de los parámetros de entrada en las etapas del proceso. Gracias a diversos trabajos de investigación se sabe que las propiedades de material se ven afectadas por varios aspectos: parámetros del proceso de manufactura aditiva, tratamientos térmicos y superficiales posteriores, microestructura, entre otros.

El trabajo de [2] presenta un compendio de propiedades mecánicas obtenidas de muchos otros trabajos de investigación, el cuál clasifica las propiedades mecánicas de muestras de AlSi10Mg fabricadas mediante fusión en lecho de polvo de acuerdo con los parámetros del proceso de producción. La Figura 4 muestra el impacto que tiene la velocidad de escaneo sobre algunas de las propiedades del material.

a)



b)

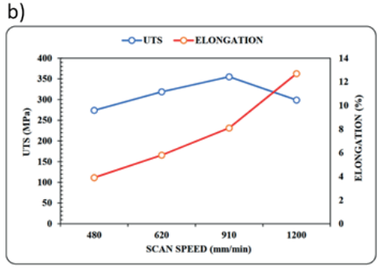
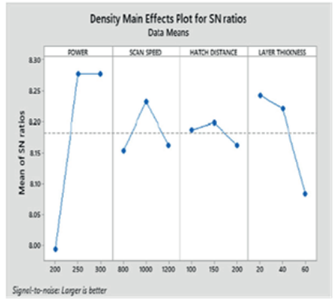


Figura 4. Efecto de la velocidad de escaneo sobre: a) La densidad relativa de muestras de AlSi10Mg; b) Sobre el esfuerzo ultimo a tensión y la elongación a la falla. Imágenes extraídas de [2].

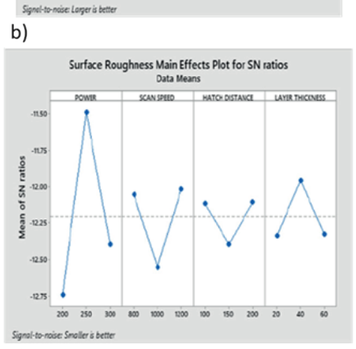
En otro trabajo de investigación realizado por [3] observan los resultados de análisis estadísticos ANOVA sobre el impacto de los parámetros del proceso sobre la densidad, la rugosidad superficial y la dureza del producto final. La Figura 5 muestra este impacto mediante graficas de efectos principales, en donde es claro que la potencia del láser es el parámetro de manufactura que más impacta a estas propiedades.

Defectos causados por el proceso de fusión del lecho de polvo, así como los acabados superficiales también tienen un impacto sobre la resistencia estructural del material AlSi10Mg, tal cual se muestra en la investigación realizado por [4] en donde se compara la resistencia a la fatiga de muestras de AlSi10Mg con tres condiciones de acabado superficial posterior a la fabricación: muestras sin acabado (AB), muestras con maquinado (M) y muestras con maquinado y pulido (M&P) (Figura 6).

a)



b)



c)

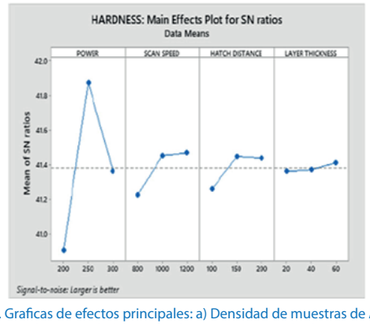


Figura 5. Graficas de efectos principales: a) Densidad de muestras de AlSi10Mg; b) Rugosidad superficial; c) Dureza. Extraído de [3].

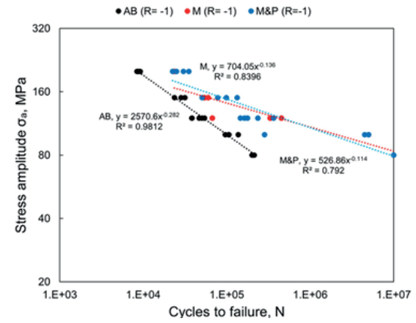


Figura 6. Superposición de curvas de resistencia a la fatiga de muestras de AlSi10Mg con tres tipos de acabado. Extraído de [4].

Por otro lado, los experimentos de [5], proponen tres distintos tipos de procesos de fabricación, donde los dos primeros utilizan el mismo arreglo de parámetros, con la diferencia de que el proceso #2 utiliza otro gas inerte y el proceso #3 ocupa parámetros optimizados para asegurar una mejor resistencia a la fatiga del material. La Figura 7 muestra los distintos niveles de resistencia a la fatiga con en función al tipo de proceso de fabricación utilizado. Se puede identificar inmediatamente que las muestras del proceso #3 tienen mejor resistencia a la fatiga.

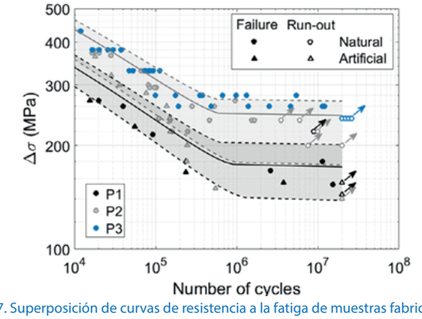


Figura 7. Superposición de curvas de resistencia a la fatiga de muestras fabricadas con distintos parámetros de proceso PBF. Extraída de [5]..

Al observar cómo las propiedades del material AlSi10Mg se ven afectadas por los parámetros del proceso de manufactura aditiva, así como los tratamientos y acabados posteriores, hace sentido que se busque determinar cuáles son niveles óptimos de dichos parámetros. Uno de varios trabajos de investigación que hay en la literatura es el de [6], el cual consiste en una revisión y recopilación de propiedades de resistencia a la fatiga de muestras de AlSi10Mg y de los parámetros de proceso relacionados. La Figura 8 es un extracto de la publicación de [6] donde se observa que la mejor resistencia a la fatiga se logra cuando el nivel de potencia del láser y la distancia de trazo son altos, pero el espesor de capa y la velocidad de escaneado son bajas. Esta combinación aparentemente resulta ser una de las mejores, muy por encima de muestras que le dan más énfasis al espesor de capa y a la velocidad de escaneo.

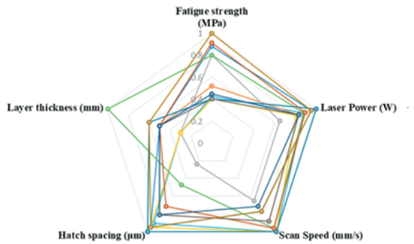
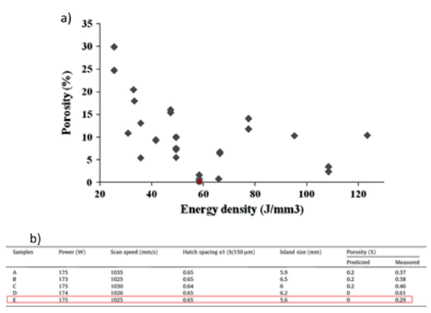


Figura 8. Influencia de los parámetros del proceso PBF sobre la resistencia a la fatiga a altos ciclos. Extraído de [6].



b)

Samples	Power (W)	Scan speed (mm/s)	Hatch spacing z1 (h)/150 μm)	Island size (mm)	Porosity (%)	
					Predicted	Measured
A	175	1035	0.65	5.9	0.2	0.37
B	173	1025	0.65	6.5	0.2	0.38
C	175	1030	0.64	6	0.2	0.46
D	174	1026	0.65	6.2	0	0.61
E	175	1025	0.65	5.8	0	0.29

Figura 9. a) Porcentaje de porosidad de muestras de AlSi10Mg resultante del diseño de experimentos; b) Tabla de parámetros de proceso optimizados. Imagen extraída de [7].

Otro trabajo publicado por [7] también se enfocó en determinar los parámetros de proceso de manufactura aditiva óptimos. En este trabajo se utilizó un diseño de experimento y superficies de respuesta para determinar los parámetros óptimos. En la Figura 9a se muestra el porcentaje de porosidad en varias muestras fabricadas con diversos parámetros de proceso (comprendidos en el diseño de experimentos) comparados con las mediciones en muestras fabricadas con los parámetros optimizados mediante la superficie de respuesta. Se puede observar que el porcentaje de porosidad es significativamente bajo, comparado con el de otras mediciones. Esto se logró con los parámetros de la muestra "E" indicados en la Figura 9b, los cuales concuerdan con la tendencia de los parámetros presentados por [6], mayor potencia del láser y mayor distancia de trazo y menor velocidad de escaneo.

RECOPILACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA FATIGA

Una búsqueda a través de varias plataformas culminó en varios trabajos de investigación los cuales tenían la misma relevancia que los anteriormente mencionados. No todos los trabajos de investigación revisados contenían ambas propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga, sin embargo, se aseguró que al menos un tipo de propiedades estuviera siendo documentada. La Tabla 1 recopila estas propiedades del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo. La Tabla 2 complementa con la información relacionada a los parámetros de proceso usados en la fabricación de muestras.

Las propiedades de material que no están en la Tabla 1 son la densidad, la relación de Poisson y el amortiguamiento estructural. Estas tres propiedades son requeridas para poder obtener la función de respuesta a la frecuencia la cuál, tal como indica la Figura 1, es esencial para completar el análisis de fatiga por vibración aleatoria. Los trabajos de [8] y [9] documentan los aprendizajes de experimentos con muestras de AlSi10Mg fabricadas mediante fusión en lecho de polvo en donde se midió la densidad de la parte final y se estudió el efecto de la variación en los parámetros del proceso de manufactura. La Figura 10 muestra el impacto de la velocidad de escaneo y de la distancia de punto sobre la densidad de las muestras de AlSi10Mg. Y en el trabajo de [9] se determinó, mediante un diseño de experimentos y una superficie de respuesta, que los parámetros óptimos para obtener el mayor porcentaje de densidad son: potencia del láser de 651 W, velocidad de escaneo de 500 mm/s y una distancia de trazo de 0.378 mm.

Como referencia, hojas técnicas de proveedores dedicados a manufacturar partes mediante fusión en lecho de polvo, indican que la densidad del AlSi10Mg es de 2,670 kg/m3, pero el valor final de densidad dependerá del tipo de material utilizado (AlSi10Mg en polvo) y de los parámetros del proceso.

En la investigación que se realizó en el trabajo de [10], se puede observar que la relación de Poisson de varias muestras oscila entre 0.29 y 0.36. Al ser pocas muestras, y al exhibir una tendencia normal, es posible determinar que el valor promedio de relación de Poisson es de 0.32.

En cuanto al amortiguamiento estructural, se encontró en los trabajos de [11] y [12] que la capacidad de amortiguamiento y la fricción interna (respectivamente) cambian respecto a la temperatura y su rango de variación comprende de 0.005 a 0.05. Nótese que tanto la capacidad de amortiguamiento como la fricción interna de denotan 1/Q. Se sabe que el parámetro 1/Q también conocido como el factor de perdida y que para el caso en que se busca ocupar amortiguamiento modal para análisis estructural, el factor de perdida es igual al amortiguamiento estructural, por lo tanto, la Figura 11 muestra dos curvas de amortiguamiento estructural dependiente de la temperatura.

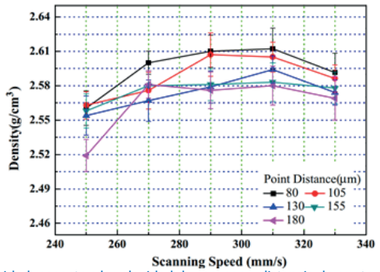


Figura 10. Densidad respecto a la velocidad de escaneo y distancia de punto. Extraído de [8].

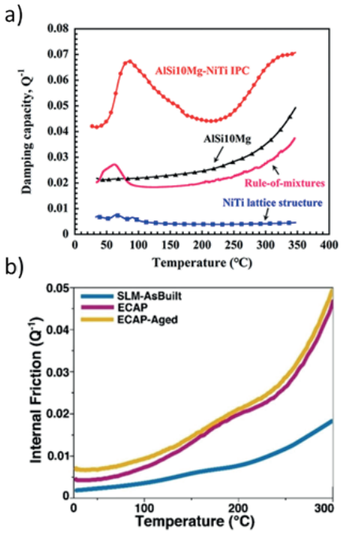


Figura 11. Representación del amortiguamiento estructural de muestras de AlSi10Mg fabricadas por PBF: a) Extraído de [11]; b) Extraído de [12].

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Elongación %	Esfuerzo de Cedencia σ_y (MPa)	Esfuerzo Ultimo a Tensión σ_{UTS} (MPa)	Coeficiente de resistencia a la fatiga σ_f (MPa)	1er Exponente de resistencia a la fatiga b	Límite de fatiga F_L (MPa)	Relación de esfuerzos RR
1	[13]	Sample 0°	73,100	7.6	232.6	328.2	1,185.6433	-0.1777	58.136	-1
		Sample 45°	71,200	6.9	219.3	312.5	1,231.4758	-0.1894	61.59	-1
		Sample 90°	71,500	6.7	221.4	310.4	1,690.5063	-0.2055	126.974	-1
2	[14]	S_0°_H0.16	-	18	181	284	980.347	-0.135	111.27	0.1
		S_0°_H0.19	-	18	182	285	1,226.814	-0.156	99.261	0.1
		S_0°_H0.22	-	16	182	284	1,585.191	-0.183	83.001	0.1
		S_90°_H0.16	-	15	177	285	1,148.073	-0.153	97.492	0.1
		S_90°_H0.19	-	14	180	287	1,256.603	-0.164	89.371	0.1
		S_90°_H0.22	-	14	180	287	1,256.783	-0.167	85.165	0.1
3	[15]	Batch#1	-	-	-	-	320.118	-0.017	243.394	0.1
		Batch#10	-	-	-	-	400.824	-0.039	213.773	0.1
		Batch#5	-	-	-	-	399.21	-0.018	298.677	0.1
		Batch#11	-	-	-	-	486.277	-0.081	131.79	0.1
		Batch#13	-	-	-	-	329.751	-0.066	113.811	0.1
		Batch#14	-	-	-	-	491.194	-0.069	161.53	0.1
		Batch#15	-	-	-	-	241.006	-0.047	112.987	0.1
		Batch#16	-	-	-	-	444.91	-0.055	183.346	0.1
4	[16]	P1	73,300	6.8	195.7	-	327.5	-0.074	99.36	-1
		P2	74,600	6.7	231.8	-	552	-0.11	93.743	-1
		P3	70,200	6.6	226.9	-	401.8	-0.073	123.882	-1

Tabla 1. Recopilación de propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Elongación %	Esfuerzo de Cedencia σ_y (MPa)	Esfuerzo Ultimo a Tensión σ_{UTS} (MPa)	Coeficiente de resistencia a la fatiga σ_f (MPa)	1er Exponente de resistencia a la fatiga b	Límite de fatiga F_L (MPa)	Relación de esfuerzos RR
5	[17]	P1	62100	6.5	170	390	-	-	-	-
		P2	63700	6.8	165	385	-	-	-	-
		P3	66900	7.5	175	429	-	-	-	-
		P4	70600	6.9	178	415	-	-	-	-
		P3D1	65400	6.1	160	370	-	-	-	-
		P3D2	63700	7.3	177	395	-	-	-	-
		P3D3	65900	5.8	150	390	-	-	-	-
		P3D4	62300	7	182	385	-	-	-	-
		P3D5	66900	7.5	175	429	-	-	-	-
		P3D6	71200	9.5	191	468	-	-	-	-
		P3D7	69500	7.8	182	430	-	-	-	-
		P3D8	63500	8.2	177	440	-	-	-	-
		P3D9	68200	7.6	189	425	-	-	-	-
6	[10]	(a)	72322	6.1	206.74	366.43	-	-	-	-
		(b)	72888	6.5	241.15	399.1	-	-	-	-
		(c)	71715	5.3	222.83	360.27	-	-	-	-
		(d)	65640	4.5	188.15	330.11	-	-	-	-
		(e)	69515	4	179.71	314.32	-	-	-	-
		(f)	70422	3.2	208.57	357.49	-	-	-	-

Tabla 1. Continuación - Recopilación de propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Elongación %	Esfuerzo de Cedencia σ_y (MPa)	Esfuerzo Ultimo a Tensión σ_{UTS} (MPa)	Coeficiente de resistencia a la fatiga σ_f (MPa)	1er Exponente de resistencia a la fatiga b	Límite de fatiga F_L (MPa)	Relación de esfuerzos RR
7	[18]	1X	-	-	-	-	251.925	-0.132	49.611	0.1
		2X	-	-	-	-	84.065	-0.042	23.61	0.1
		3X	-	-	-	-	198.043	-0.111	30.01	0.1
		1Y	-	-	-	-	201.962	-0.116	42.718	0.1
		2Y	-	-	-	-	537.06	-0.207	33.095	0.1
		3Y	-	-	-	-	314.926	-0.144	31.136	0.1
8	[19]	H-HCF	-	12.1	185	273	360.23	-0.123	19.1	0.1
		V-HCF	-	6.4	181	273	719.608	-0.212	30.918	0.1
9	[20]	H0	60000	3.2	279	409	-	-	-	-
		H1	65000	3.3	278	414	-	-	-	-
		H2	70000	2.9	286	415	-	-	-	-
		H3	73000	2.7	305	424	-	-	-	-
		H4	75000	2.9	306	440	-	-	-	-
		H5	77000	2.9	308	442	-	-	-	-
		H6	76000	3	310	448	-	-	-	-
		H7	81000	2.9	310	442	-	-	-	-
		H100	81000	3.3	273	422	-	-	-	-

Tabla 1. Continuación - Recopilación de propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Elongación %	Esfuerzo de Cedencia σ_y (MPa)	Esfuerzo Ultimo a Tensión σ_{UTS} (MPa)	Coeficiente de resistencia a la fatiga σ_f (MPa)	1er Exponente de resistencia a la fatiga b	Límite de fatiga F_L (MPa)	Relación de esfuerzos RR
10	[21]	AB+Mq+Pol	-	-	-	-	1209.287	-0.167	81.946	-1
		AB+Mq	-	-	-	-	915.036	-0.145	88.397	-1
		SR+Mq+Pol	-	-	-	-	902.533	-0.177	52.055	-1
		SR+HIP250+Mq+Pol	-	-	-	-	808.946	-0.162	59.418	-1
		SR+HIP250+Mq	-	-	-	-	858.075	-0.172	53.645	-1
		SR+HIP250+SD	-	-	-	-	739.702	-0.171	46.996	-1
		SR+HIP500+Mq+Pol	-	-	-	-	421.994	-0.136	47.131	-1
		SR+HIP500+Mq	-	-	-	-	399.481	-0.133	46.827	-1
		SR+HIP500+SD	-	-	-	-	289.588	-0.122	40.53	-1
11	[22]	V-S	-	5.8	240	393	-	-	-	-
		H-S	-	8.8	210	386	-	-	-	-
12	[23]	S-0°	-	7.1	220	360	-	-	-	-
		S45°	-	6	186	340	-	-	-	-
		S-90°	-	4.3	190	363	-	-	-	-
13	[24]	Sample A	-	5.4	245	470	340.607	-0.138	193.755	-1
		Sample B	-	5.1	258	455	306.681	-0.059	118.491	-1
		Sample C	-	1.7	264	303	938.731	-0.195	40.508	-1
		Sample D	-	0.7	249	280	471.4	-0.145	45.54	-1

Tabla 1. Continuación - Recopilación de propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Elongación %	Esfuerzo de Cedencia σ_y (MPa)	Esfuerzo Ultimo a Tensión σ_{UTS} (MPa)	Coeficiente de resistencia a la fatiga σ_f (MPa)	1er Exponente de resistencia a la fatiga b	Límite de fatiga F_L (MPa)	Relación de esfuerzos RR
14	[25]	Sample AB	-	-	-	-	343.242	-0.047	160.916	0.1
		Sample DA	-	-	-	-	451.197	-0.057	180.039	0.1
		Sample T6	-	-	-	-	306.394	-0.058	120.304	0.1
15	[26]	Sample L40	-	-	-	-	540.975	-0.09	126.817	-
		Sample L10	-	-	-	-	558.652	-0.087	137.449	-
		Sample R5	-	-	-	-	1572.896	-0.16	119.316	-
16	[27]	AM-Virgin	-	5.15	221.7	415.8	-	-	-	-
		AM-Recycled	-	3.16	179.1	247.4	-	-	-	-
17	[28]	H-Nitrogen	-	-	-	-	127	-0.057	50.676	0.1
		V-Nitrogen	-	-	-	-	113	-0.05	50.475	0.1
		H-Argon	-	-	-	-	144	-0.066	49.701	0.1
		V-Argon	-	-	-	-	129	-0.06	49.044	0.1

Tabla 1. Continuación - Recopilación de propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga del material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Maquina impresora	Potencia del Laser P (W)	Velocidad de escaneo V (mm/s)	Distancia de trazo H (mm)	Espesor de capa L (mm)	Precalentamiento de la mesa (°C)	Orientación de construcción	Tratamiento térmico y acabado superficial posterior
1	[13]	Sample 0°	TSC M280	400	1000	0.2	-	35	0°	Recocido a 520°C
		Sample 45°							45°	
		Sample 90°							90°	
2	[14]	S_0°_H0.16	EOS M280	370	1300	0.16	0.03	Sin calentamiento	0°	Recocido a 300°C y Maquinado
		S_0°_H0.19				0.19			0°	
		S_0°_H0.22				0.22			0°	
		S_90°_H0.16				0.16			90°	
		S_90°_H0.19				0.19			90°	
		S_90°_H0.22				0.22			90°	
3	[15]	Batch#1	Trumpf TrumaForm LF130	250	500	0.15	0.05	30	0°	Sin tratamiento posterior
		Batch#10							0°	Templado, T6
		Batch#5							90°	Sin tratamiento posterior
		Batch#11							90°	Templado, T6
		Batch#13							0°	Sin tratamiento posterior
		Batch#14						300	0°	Templado, T6
		Batch#15							90°	Sin tratamiento posterior
		Batch#16							90°	Templado, T6
4	[16]	P1	EOS M400	1000	-	-	0.06	200	0°	Sin tratamiento posterior
		P2		1000	-	-	0.06	200	0°	
		P3		-	-	-	0.03	165	0°	

Tabla 2. Recopilación de parámetros de proceso para fabricar muestras de material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Maquina impresora	Potencia del Laser P (W)	Velocidad de escaneo V (mm/s)	Distancia de trazo H (mm)	Espesor de capa L (mm)	Precalentamiento de la mesa (°C)	Orientación de construcción	Tratamiento térmico y acabado superficial posterior
5	[17]	P1	Concept Laser M2	200	1400	0.1	0.03	0	0°	Sin tratamiento posterior
		P2		260	1400	0.1	0.03		0°	
		P3		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P4		370	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D1		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D2		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D3		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D4		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D5		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D6		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D7		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D8		320	1400	0.1	0.03		0°	
		P3D9		320	1400	0.1	0.03		0°	
6	[10]	(a)	SLM 280HL	350	930	0.42	0.05	200	0°	Maquinado
		(b)							0°	
		(c)							0°	
		(d)							45°	
		(e)							45°	
		(f)							90°	

Tabla 2. Continuación - Recopilación de parámetros de proceso para fabricar muestras de material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Maquina impresora	Potencia del Laser P (W)	Velocidad de escaneo V (mm/s)	Distancia de trazo H (mm)	Espesor de capa L (mm)	Precalentamiento de la mesa (°C)	Orientación de construcción	Tratamiento térmico y acabado superficial posterior
7	[18]	1X	AM 400 Renishaw	300	-	0.08	0.03	170	0°	Maquinado
		2X		200	-	0.061			0°	
		3X		275	-	0.08			0°	
		1Y		300	-	0.08			90°	
		2Y		200	-	0.061			90°	
		3Y		275	-	0.08			90°	
8	[19]	H-HCF	BLT-S310 Xi'an Bright Laser Technologies Co. Ltd.	360	1200	0.13	0.05	300	0°	Recocido
		V-HCF							90°	
9	[20]	H0	Trumpf Truprint1000	175	1400	-	0.02	0	90°	Envejecimiento artificial a atmosfera estándar
		H1								
		H2								
		H3								
		H4								
		H5								
		H6								
		H7								
		H100								

Tabla 2. Continuación - Recopilación de parámetros de proceso para fabricar muestras de material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Maquina impresora	Potencia del Laser P (W)	Velocidad de escaneo V (mm/s)	Distancia de trazo H (mm)	Espesor de capa L (mm)	Precalentamiento de la mesa (°C)	Orientación de construcción	Tratamiento térmico y acabado superficial posterior
10	[21]	AB+Mq+Pol	EOS M280	-	1000	-	0.03	35	90°	- Maquinado y Pulido
		AB+Mq								- Maquinado
		SR+Mq+Pol								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Maquinado y Pulido
		SR+HIP250+Mq+Pol								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 250°C y 180 MPa por 2 Hrs. + Maquinado y Pulido
		SR+HIP250+Mq								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 250°C y 180 MPa por 2 Hrs. + Maquinado
		SR+HIP250+SD								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 250°C y 180 MPa por 2 Hrs.
		SR+HIP500+Mq+Pol								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 500°C y 180 MPa por 2 Hrs. + Maquinado y Pulido
		SR+HIP500+Mq								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 500°C y 180 MPa por 2 Hrs. + Maquinado
		SR+HIP500+SD								- Recocido a 300°C por 2 Hrs. + Prensado isostático a 500°C y 180 MPa por 2 Hrs.
11	[22]	V-S	EOS M290	370	1300	0.19	0.03	200	90°	Maquinado
		H-S							0°	
12	[23]	S-0°	SLM 250HL	350	920	-	-	0	0°	Maquinado
		S45°							45°	
		S-90°							90°	

Tabla 2. Continuación - Recopilación de parámetros de proceso para fabricar muestras de material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

Caso de estudio	Referencia	Nombre de la muestra	Maquina impresora	Potencia del Laser P (W)	Velocidad de escaneo V (mm/s)	Distancia de trazo H (mm)	Espesor de capa L (mm)	Precalentamiento de la mesa (°C)	Orientación de construcción	Tratamiento térmico y acabado superficial posterior
13	[24]	Sample A Sample B Sample C Sample D	EOS M280	300 - - -	1200 - - -	0.15 - - -	0.03 - - -	35 35 35 35	90° 90° 90° 90°	Maquinado.
14	[25]	Sample AB Sample DA Sample T6	-	-	-	-	-	-	90°	- Sin tratamiento + Maquinado. - Envejecimiento artificial a 180°C por 6 Hrs. + Maquinado. - Templado T6 + Envejecimiento artificial a 180°C por 6 Hrs. + Maquinado.
15	[26]	Sample L40 Sample L10 Sample R5	Xi'an Bright Laser Technologies Co. Ltd.	400	1700	0.17	0.03	0	90°	Recocido a 280°C por 2 Hrs.
16	[27]	AM-Virgin AM-Recycled	EOS M290	370	1300	0.19	0.03	35	90°	Sin tratamiento posterior.
17	[28]	H-Nitrogen V-Nitrogen H-Argon V-Argon	EOS M280	370	1300	0.19	0.03	300	0° 90° 0° 90°	Sin tratamiento posterior.

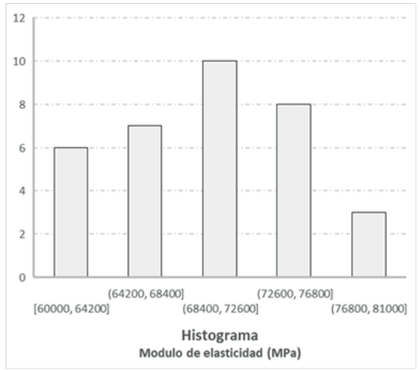
Tabla 2. Continuación - Recopilación de parámetros de proceso para fabricar muestras de material AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Ahora, se determinará un valor genérico para cada propiedad mecánica y de resistencia a la fatiga compilados en la Tabla 1. Los datos muestran un rango de variación importante, por ende, se optó por revisar los datos de manera más profunda, mediante un resumen de estadística descriptiva. Las Figuras 12 a la 16 muestran datos relevantes de estadística descriptiva e histogramas realizados a fin de entender el rango de variación, así como la dispersión de los datos para poder designar un valor genérico a partir del rango de datos recopilados. Estos valores genéricos para las propiedades de materiales podrán ser ocupadas como parámetros de entrada para

MÓDULO DE ELASTICIDAD

Los datos en el histograma del módulo de elasticidad (Figuras 12) muestran una tendencia a la distribución normal ya que tanto la media como la mediana se encuentran muy cerca, numéricamente hablando. Se determina que el valor genérico de módulo de elasticidad recomendado es la media: 69,941.24 MPa. No obstante, se aprecia una desviación estándar considerablemente alta, lo cual deja ver la alta dispersión que tienen los datos. Es importante considerar esto debido al impacto que tiene el módulo de elasticidad en los análisis estructurales mencionados anteriormente.



Estadistica descriptiva - Modulo de elasticidad

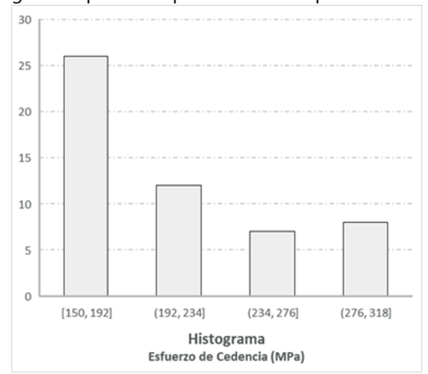
Media	Mediana	Desviación Estandar	Varianza	Kurtosis	Valor Mínimo	Valor Máximo	# Muestras
69941.24	70511	5190.29	26939059.09	-0.33	60000	81000	34

Figura 12. Datos registrados de módulo de elasticidad, histograma y datos relevantes de estadística descriptiva. (Imagen de elaboración propia).

ESFUERZO DE CEDENCIA

Los datos de esfuerzo de cedencia registrados muestran una dispersión significativa, sin embargo, la tendencia de los datos no es nada normal (en términos estadísticos). El histograma de la Figura 13 indica que los datos muestran una distribución que tiende más a la exponencial que a la normal y se puede ver un desfase importante entre la media y la mediana. Se considera que lo más saludable para los datos es utilizar el valor de la mediana como el valor genérico para el esfuerzo de cedencia del material ALSi10Mg: 195.7 MPa. Esto tiene un poco a lo más conservador, es decir, ocupar un valor de esfuerzo de cedencia genérico relativamente bajo, en comparación a los registrados en la Tabla 1.

Pero esto tiene dos ventajas: la primera es que se puede considerar un "peor caso" que sirve para establecer un margen de seguridad y la segunda, se protege el diseño estructural. En especial en las etapas iniciales del desarrollo del diseño estructural donde se busca asegurar que cumpla el desempeño estructural.



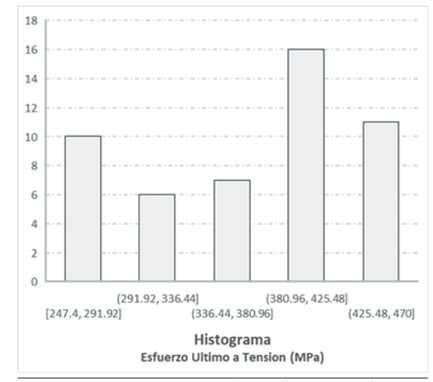
Estadistica descriptiva - Esfuerzo de Cedencia

Media	Mediana	Desviación Estandar	Varianza	Kurtosis	Valor Mínimo	Valor Máximo	# Muestras
215.31	195.7	44.99	2024.19	-0.46	150	310	53

Figura 13. Datos registrados de esfuerzo de cedencia, histograma y datos relevantes de estadística descriptiva. (Imagen de elaboración propia).

ESFUERZO ÚLTIMO A TENSIÓN

El histograma de la Figura 14 indica que la distribución de los datos no es de carácter normal, por lo que se puede apreciar un desface entre la media y la mediana. Considerando el mismo criterio que se ocupó para seleccionar el valor genérico el esfuerzo de cedencia, se opta por seleccionar el valor más bajo entre la media y la mediana. Por tanto, el valor de la media es seleccionado como el valor genérico del esfuerzo último a tensión: 371.14 MPa.

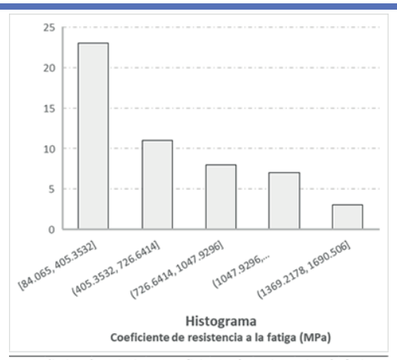


Estadistica descriptiva - Esfuerzo último a tensión

Media	Mediana	Desviación Estandar	Varianza	Kurtosis	Valor Mínimo	Valor Máximo	# Muestras
371.14	385.5	62.17	3865.35	-1.16	247.4	470	50

Figura 14. Datos registrados del esfuerzo último a tensión, histograma y datos relevantes de estadística descriptiva. (Imagen de elaboración propia).

COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA FATIGA



Estadistica descriptiva - Coeficiente de resistencia a la fatiga

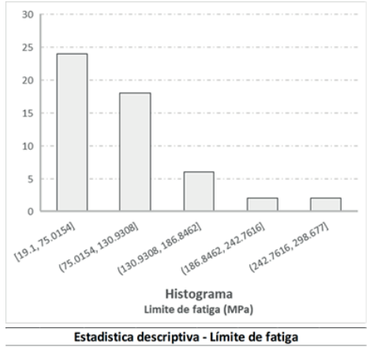
Media	*Mediana*	*Desviación Estandar*	*Varianza*	*Kurtosis*	*Valor Mínimo*	*Valor Máximo*	*# Muestras*
620.20	461.3	423.58	179419.7	-0.13	84.07	1690.51	52

Figura 15. Datos registrados del coeficiente de resistencia a la fatiga, histograma y datos relevantes de estadística descriptiva. (Imagen de elaboración propia).

La distribución de los datos de la Figura 15 asemeja más a una distribución exponencial, por lo que la mayoría de los valores de coeficiente de resistencia a la fatiga se encuentran por debajo de los 700 MPa. Importante a resaltar: la dispersión de los valores es aún más grande que en los otros histogramas. Esto se debe en gran medida a la sensibilidad que tiene la resistencia a la fatiga del material a, tanto los defectos superficiales como los parámetros del proceso de manufactura aditiva. Siguiendo el mismo criterio ocupado para el esfuerzo de cedencia y el último a tensión, se determina como valor genérico a la mediana: 461.3 MPa.
Esto significa que la curva de resistencia a la fatiga genérica que vaya a construir para el AlSi10Mg será un tanto baja.

LÍMITE DE FATIGA

De la misma forma que el histograma de la Figura 15, el histograma de la Figura 16 que muestra los datos del límite de fatiga exhibe una distribución que no es normal, por lo que es claro que se deberá considerar el mismo criterio para los datos anteriores. En este caso, el valor más bajo es el de la mediana, 84.08 MPa, por lo que se opta por considerarlo como el valor genérico para el límite de fatiga.



Estadistica descriptiva - Límite de fatiga

Media	*Mediana*	*Desviación Estandar*	*Varianza*	*Kurtosis*	*Valor Mínimo*	*Valor Máximo*	*# Muestras*
93.78	84.08	60.02	3602.42	1.78	19.1	298.68	52

Figura 16. Datos registrados del límite de fatiga, histograma y datos relevantes de estadística descriptiva. (Imagen de elaboración propia).

Teniendo los valores del coeficiente de resistencia a la fatiga y del límite de fatiga, se cuenta con dos puntos para poder construir la curva de resistencia a la fatiga, conocida también como curva SN. Por un lado, se tiene al coeficiente de resistencia a la fatiga, cuyo valor se tiene a 1 ciclo a la falla (considerando la naturaleza exponencial de la curva SN). Y, por otro lado, se tiene al límite de fatiga el cuál se tiene a 10 millones de ciclos a la falla (al igual que se considera en el resto de la bibliografía consultada). Una vez que se construya la curva SN, será posible determinar el exponente de resistencia a la fatiga, que es otro de los datos genéricos que se necesitan establecer.

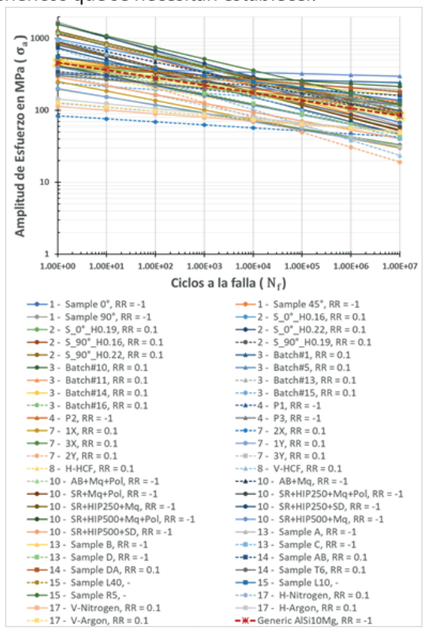


Figura 17. Superposición de curvas de resistencia a la fatiga y la curva genérica. (Imagen de elaboración propia, a partir de la bibliografía consultada).

La Figura 17 muestra la superposición de las curvas de resistencia a la fatiga registradas en la Tabla 1. También contiene la curva de resistencia a la fatiga genérica obtenida a partir del coeficiente de resistencia a la fatiga y del límite de fatiga genéricos. Se resaltó con un brillo amarillo la curva genérica para que se pudiera apreciar de mejor manera su localización respecto al resto de las curvas consultadas. También se puede apreciar que el exponente de resistencia la fatiga resultó no ser tan alto, lo cual muestra un buen nivel de resistencia la fatiga a altos ciclos a la falla. Sin duda la curva genérica será de gran ayuda para poder realizar análisis de fatiga preliminares y durante el desarrollo de cualquier componente que utilice AlSi10Mg fabricado mediante fusión en lecho de polvo.

RESULTADOS

Se realizó una revisión de varios trabajos de investigación para recopilar propiedades de materiales, las cuales podían variar en función a parámetros de proceso, acabados finales a las muestras en estudio, entre otros. El objetivo fue recopilar datos para obtener valores de propiedades genéricas, las cuales pudieran ser utilizadas para realizar análisis por elemento finito a componentes en desarrollo que estén siendo conformados por AlSi10Mg y fabricados mediante fusión en lecho de polvo.

Propiedades mecánicas	
Módulo de elasticidad	69,941.24 MPa
Relación de Poisson	0.32
Densidad	2,630 kg/m^3
Esfuerzo de cedencia	195.7 MPa
Esfuerzo Último a Tensión	371.14 MPa
Propiedades de resistencia a la fatiga	
Coeficiente de resistencia a la fatiga	461.3 MPa
Exponente de resistencia a la fatiga	-0.106
Límite de fatiga	84.08 MPa

Tabla 3. Propiedades genéricas del AlSi10Mg fabricado mediante PBF.

DISCUSIÓN.

Las propiedades de material genéricas plasmadas en la Tabla 3 tienen diversas aplicaciones: análisis estructural de tipo estático lineal, dinámico lineal, modal, y de fatiga. También se puede utilizar en criterios de falla como el de Von Mises o el de Coulomb (utilizados para evaluar el desempeño estructural durante la aplicación de cargas). Estos valores de entrada son los mismos, para cualquier marca de software CAE que se desee utilizar para realizar análisis por elemento finito. Se sabe de la influencia que cada uno de estos parámetros sobre los análisis estructurales. Particularmente, se sabe que el amortiguamiento estructural es una variable con mucha sensibilidad durante los análisis dinámicos lineales, por lo que se reafirma la selección del valor de amortiguamiento estructural genérico como 0.02, a fin de mantener un valor que no sea tan conservador y, al mismo tiempo, obedeciendo la tendencia general de bajo amortiguamiento en metales. La resistencia a la fatiga es otra de las variables sensibles cuando se está evaluado fatiga por vibración aleatoria, esto debido al comportamiento logarítmico de la curva SN. Del mismo modo, se busca evitar los extremos, no ser tan conservador, pero tampoco ser muy holgado con valores de resistencia a la fatiga muy altos.

CONCLUSIONES

De este trabajo se concluye lo siguiente:

•Los valores genéricos para el módulo de elasticidad, esfuerzo de cedencia, esfuerzo último a tensión, coeficiente de resistencia a la fatiga y límite de fatiga fueron determinados satisfactoriamente y están documentados en la Tabla 3.
•Para el valor de la relación de Poisson se determinó que un valor genérico aceptable es de 0.32, de acuerdo con los datos registrados en el trabajo de [10].
•El valor de densidad genérico se determina como 2,630 kg/m3, el cual es el valor máximo que se muestra en la Figura 10 y el trabajo de [8].
•El valor genérico para el amortiguamiento estructural se determina como 0.02. Se opta por el valor del trabajo de [11], el cual es menos conservador.

REFERENCIAS

O. Murat Akbaba, B. Yildirim and G. Canbaloglu, "Vibration based fatigue analysis of a structure integrated on an air vehicle by using experimental and theoretical methods," Results in Engineering, vol. 15, 2022.
N. Limbasiya, A. Jain, H. Soni, V. Wankhede, G. Krolczyk and P. Sahlot, "A comprehensive review on the effect of process parameters and post-process treatments on microstructure and mechanical properties of selective laser melting of AlSi10Mg," Materials Research and Technology, vol. 21, pp. 1141 - 1176, 2022.
J. Praneeth, S. Venkatesh and L. S. Krishna, "Process parameters influence on mechanical properties of AlSi10Mg by SLM," Materials Today: Proceedings, 2023.
L. Afroz, M. Qian, J. Forsmark, Y. Li, M. Easton and R. Das, "Fatigue life of laser powder bed fusion (L-PBF) AlSi10Mg alloy: effects of surface roughness and porosity," Progress in Additive Manufacturing, vol. 10, April 2025.
S. Romano, A. Brückner-Foit, A. Brandão, J. Gumpinger, T. Ghidini and S. Beretta, "Fatigue properties of AlSi10Mg obtained by additive manufacturing: Defect-based modelling and prediction of fatigue strength," Engineering Fracture Mechanics, vol. 187, pp. 165 - 189, 2018.
A. Raja, S. R. Cheethirala, P. Gupta, N. J. Vasa and R. Jayaganthan, "A review on the fatigue behaviour of AlSi10Mg alloy fabricated using laser powder bed fusion technique," Materials Research and Technology, vol. 17, pp. 1013 - 1029, 2022.
N. Read, W. Wang, K. Essa and M. M. Attallah, "Selective laser melting of AlSi10Mg alloy: Process optimisation and mechanical properties development," Materials and Design, vol. 65, pp. 417 - 424, January 2015.
L.-z. Wang, S. Wang and J.-j. Wu, "Experimental investigation on densification behavior and surface roughness of AlSi10Mg powders produced by selective laser melting," Optics & Laser Technology, vol. 96, pp. 88 - 96, 2017.
S. Bai, N. Perevoshchikova, Y. Sha and X. Wu, "The Effects of Selective Laser Melting Process Parameters on Relative Density of the AlSi10Mg Parts and Suitable Procedures of the Archimedes Method," Applied Sciences, vol. 9, February 2019.
L. Hitzler, C. Janousch, J. Schanz, M. Merkel, B. Heine, F. Mack, W. Hall and A. Öchsner, "Direction and location dependency of selective laser melted AlSi10Mg specimens," Materials Processing Technology, vol. 243, pp. 48 - 61, 2017.

X. Sun, F. Jiang, D. Yuan, G. Wang, Y. Tong and J. Wang, "High damping capacity of AlSi10Mg-NiTi lattice structure interpenetrating phase composites prepared by additive manufacturing and pressureless infiltration," Alloys and Compounds, vol. 905, 2022.
C. Isil, A. Radi and Y. Guney Guven, "On the Damping Performance and Mechanical Response of Additive-Manufactured and Thermo-Mechanical Processed AlSiMg Alloy," Metals and Materials International, vol. 30, pp. 2972 - 2981, 2024.
Z. Xu, Q. Wang, X. Wang, C. Tan, M. Guo and P. Gao, "High cycle fatigue performance of AlSi10mg alloy produced by selective laser melting," Mechanics of Materials, vol. 148, 2020.
M. Tang and P. C. Pistorius, "Oxides, porosity and fatigue performance of AlSi10Mg parts produced by selective laser melting," International Journal of Fatigue, vol. 94, pp. 192 - 201, 2017.
E. Brandl, U. Heckenberger, V. Holzinger and D. Buchbinder, "Additive manufactured AlSi10Mg samples using Selective Laser Melting (SLM): Microstructure, high cycle fatigue, and fracture behavior," Materials & Design, vol. 34, pp. 159 - 169, 2012.
S. Romano, L. Patriarca, S. Foletti and S. Beretta, "LCF behaviour and a comprehensive life prediction model for AlSi10Mg obtained by SLM," International Journal of Fatigue, vol. 117, pp. 47 - 62, 2017.
S. Zhou, Y. Su, R. Gu, Z. Wang, Y. Zhou, Q. Ma and M. Yan, "Impacts of Defocusing Amount and Molten Pool Boundaries on Mechanical Properties and Microstructure of Selective Laser Melted AlSi10Mg," Materials, vol. 12, 2019.
P. Ferro, A. Fabrizi, F. Berto, G. Savio, R. Meneghello and S. Rosso, "Defects as a root cause of fatigue weakening of additively manufactured AlSi10Mg components," Theoretical and Applied Fracture Mechanics, vol. 108, 2020.
Z. Wu, S. Wu, J. Bao, W. Qian, S. Karabal, W. Sun and P. J. Withers, "The effect of defect population on the anisotropic fatigue resistance of AlSi10Mg alloy fabricated by laser powder bed fusion," International Journal of Fatigue, vol. 151, 2021.
J. Měsíček, T. Čegan, Q.-P. Ma, R. Halama, K. Skotnicová, J. Hajnyš, J. Juřica, P. Krpec and M. Pagáč, "Effect of artificial aging on the strength, hardness, and residual stress of SLM AlSi10Mg parts prepared from the recycled powder," Materials Science and Engineering, vol. 855, 2022.
N. E. Uzan, R. Shneck, O. Yeheskel and N. Frage, "Fatigue of AlSi10Mg specimens fabricated by additive manufacturing selective laser melting (AM-SLM)," Materials Science and Engineering, vol. 704, pp. 229 - 237, 2017.
H. Asgari, C. Baxter, K. Hosseinkhani and M. Mohammadi, "On microstructure and mechanical properties of additively manufactured AlSi10Mg_200C using recycled powder," Materials Science and Engineering, vol. 707, pp. 148 - 158, 2017.
Z. Xiong, S. Liu, S. Li, Y. Shi, Y. Yang and R. Misra, "Role of melt pool boundary condition in determining the mechanical properties of selective laser melting AlSi10Mg alloy," Materials Science and Engineering, vol. 740, pp. 148 - 156, 2019.
T. Hirata, T. Kimura and T. Nakamoto, "Effect of Internal Pores on Fatigue Properties in Selective Laser Melted AlSi10Mg," Materials Transactions, vol. 63, pp. 1013 - 1020, 2022.
M.-S. Baek, R. Kreethi, T.-H. Park, Y. Sohn and K.-A. Lee, "Influence of heat treatment on the high-cycle fatigue properties and fatigue damage mechanism of selective laser melted AlSi10Mg alloy," Materials Science and Engineering, vol. 819, 2021.
H. Chen, X. Wang and X. Ren, "Size effect on fatigue performance of SLM-ed AlSi10Mg alloy: Role of defect size distribution," International Journal of Fatigue, vol. 182, 2024.
M. Coşkun, K. C. Dizdar, G. Tarakçi, G. Özer and D. Dispinar, "Recycling of additive manufactured AlSi10Mg and its effect on mechanical properties," Materials Chemistry and Physics, vol. 289, 2022.
S. Rakesh Ch, A. Raja, R. Jayaganthan, N. Vasa and M. Raghunandan, "Study on the fatigue behaviour of selective laser melted AlSi10Mg alloy," Materials Science and Engineering, vol. 781, 2020.
D. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, Segunda Edición ed., E. Limusa, Ed., Ciudad de Mexico: Grupo Noriega Editores, 1991.
Vibration Research University, "Random Testing," 2024. [Online]. Available: https://vru.vibrationresearch.com/lesson/what-is-the-psd/.
Altair University, Practical Aspects of Finite Element Simulation 5th Edition, Altair Academic, 2019.
2022. [Online]. Available: https://www.eos.info/03_system-related-assets/material-related-contents/metal-materials-and-examples/metal-materialdatasheet/aluminium/material_datasheet_eos_aluminium-alsi10mg_en_web.pdf.



Alejandro Martinez Sahagun. Ingeniero en Aeronáutica egresado del Instituto Politécnico Nacional, en donde se especializó en el diseño y construcción de aeronaves. Actualmente trabaja en General Motors de México, en el departamento de análisis estructural. Cuenta con un diplomado en Black Belt - Lean Six Sigma por la Universidad de Michigan. Actualmente es líder técnico en el área de análisis por elemento finito dedicado al análisis de sistemas de aire acondicionado y refrigeración de motor. Estudia la Maestría en Manufactura Avanzada en el CIATEQ campus Estado de México.



Victor Samuel Vilchis Bravo. Ingeniero mecánico, por la Universidad de Guanajuato. Realizó la Maestría en diseño mecánico en la Universidad de Guanajuato. Actual trabaja en CIATEQ y durante los 29 años se ha fundamentado en el desarrollo de máquinas y dispositivos mecatrónicos, participado en más de 83 proyectos de desarrollo tecnológico e ingeniería. Tiene diplomados en diplomado en neumática e hidráulica Industrial impartida por la Universidad Autónoma de México-FESTO DIDACTIC-CIATEQ, diplomado en automatización industrial, diplomado en desarrollo de habilidades gerenciales por el tecnológico de Monterrey.

Gestión de Proyectos Pequeños y Medianos en MiPyMes de Ingeniería Basada en el Modelo de Sistemas Viables.

LUIS ALFONSO MAGAÑA MEDINA / Posgrado CIATEQ, A.C.
IGNACIO LEVY GARCÍA DE LA CADENA PALLARES / CIATEQ A.C

ABSTRACT

This study proposes a methodology for managing small and medium-sized projects in engineering consulting firms, based on Stafford Beer's Viable Systems Model (VSM), which entails treating projects as systems. The proposal emphasizes the importance of team autonomy, the necessity of establishing clear roles and responsibilities based on VSM systems and enhancing the efficiency of information flow.

The main objective is to improve service quality, increase customer satisfaction, optimize operational efficiency, and strengthen financial viability, considering the relevant and specific factors of the projects to achieve their success.

This analysis highlights a systemic and holistic approach to project management, as well as the complexity of the human factor and interactions in project development. The proposed methodology offers project managers the opportunity to analyze relevant factors and apply the minimum functions necessary for successful management, minimizing planning times and focusing on the documentation of critical aspects.

RESUMEN

Este estudio propone una metodología para gestionar proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en ingeniería, basado en el Modelo de Sistemas Viables (VSM), por sus siglas en inglés) de Stafford Beer, lo que implica tratar a los proyectos como sistemas. La propuesta destaca la importancia de la autonomía de los equipos de trabajo, la necesidad de establecer roles y responsabilidades claras en función de los sistemas del VSM y la mejora en la eficiencia del flujo de la información.

El principal objetivo es mejorar la calidad del servicio, aumentar la satisfacción de los clientes, optimizar la eficiencia operativa y fortalecer la viabilidad financiera, considerando los factores relevantes y particulares de los proyectos para lograr su éxito.

El análisis resalta un enfoque sistémico y holístico en la gestión de proyectos, así como la complejidad del factor humano y las interacciones en el desarrollo de proyectos. La metodología propuesta ofrece a los gerentes de proyectos la oportunidad de analizar factores relevantes y aplicar funciones mínimas necesarias para una apropiada gestión de sus proyectos, minimizando tiempos de planificación y enfocándose en la documentación de aspectos críticos.

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos constituye un componente estratégico esencial para las organizaciones para alcanzar el éxito en sus proyectos, particularmente en organizaciones de pequeña y mediana escala. Más allá de las deficiencias metodológicas o la imprevisión de los riesgos, algunos estudios coinciden en que las fallas en la ejecución de los proyectos suelen estar asociada a una gestión ineficaz. Esta comprende procesos interrelacionados como la planificación, l etivos del proyecto scon los recursos disponibles y las expectativas de los involucrados. No obstante, persiste una percepción errónea en muchas organizaciones, donde la gestión de proyectos es vista como una carga administrativa adicional en lugar de una herramienta de valor estratégico. En este sentido, Ariza (2017) destaca que la efectividad en la gestión de proyectos se vincula directamente con la satisfacción los usuarios, clientes, y del equipo, el cumplimientos de expectativas y la contribución del proyecto a la estrategia organizacional.

Debe considerarse que los proyectos abarcan diversos aspectos relacionados con la gestión de personas y su experiencia en su desarrollo, más allá de las técnicas específicas. No obstante, es crucial no subestimar el conocimiento teórico en esta área. Según las observaciones realizadas para este estudio, la gestión de proyectos pequeños y medianos es mínima o inexistente en algunas empresas de consultoría en ingeniería, lo que subestima su impacto en la reputación organizacional y los resultados financieros. El análisis se centró en una empresa de consultoría en ingeniería, que enfrentó desafíos en la satisfacción del cliente y dificultades en el cumplimiento de contratos, atribuibles a una gestión inadecuada. Algunas encuestas de satisfacción revelaron deficiencias en la calidad de los productos y servicios, precios poco competitivos y retrasos en las entregas, entre otros problemas.

Este trabajo no pretende abordar el VSM en detalle, sino mostrar cómo funciona para obtener la información básica necesaria y una comprensión razonable de la forma en que opera, así como sentar las bases para establecer una visión sistémica de los proyectos pequeños y medianos que permita a los gerentes de proyectos tener otro punto de vista para su gestión. Con esta visión, los gerentes podrán adoptar las funciones del VSM ad hoc para sus proyectos pequeños y medianos, según las propias necesidades, desde el nivel organizacional hasta el de los propios proyectos, considerando los factores que se determinen como relevantes y sus interacciones.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.

Objetivo General

Plantear una propuesta metodológica para la gestión de proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en ingeniería, que permita mejorar la calidad de los servicios, y por lo tanto, aumentar la satisfacción de los clientes, optimizar la eficiencia operativa y fortalecer la viabilidad financiera de las organizaciones basada en el VSM , que considere los factores relevantes y particulares de los proyectos pequeños y medianos para lograr su terminación satisfactoria.

Objetivos Específicos

1. Realizar una revisión de la literatura con los principales autores sobre el VSM y su aplicación en la gestión de proyectos.

2. Adaptar los Sistemas del VSM a las particularidades de los proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en ingeniería.

3. Integrar una propuesta metodológica para la adopción de las funciones de los Sistemas del VSM para la gestión de los proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en Ingeniería.

DESARROLLO

ASPECTOS RELEVANTES DE LOS PROYECTOS

La afirmación popular de que "todo es un proyecto" implica que todos los marcos y protocolos que rodean unproyecto deben aplicarse a todo el trabajo según Jensen et al (2016) citado en Zwikael & Smyrk (2019), afirman que los proyectos son una condición humana (algo universal y estable en el tiempo), lo que hace que muchos de nosotros organicemos nuestras vidas por proyectos, desde unas vacaciones familiares hasta un cambio de carrera. Como sociedad de proyectos, Zwikael & Smyrk (2019) afirman que los proyectos son omnipresentes como forma de coordinar las actividades humanas. A veces, esto se lleva aún más lejos y las organizaciones se embarcan en iniciativas para "proyectizar" todos sus procesos operativos.

Zwikael & Smyrk (2019) establecen que, en ocasiones, se emprenden proyectos para desarrollar un nuevo proceso operativo (o rediseñar un proceso existente), esto puede implicar cierta confusión en el tratamiento de uno y otro. Al emprender un proyecto, se describen las tareas a realizar por el equipo encargado de desarrollarlo, y siendo únicos los proyectos, este se desarrollará solo una vez para obtener el resultado. En tanto que, en un proceso operativo, se describen en detalle las tareas que deben realizar quienes las ejecutan, tratándose de un proceso operativo, este se ejecutará tantas veces como sea necesario para obtener el resultado.

La guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos del Project Management Institute (PMI), Guía del PMBOK, define un proyecto como "un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único." Project Management Institute, Inc., (2017), lo que lo diferenciía de las operaciones y tareas, que son continuas y repetitivas. Esta distinción permite aplicar metodologías de gestión adecuadas y evita la confusión entre actividades rutinarias y procesos estratégios de trasnformación.

Según la norma UNE-ISO 21500:2022, "las operaciones se desarrollan por equipos relativamente estables, mediante procesos continuos y repetitivos, y se centran en el sostenimiento de la organización". En contraste, "los proyectos los llevan a cabo equipos temporales y generan entregables, salidas, resultados y beneficios. Un proyecto puede gestionarse como un trabajo independiente dentro de una organización o como parte de un programa o cartera más amplio". (Asociación Española de Normalización [UNE] (2022).

Lo mismo puede suceder tratándose de tareas operativas y proyectos pequeños o medianos, donde pueden existir similitudes y no se tiene claridad en la forma de abordarlos, tal como lo establece Lledó & Rivarola citado por Ledezma (2020), las tareas en general suelen confundirse con los proyectos, ya que ambos tienen en común que los llevan a cabo personas, están limitados por recursos escasos (tiempo, dinero, etc.) y necesitan ser planificados y controlados.

Esto toma relevancia en función del tiempo que se le dedicará a la planificación del trabajo, por lo general, los proyectos requieren de una mayor planificación, mientras,que para las tareas operativas no requieren de planificación, puesto que son actividades repetitivas, por lo que, para comprender la importancia de los proyectos, es fundamental darse cuenta de que cada uno produce algo único. Heldman (2021), expone que las actividades cotidianas como responder correos, generar reportes o mantener procesos de producción son operaciones continuas, sin inicio ni fin definidos. En cambio, el desarrollo de un nuevo producto, como una línea de dulces con sabor y forma inéditos, constituye un proyecto, ya que tiene un inicio, un fin y un resultado único. Una vez finalizado, ese resultado puede integrarse a las operaciones diarias, pero el proceso de creación en sí mismo conserva su carácter de proyecto. Esta distinción permite reconocer que cada proyecto produce algo singular, lo que justifica la necesidad e una planificación más rigurosa.

De acuerdo con Zwikael & Smyrk (2019), la ejecución de proyectos y procesos operativos son similares, al menos en ciertos aspectos críticos: consumen recursos, exigen trabajo y producen resultados, y presumiblemente, podríamos ampliar esta lista de características compartidas aún más para incluir muchos otros componentes, como un marco de gestión de riesgos. Zwikael & Smyrk (2019), nos plantean la siguiente pregunta: ¿Qué podemos concluir de esta similitud? En sus conclusiones establecen que todo lo que podemos inferir es que las operaciones comerciales cotidianas y la ejecución de proyectos son ejemplos de procesos, y que claramente, aunque "el negocio como tal" es un caso especial de un proceso, y la ejecución de un proyecto es un caso especial de un proceso, la conclusión "que todo es, por lo tanto, un proyecto" es un non sequitur.

Habiendo dicho todo eso, Zwikael & Smyrk (2019) concluyen que tiene mucho sentido que las organizaciones formalicen los marcos de gestión que utilizan para sus procesos de rutina, pero al hacerlo, deberían preocuparse más por "hacer estos procesos operativos" más que por "proyectizarlos".

Bart citado por Serrador (2015) señala que "En los proyectos de investigación y desarrollo (R&D por sus siglas en inglés), demasiada planificación puede conducir al fracaso, ya que el control formal limita la creatividad, que es crucial en la investigación y desarrollo". También encontró que en algunos casos los gerentes redujeron demasiado el control y la planificación, hasta el punto de que fue perjudicial para el proyecto. La falta de planificación claramente tuvo como consecuencia malos resultados. Esto se traduce a su vez en una falta de control, monitoreo, e incluso pérdidas económicas para las organizaciones.

Para los proyectos pequeños y medianos pareciera suficiente contar con una lista de verificación de los controles a establecer o seguir alguna receta para el éxito. Algunos autores se han dado a la tarea de estudiar el comportamiento de la gestión de proyectos

y han determinado puntos fundamentales para el éxito. Por ejemplo, el Project Management Institute (2017) establece 49 procesos de la dirección de proyectos como marco de referencia, mientras que Meléndez et al. (2021) identifican factores críticos como la planificación estratégica, la motivación del equipo, la adopción tecnológica y la alineación con los objetivos organizacionales. Asimismo, un estudio reciente del Tecnológico Nacional de México llevado a cabo por López Ostria et al. (2022), retoma el modelo de madurez de la gestión de proyectos propuesto por Kerzner en el que establece 16 puntos para la madurez de la gestión de proyectos, aplicándolo como herramienta de diagnóstico en organizaciones reales, lo que demuestra su vigencia y utilidad. Por su parte, Martini y Kalous (2021) destacan cuatro grandes desafíos en la gestión de pequeños proyectos: la escasez de recursos, la ambigüedad en los objetivos, la informalidad en los procesos y la baja visibilidad organizacional. Sin embargo, en las organizaciones, el gerente de proyectos es quien finalmente define cómo se gestionarán los proyectos, adaptando las metodologías a las condiciones reales del entorno.

Serrano-Machado (2022) plantea que un proyecto puede y debe entenderse como un sistema, ya que está compuesto por elementos interrelacionados que persiguen un objetivo común, lo que permite abordarlo desde una perspectiva sistémica. Esta visión se alinea con la definición de sistema propuesta por International Council on Systems Engineering (INCOSE) (2025), que lo describe como "un conjunto de partes o elementos que, en conjunto, presentan un comportamiento o significado que sus constituyentes individuales no presentan.". Esta concepción justifica el uso del VSM desarrollado por Beer citado por Walker (2020) como base para el desarrollo de este trabajo, dado que permite analizar la viabilidad organizacional de los proyectos desde una lógica recursiva, autónoma y adaptativa.

Aunado a la falta de herramientas eficaces y procesos formales para la gestión de proyectos pequeños y medianos, muchas organizaciones enfrentan dificultades adicionales derivadas de la asignación simultánea de sus equipos de trabajo a múltiples proyectos, Esta condición, orientada a priorizar proyectos considerados estratégicamente más relevantes, suele afectar negativamente el desarrollo de los proyectos de menor escala. Entre las consecuencias observadas se encuentran la pérdida de control de las actividades para el desarrollo del proyecto, el incumplimiento en los plazos o entregables, la insatisfacción de los clientes y un deterioro en la motivación y la confianza del equipo de trabajo, lo que impacta directamente en el desempeño general del proyecto.

Pérdidas en la confianza de los clientes y del equipo de proyectos, así como desmotivación en el equipo del proyecto entre otros.

El Modelo de Sistemas Viables

El Modelo VSM desarrollado por Stafford Beer citado por Walker (2020), identifica cinco sistemas esenciales para que una organización funcione de manera autónoma, estable y adaptativa en entornos complejos y cambiantes. Estos sistemas operan de manera interrelacionada y recursiva.

Sistema Uno
Representa las unidades operativas que ejecutan las funciones básicas del negocio, ejecutan las actividades primarias que generan valor. Deben poseer autonomía, siempre que no afecten la cohesión del sistema total. Cada unidad es, a su vez, un sistema viable, reflejando la naturaleza recursiva del modelo. La clave para identificar si una unidad pertenece a este sistema es determinar si realiza funciones esenciales del negocio o si solo brinda soporte.

Sistema Dos
Se encarga de coordinar las unidades operativas del Sistema Uno, manteniendo la estabilidad del sistema y evitando conflictos derivados de la interacción entre ellas, como la competencia por recursos. Este sistema no da órdenes, sino que amortigua las oscilaciones y facilita la cooperación mediante mecanismos de regulación y flujo de información.

Sistema Tres
Supervisa la operación diaria, optimiza la interacción entre las unidades del Sistema Uno y toma decisiones para mejorar la eficiencia global, lo que genera sinergia. Negocia recursos, evalúa resultados y puede intervenir en casos críticos para preservar la viabilidad del sistema. Su función se complementa con el Sistema Tres*, encargado de auditorías y verificación directa de las operaciones para asegurar transparencia y apoyo en la toma de decisiones estratégicas.

Sistema Cuatro
Observa el entorno externo y planifica a futuro. Se encarga de captar información ambiental relevante, anticiparse al cambio y generar estrategias adaptativas. Su desafío es mantener comunicación con el Sistema Tres, logrando un equilibrio entre las demandas del presente y las necesidades del futuro, favoreciendo la innovación y la renovación organizacional.

Sistema Cinco
Define la política y la identidad organizacional. Regula la relación entre los Sistemas Tres y Cuatro, asegurando coherencia y estabilidad. Es el responsable del ethos de la organización y de tomar decisiones sobre cambios fundamentales. Supervisa al Metasistema (Tres-Cuatro-Cinco), vela por la armonía y cohesión del conjunto organizacional, y responde a señales críticas (señales algedónicas) que alertan sobre amenazas u oportunidades significativas.

En conjunto, estos cinco sistemas constituyen un marco para diseñar organizaciones viables, capaces de operar eficientemente, adaptarse al cambio y mantener su identidad en contextos complejos.

METODOLOGÍA

Una vez revisado el VSM, se integrará la parte teórica en conjunto con en la experiencia acumulada del autor en la gestión de proyectos pequeños y medianos, para generar la propuesta metodológica.

Es importante iniciar comentando que la Metodología planteada para la adopción de las funciones de los Sistemas del VSM a los proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en ingeniería, sugiere tratar a los proyectos como sistemas viables para lograr su terminación satisfactoria.

En términos de lo que se necesita para garantizar que varias partes se unan para formar un sistema completo e integrado, pensando en los cinco sistemas del VSM, Walker (2020) establece que los cinco sistemas deben estar presentes, así estos sistemas se convierten en un modelo extraordinariamente poderoso de la forma en que funcionan las cosas.

Factores Relevantes del Proyecto
La gestión de proyectos pequeños y medianos requiere que los gerentes, en coordinación con la alta dirección, identifiquen los factores críticos que inciden directamente en el éxito de los proyectos. Melendez & El Salous (2021), agrupan estos factores en subcategorías, siendo estas el tiempo, calidad, costo y la capacidad gerencial. Por su parte, Padilla, Pino, & Amaya (2021) destacan la misión del proyecto, el soporte de la alta dirección, el plan de proyecto, entendimiento del cliente, el personal del proyecto, las actividades técnicas, la aceptación del cliente, el monitoreo y la retroalimentación, la comunicación y la resolución de problemas como factores críticos de éxito. Ambos estudios coinciden en que el seguimiento continuo y la toma de decisiones oportunas durante las primeras fases del proyecto son fundamentales para garantizar su éxito.

En proyectos pequeños y medianos, donde los recursos son limitados y la estructura organizacional suele ser menos formal, la identificación y gestión de los factores relevantes o los críticos, resulta esencial para garantizar la viabilidad del proyecto. Factores como la planificación, el control, la comunicación y la cohesión del equipo, así como la aceptación del cliente como lo establece Melendez & El Salous (2021), pueden ser comprendidos y gestionados de forma más efectiva si se integran dentro de la lógica del VSM. Esta integración permite a la gerencia no solo monitorear el desempeño del proyecto, sino también adaptarse y responder a los desafíos implícitos en los proyectos.

Por lo general, el uso del VSM, tal como sugiere Beer comienza por definir el Sistema en Foco. En este estudio, el Sistema en Foco se referirá al Proyecto en Foco. Lo tradicional, sería comenzar por definir el Sistema Uno o la operación del Proyecto en Foco. Tratándose de Pequeños y Medianos Proyectos, los cuales están inmersos en un Sistema Superior que puede ser la Organización misma o algún departamento de la Organización, y haciendo referencia a la recursividad, el Proyecto en Foco puede referirse al último o el antepenúltimo Sistema recursivo. Una vez establecido esto, es lógico pensar que el Metasistema del Sistema Superior ya está definido, sea éste la dirección general de la organización, por lo que para el Proyecto en Foco será más sencillo comenzar por definir los Sistemas que compondrán su Metasistema a partir del Sistema Cinco, el Sistemas de Políticas.

El Sistema de Políticas

Para el Proyecto en Foco, el Sistema de Políticas (Sistema Cinco) como se estableció anteriormente, se considera el Sistema de Políticas de la organización, función que deberá llevarse a cabo por medio del gerente del Proyecto, garantizando que se cumplan las políticas de la organización, las del cliente y aquellas que establezca para el proyecto, por lo que tendrá la facultad de adoptar las políticas que considere necesarias, que contribuyan con las demás funciones del Metasistema, y que no contravengan con las políticas establecidas por la organización.

Los sistemas recursivos dentro de las unidades operativas están representados por las estructuras organizativas dentro de cada uno de los Equipos de trabajo, sin embargo, el sistema de Políticas para estos sistemas recursivos integrados en los equipos de trabajo será el que establezca el Gerente de Proyecto, por lo que estas unidades operativas no tendrán un Sistema de Políticas propio, reduciendo su Metasistema al encargado de cada Equipo de trabajo, quien estará en constante comunicación con el Gerente del Proyecto, con su equipo y con su Medio Ambiente Externo, y quien rendirá cuentas en el ámbito de sus competencias.

El Gerente del Proyecto en Foco deberá encargarse de que el equilibrio entre las unidades operativas internas y el mundo exterior, llámese Medio Ambiente Externo, sea estable (Sistema Cuatro), garantizando que el Proyecto pueda adaptarse a los cambios que se presenten durante su ciclo de vida.

Asimismo, debe planificar con base en la información recolectada del entorno, como en casos donde modificaciones solicitadas por el cliente—como cambios de proyecto—impactan en todas las partes del Proyecto en Foco, tales como: los costos, los tiempos de ejecución, y la calidad del proyecto, los riesgos por mencionar algunas. Además, el gerente debe estar atento a las amenazas y oportunidades externas, las capacidades internas del equipo y las acciones necesarias para mantener el proyecto en equilibrio, incluso frente a las fluctuaciones del entorno. En proyectos pequeños y medianos, el gerente de proyecto asume las funciones del Sistema Cuatro, salvo que designe a otra persona para este rol.

Sistema de Información y Monitoreo

En el marco del VSM, el Sistema de Información y Monitoreo (Sistema Tres y Sistema Tres*) es fundamental para evaluar el éxito de los proyectos, especialmente en el contextos de la gestión de proyectos pequeños y medianos. Este sistema no solo mide indicadores clave, sino que también proporciona al Gerente de Proyecto información verificable y oportuna que guía la toma de decisiones estratégicas. La responsabilidad de las unidades operativas incluye garantizar la calidad y relevancia de la

información, mientras que el gerente debe establecer controles, auditorías y estrategias basadas en las capacidades internas del equipo y en el entorno externo. Un sistema de información bien diseñado debe generar las señales algedónicas, que alerten rápidamente sobre posibles fallos y permitan al gerente intervenir de manera efectiva para corregir desviaciones antes de que afecten significativamente el desarrollo del proyecto.

El uso de herramientas tecnológicas, como plataformas en la nube y sistemas de comunicación eficientes, permite al gerente del proyecto acceder en tiempo real a la información generada por las unidades operativas, lo cual facilita la supervisión de los avances y el cumplimiento de los objetivos establecidos. Reuniones periódicas y un sólido sistema de rendición de cuentas ayudan a identificar posibles desviaciones, como sobrecostos o retrasos, que pueden requerir auditorías y negociaciones con clientes o contratistas. De contar con un Sistema de Información y Monitoreo eficiente, es posible anticiparse a contingencias y mitigar riesgos, asegurando que los recursos y las estrategias sean adecuados para lograr los objetivos del proyecto en el tiempo y presupuesto previstos.

El Equilibrio Interno

Según Walker (2020), el equilibrio interno (Sistema Dos) en un proyecto depende en gran medida de las unidades operativas, así como de los Sistemas Dos y Tres, encargados de optimizar, estabilizar y gestionar el flujo de información dentro del equipo del proyecto y hacia el entorno externo. La falta de claridad en roles, responsabilidades y recursos puede conducir al aislamiento de las unidades operativas, generando conflictos internos y repercusiones negativas como incumplimientos, insatisfacción del cliente y pérdidas económicas. Un ejemplo típico ocurre cuando los equipos compiten por recursos limitados, lo que genera retrasos si no hay una asignación adecuada de recursos ni claridad en las actividades asignadas.

Walker (2020) sugiere que el Gerente de Proyecto utilice herramientas de gestión, como programas de actividades y una estructura de división del trabajo (WBS), para abordar problemas operativos y coordinar eficientemente los recursos, especialmente los escasos. Estas herramientas ayudan a definir con precisión quién es responsable de qué y a prevenir conflictos o retrasos. Sin embargo, si el Sistema de Información y Monitoreo no está vinculado con estas herramientas, podrían presentarse desviaciones, como el mal uso de recursos, que afectarían el progreso del proyecto. Por ello, la integración de sistemas y procesos es clave para un balance interno efectivo.

El Sistema de Información y Monitoreo, cuando se integra plenamente con herramientas como la WBS y los programas de actividades, permite al Gerente de Proyecto mantenerse al tanto de posibles problemas y resolverlos antes de que impacten significativamente el desarrollo del proyecto. Esto incluye supervisar las señales algedónicas que alerten sobre desvíos, además de coordinar al equipo de manera que se optimicen sus funciones y se logre una sinergia efectiva entre las unidades operativas y los actores externos del proyecto. Estas prácticas son esenciales para garantizar el éxito durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Autonomía

Para establecer la autonomía en un proyecto, es fundamental que las unidades operativas (Sistema Uno) tengan claro su papel y elaboren su propia declaración de misión. De esta manera, podrán trabajar de manera autónoma dentro de los límites de sus funciones y competencias, siempre y cuando sigan siendo parte integrante del proyecto. El gerente de proyecto debe darles la autonomía necesaria para que realicen su trabajo sin interferencias, pero siempre atendiendo a las políticas establecidas por la organización y el proyecto. Es importante considerar los puntos planteados por Walker (2020) para dar autonomía a las unidades operativas y establecer reglas de intervención en caso de que sea necesario quitarla.

La confianza es un factor clave para establecer la autonomía en un proyecto. El gerente de proyecto debe confiar en que los miembros del equipo pueden realizar su trabajo de manera efectiva y eficiente, sin necesidad de intervención constante. Para ello, es necesario que los profesionales tengan las habilidades y conocimientos necesarios para resolver los problemas y cumplir con los requisitos del cliente y de la organización. El gerente de proyecto, en conjunto con las unidades operativas, deben definir las misiones y funciones de cada equipo, así como los factores relevantes que deben monitorearse durante el ciclo de vida del proyecto. Además, es importante establecer reglas claras y aceptadas por todo el equipo del proyecto, para garantizar que la autonomía se ejerza de manera responsable y efectiva.

RESULTADOS

Tal como lo establece Beer citado por Walker (2020), "un modelo no es ni verdadero ni falso: es más o menos útil." El VSM es una herramienta muy valiosa. En esta propuesta metodológica, es posible visualizar los proyectos pequeños y medianos como Sistemas Viables y tratarlos como tales en consecuencia. Para los gerentes de proyectos, puede representar una herramienta que les ayude a obtener el éxito en sus proyectos.

A continuación, se muestran los resultados de la Metodología propuesta para adaptar los sistemas del VSM a los proyectos pequeños y medianos, así como las funciones y responsabilidades que deberán considerar los gerentes de proyectos en el desarrollo de sus proyectos.

Siendo el Sistema Cinco del Proyecto en Foco un sistema dependiente de la organización y debiendo adaptarse a su entorno, el gerente del proyecto debe de considerar no solo transmitir y garantizar el cumplimiento de las políticas de la organización, sino también adaptar las políticas del medio ambiente en el que se desarrolla el proyecto, así como establecer las políticas propias necesarias para el desarrollo del proyecto. Deberá supervisar las interacciones entre los equipos de trabajo, recolectar información del medio ambiente del proyecto y elaborar estrategias operativas para generar sinergia, no solo dentro del equipo del proyecto, sino también con la organización y el medio ambiente. La Figura 1 muestra al Gerente del Proyecto como responsable del desarrollo de las funciones del Sistema Cinco, interactuando con los Metasistemas, tanto de la Organización como del Medio Ambiente del Proyecto en Foco.



Fig. 1 - Gerente del Proyecto como responsable del desarrollo de las funciones del Sistema Cinco. Elaboración Propia basada en Beer citado por Walker (2020).

El Sistema Cuatro proporciona el equilibrio entre las unidades operativas internas y el mundo exterior, siendo el gerente del proyecto el responsable de mantener este equilibrio. Además, debe planificar el futuro del Proyecto en Foco, garantizar que el equipo del Proyecto pueda adaptarse a los cambios que surjan durante su ciclo de vida, y deberá estar al tanto de los cambios que se presenten y evaluar su impacto para el proyecto, así como desarrollar las acciones necesarias para mantenerlo en equilibrio. Serán funciones del gerente del proyecto vigilar, tanto los cambios que puedan surgir durante su ciclo de vida, así como las amenazas y oportunidades externas que se presenten, y determinar las capacidades de respuesta de su equipo de proyecto. Deberá realizar los ajustes necesarios para mantener el equilibrio del Proyecto en Foco con los cambios del Medio Ambiente, a su vez, el gerente de proyecto deberá supervisar las interacciones entre los equipos de trabajo con el Medio Ambiente, a medida que formule los planes futuros del Proyecto en Foco.



Fig. 2 - Gerente del Proyecto como responsable del desarrollo de las funciones del Sistema Cuatro. Elaboración Propia basada en Beer citado por Walker (2020).

La figura 2 muestra las funciones y responsabilidades que el Gerente del Proyecto debe llevar a cabo para lograr el equilibrio entre el equipo del proyecto y el medio ambiente donde se desarrolla, así como el desarrollo de las estrategias y de los planes futuros. También muestra el flujo de la información que se genera entre el Medio Ambiente y el Proyecto en Foco y que mantendrá al tanto al Gerente del Proyecto de los cambios que se produzcan.

Las funciones del Sistema Tres* no son separables del Sistema Tres mismo, el Gerente del Proyecto debe establecer un sistema de información de "lo que es relevante en el Proyecto en Foco", que pueda generar las señales algedónicas, y además, pueda descubrir lo que va mal tan pronto como suceda, así como definir los controles e indicadores de desempeño para los equipos de trabajo, y realizar las auditorías necesarias para que pueda tomando decisiones con información verificada y oportuna.

El Gerente de Proyecto, además de analizar la información generada por el entorno externo para desarrollar estrategias, debe comprender las capacidades del equipo de trabajo y las herramientas disponibles para garantizar respuestas efectivas. También debe supervisar la rendición de cuentas de los equipos, verificando que la información sea precisa, actualizada y que no existan retrasos o fallas en las comunicaciones. En proyectos pequeños y medianos, es fundamental identificar solo aquello que sean relevante para el éxito del proyecto. Por ello, en caso de requerir auditorías, estas deben limitarse exclusivamente a los procesos que impacten directamente al proyecto, con el fin de optimizar recursos y asegurar un enfoque estratégico en el desarrollo del Proyecto en Foco.

La Figura 3 muestra al gerente del proyecto encargado del Sistema de Información y Auditoría para el Proyecto en Foco, considerando la información generada, tanto de los Equipos de Trabajo, como por parte del Cliente.

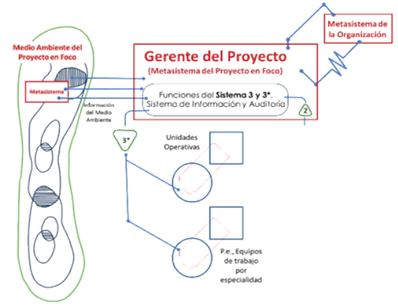


Fig. 3 - Gerente del Proyecto como responsable del desarrollo de las funciones de los Sistemas Tres y Tres*. Elaboración Propia basada en Beer citado por Walker (2020).

Para lograr el equilibrio y la estabilidad del Proyecto en Foco, así como la optimización de las operaciones, el gerente en conjunto con los responsables de los equipos de trabajo, tal como sugiere Walker (2020), deberán considerar lo siguiente:

- Definir claramente los roles y responsabilidades de los equipos de trabajo.
- Darles a los equipos del proyecto tanta autonomía como pueda controlar.
- Negociar la asignación de los recursos.
- Realizar mejoras en los procesos.
- Mejorar la eficiencia general del flujo de la información.
- Producir información completa, actualizada y verificada.
- Valorara las capacidades de los equipos de trabajo.
- De requerirse, aumentar las capacidades de los equipos de trabajo para completar el equilibrio.

La Figura 4 muestra al Gerente de proyecto en conjunto con los responsables de los equipos del proyecto desarrollando las funciones del Sistema Dos, así como las interacciones con los sistemas Uno y Tres. Es responsabilidad de ellos mantener el equilibrio interno del proyecto, evitar cualquier conflicto que surja, así como las oscilaciones que se presenten, representadas por las líneas quebradas, no sólo entre las unidades operativas, sino también con el medio ambiente externo y el Metasistema de la Organización.

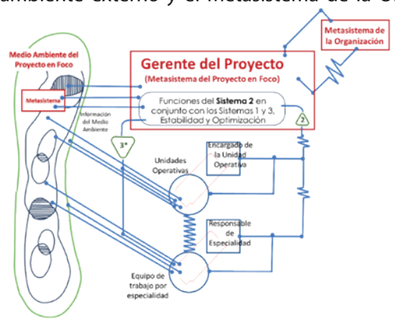


Fig. 4 - Gerente del Proyecto como responsable del desarrollo de las funciones del Sistemas Dos, en conjunto con los responsables de las Unidades Operativas. Elaboración Propia basada en Beer citado por Walker (2020).

Finalmente, se ha determinado que la Autonomía de los equipos de trabajo es una de las principales diferencias con relación a las organizaciones jerárquicas tradicionales de los equipos de proyecto. Garantizar la autonomía de los equipos de trabajo será esencial, puesto que, tal como lo establece Beer citado por Walker (2020) son las Unidades Operativas quienes generan la riqueza de las organizaciones. En este sentido, serán los equipos de trabajo quienes lleven a cabo las actividades para el desarrollo del Proyecto en Foco, por lo que el gerente de proyecto debe garantizar la autonomía en el ámbito de sus competencias sin interferencias, asignar la misión de cada equipo de trabajo, y asignarles los recursos necesarios para garantizar que cada equipo de trabajo tenga suficientes recursos para llevarla a cabo, así como establecer los indicadores de desempeño para evaluarlos. A su vez, los equipos de trabajo deben demostrar que están cumpliendo su misión.

También es necesario que establezca en conjunto con los encargados de los equipos de trabajo los límites de la autonomía, es decir, las condiciones bajo las cuales se perderá, y acordar con todo el equipo del proyecto las reglas de intervención si se superan estos límites.

Como resultado final de la metodología propuesta, se presenta el Esquema para la Gestión de Proyectos Pequeños y Medianos en Empresas de Consultoría en Ingeniería Basada en el VSM de la Figura 5, donde el Gerente del proyecto tiene la responsabilidad de llevar a cabo las funciones del Metasistema, Sistemas Cinco, Cuatro, Tres y Tres*, y el equipo de trabajo el de las unidades operativas, Sistema Uno. Conjuntamente el gerente y los responsables de los equipos de trabajo llevarán a cabo las funciones de los Sistema Dos, y Cuatro.

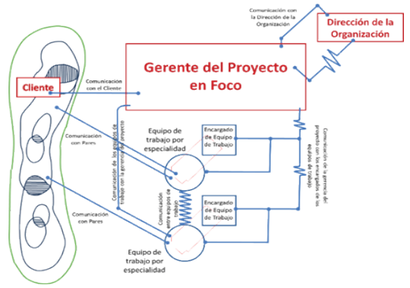


Fig. 5 - Esquema para la Gestión de Proyectos Pequeños y Medianos en Empresas de Consultoría en Ingeniería Basada en el VSM. Elaboración propia, basado en Beer citado por Walker (2020)

Nótese que en la propuesta de la Figura 5, solo se aprecia al Gerente del Proyecto en Foco como el Metasistema del proyecto, al Cliente como el Medio Ambiente y los Equipos de Trabajo como las Unidades Operativas, tal como lo establece Walker (2020) de manera generalizada.

La adaptación del VSM a las particularidades de los proyectos pequeños y medianos en empresas de consultoría en ingeniería propone desarrollar un marco o guía específica que detalle cómo aplicarlo, considerando las particularidades y desafíos típicos de proyectos pequeños y medianos, así como la implementación de pruebas piloto de los sistemas del VSM para validar su efectividad y aplicabilidad en situaciones reales de proyectos.

Cada uno de estos resultados contribuiría a fortalecer la capacidad de las organizaciones para gestionar proyectos de manera más eficiente, mejorar la calidad de los servicios entregados, optimizar recursos y costos, y en última instancia, aumentar la satisfacción del cliente y la viabilidad financiera de la empresa.

CONCLUSIONES

Este trabajo plantea una metodología basada en el VSM para adoptar las funciones de los sistemas que lo integran en la gestión de proyectos pequeños y medianos mediante una visión sistémica, con el fin de mejorar la calidad de los servicios, aumentar la satisfacción del cliente, optimizar la eficiencia operativa y fortalecer la viabilidad financiera de la organización, considerando los factores relevantes y particulares de los proyectos pequeños y medianos para lograr su éxito.

Reconocer la complejidad del factor humano en los proyectos es esencial, por defecto son complejas las relaciones humanas, el reto es el trabajo colaborativo y el comportamiento humano. Autor (2025) sostiene que todo el trabajo técnico se puede desarrollar y ejecutar, e incluso hacer investigación y desarrollar nueva tecnología, sin embargo, la conducta humana de quienes participan en los proyectos es un factor incierto.

Este estudio no hace referencia a los aspectos psicológicos, sociales, culturales, profesionales o de otra índole que se requieran para que, por una parte, los gerentes de Proyectos tengan la confianza suficiente en el Equipo de Proyecto para darles la autonomía a la que se refiere Beer en Walker (2020) en su VSM, y que los profesionales que participan en los equipos de Proyecto puedan generar la confianza en los gerentes de Proyecto para que éste les de tanta autonomía como puedan manejar, sin permitir que degenere en partes separadas y aisladas.

Durante el desarrollo de este trabajo, se pudo identificar tanto las partes como las relaciones que conforman un sistema viable, y se logró adaptar las funciones del VSM a los Proyectos pequeños y medianos, sin embargo, será necesaria su implementación para obtener resultados confiables de esta investigación.

Algunos puntos para considerar por parte de quienes opten por poner en práctica esta metodología en la gestión de sus proyectos pequeños y medianos son:

•Identificar si se trata de un proceso operativo (tareas) o de un proyecto.
•Evitar proyectizar todo.
•Involucrar el comportamiento humano, es decir, el actuar de las personas.
•No limitarse al VSM, sino que los gerentes de proyectos deben considerar esta metodología como una herramienta más entre otras.

A diferencia de las estructuras jerárquicas en la gestión de proyectos, este planteamiento permite tener unidades operativas independientes que generarán los resultados esperados sin la necesidad de que se les asignen tareas, puesto que, son estas unidades operativas quienes establecerán su "misión", lo que implica la responsabilidad de cumplir con ella. En otras palabras, en las estructuras jerárquicas, los subordinados están a la espera de recibir instrucciones para desarrollar el trabajo y entregar los resultados. En cambio, darles autonomía a las unidades operativas implica que será suficiente establecerán su misión conjuntamente ellas y el gerente de proyecto para desarrollar el trabajo sin la intervención de nadie y entregar los resultados esperados.

Si bien el VSM en su conjunto no es tan simple, tiene la ventaja de ser un modelo funcional, lo que permite que una solo persona lleve a cabo varias funciones de este, por ejemplo; los responsables de los equipos de trabajo pueden realizar funciones de los Sistemas Dos, Tres y Tres*, mientras que el Gerente de Proyecto realizará funciones de los Sistemas Tres, Cuatro y Cinco. Todo ello dependerá de que tanta autonomía se le dé tanto al Gerente de Proyecto, como al equipo mismo.

Los proyectos pequeños y medianos, por su naturaleza, cuentan con equipos de trabajo reducidos, lo que representa algunas ventajas y desventajas para los proyectos. Dentro de las ventajas, siendo equipos pequeños, implica más cohesión entre sus integrantes, sin embargo, es posible que el Sistema de Información y Monitoreo no funcione como se espera, puesto que en el caso de que algo algo "no esté bien" no será sencillo identificarlo, pues en el caso de los responsables de los equipos de trabajo se vuelven juez y parte de los problemas a los que se enfrentan.

El Gerente del Proyecto tendrá la responsabilidad de establecer las políticas necesarias en el proyecto, de tal manera que no contradiga las de la organización ni las del cliente, pero que generen un ambiente de trabajo positivo, donde las relaciones entre las unidades operativas, entre las unidades operativas con la gerencia del proyecto, así como con sus pares del medio ambiente, sean de colaboración.

Por último, siempre será necesario establecer reglas, mediante el Sistema Cinco el gerente del proyecto establecerá las reglas generales, pero como se planteó anteriormente, las reglas de intervención y de la pérdida de la autonomía deberán de ser claras y establecerse desde el inicio del proyecto. Por ejemplo, la información no verificada puede poner en riesgo la estabilidad del proyecto, en este caso, es indispensable la intervención y la pérdida de la autonomía de quienes compartan este tipo de información.

DISCUSIÓN

El estudio realizado enfatiza un enfoque sistémico y holístico en la gestión de proyectos para fortalecer la gestión de proyectos pequeños y medianos en entornos dinámicos, alineándose con los principios fundamentales de la Teoría del Sistema Viable (VSM). Se identificó la importancia de comprender la complejidad del factor humano y las interacciones dentro del desarrollo de proyectos, aspecto central en la viabilidad de las organizaciones.

La metodología propuesta permite a los gerentes de proyectos optimizar la toma de decisiones mediante la aplicación de funciones mínimas necesarias, lo que se relaciona con los cinco sistemas del VSM. Además, la reducción de tiempos de planificación y el enfoque en la documentación de aspectos críticos refuerzan la capacidad adaptativa y de retroalimentación eficiente, características clave dentro del marco teórico del VSM. Los hallazgos validan el potencial del VSM como un enfoque sistémico estructurado y flexible para mejorar la gestión de proyectos y garantizar su viabilidad en entornos dinámicos, como lo son los proyectos pequeños y medianos.

La implementación práctica de esta metodología representa una oportunidad para validar su efectividad y explorar su aplicabilidad en proyectos de mayor escala. También se enfatiza el impacto de las interacciones humanas en la gestión de proyectos, resaltando la importancia de comprender fenómenos psicosociales y culturales para asegurar una ejecución efectiva.

La ausencia de estudios previos directamente relacionados con este enfoque resalta la originalidad del trabajo y su potencial para abrir nuevas líneas de investigación en la gestión de proyectos.

Si bien la propuesta metodológica basada en el VSM muestra un potencial significativo en la gestión de proyectos pequeños y medianos, existen ciertas limitaciones que deben considerarse. La falta de estudios previos directamente relacionados con este enfoque representa un desafío en la validación empírica de sus beneficios, lo que hace fundamental su implementación práctica en casos reales para evaluar su efectividad.

Asimismo, la adaptación de los principios del VSM a distintos sectores y tipos de proyectos requiere un análisis más detallado sobre su flexibilidad y compatibilidad con otras metodologías. Futuras líneas de investigación pueden enfocarse en la identificación de mejores prácticas en su aplicación, el desarrollo de estrategias para gestionar la complejidad del factor humano dentro de los equipos, y la exploración de otros modelos que integren el VSM con enfoques tradicionales de gestión de proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento al Mtro Levy, cuyo apoyo, orientación y compromiso han sido fundamentales en mi desarrollo académico y profesional. Su invaluable experiencia, paciencia y dedicación no solo han enriquecido mi formación, sino que también me han inspirado a seguir perfeccionando mi trabajo con rigor académico.

Gracias por su tiempo, por su esfuerzo y por el interés genuino. Sus enseñanzas trascienden lo académico y deja una huella profunda en mi camino como profesional.

Con sincera gratitud, Luis A. Magaña Medina

REFERENCIAS

Araujo González, J. (Mayo de 2022). GESTIÓN DE CALIDAD - Unidad 1: CONCEPTOS IMPORTANTES EN CALIDAD PARTE I. CDMX. Recuperado el Marzo de 2023

Ariza, D. A. (2017). Efectividad de la gestión de los proyectos: una perspectiva constructivista. Obras y Proyectos, 22, 75-85.

Asociación Española de Normalización. (Enero de 2022). UNE- ISO 21500 Gestión de proyectos, prgramas y carteras de proyectos - Contexto y conceptos. Madrid, España: AENOR.

Galinelli, B., & Migliore, A. (2015). Administración y gestión pública ¿De qué hablamos cuando hablamos de gestión? Subsecretaría para la Modernización del Estado; Gobierno de la provincia de Buenos Aires, 34.

Heldman, K. (2018). Project Management JumpStart. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons.

International Council on Systems Engineering. (June de 2025). System and SE Definitions. Obtenido de INCOSE: https://www.incose.org/

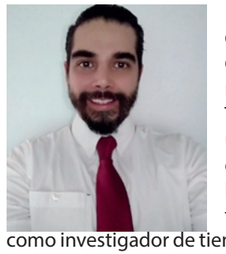
Ledezma, H. C. (2020). Fundamentos de Gestión de Proyectos. San José, Costa Rica: Universidad San Marcos.

López Ostria, M. T., Prieto Uscanga, M., Prieto Uscanga, A., Juárez Rios, M. A., & Gómez Lemus, T. d. (Diciembre de 2022). Aplicación del Modelo de Madurez de Kerzner como herramienta de diagnóstico. INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO REVISTA DIGITAL, 14, 835-846.

Martini, P., & Kalous, P. G. (2021). Small Projects, Big Successes: Managing Smaller-Scale Projects in New England. Obtenido de https://www.hillintl.com/wp-content/uploads/2021/06/Small-Projects-Big-Successes.pdf



Luis Alfonso Magaña es Ingeniero Civil por la UNAM, Mtro. en Ingeniería por la UNAM, realizó estudios de diplomados en BIM por el ITC de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (2012) y diplomado en Administración de Proyectos por el ITESM (2012). A lo largo de su carrera, ha desempeñado roles clave en la gerencia de proyectos, supervisión estructural, supervisión y control de obra en proyectos de infraestructura hospitalaria, edificaciones del ámbito público y privado.



Ignacio Levy es Ingeniero en Sistemas Computacionales (TecNM), Mtro. en Gestión de la Tecnología (UAQ) y Doctorante de Gestión Tecnológica (UAQ). Trabajó de 2001 a 2011 como socio en una empresa de Desarrollo de Software, desempeñándose desde desarrollador hasta puestos directivos. Reforzando su formación, entre 2011-2013 estuvo como investigador de tiempo completo en la UAQ. Desde de 2013 labora en CIATEQ A.C. donde ha apoyado temas de Innovación, Planeaciones Estratégicas y Tecnológicas, integración de informes gubernamentales y catedrático de Posgrado.

Banco pruebas para validación de sensores IoT para el análisis de variables de mantenimiento.

Juan Francisco Cedano Lezcano / CIATEQ A.C Centro de Tecnología Avanzada
Luis Emmanuel Correa Olvera / CIATEQ A.C Centro de Tecnología Avanzada



ABSTRACT.

Proactive-preventive maintenance includes all activities involved in keeping the technological equipment of any company in good condition. Nowadays, the implementation of maintenance within the industry is essential to minimize downtime in production processes. The following work shows the design and implementation of a test bench for the validation of IoT sensors focused on the acquisition and detection of variations caused by the simulation of failures in industrial maintenance variables (temperature, vibration, current and voltage), which were placed in equipment such as: gear motor, electric motor, centrifugal pump and thermal equipment, equipment widely used in today's industry, the design was carried out in SolidWorks software, based on 3D design. The acquisition of the variables will allow the operation of the IoT sensors to determine their conditions in real time, in addition to the creation of a database with the aim of generating and improving maintenance strategies with a 4.0 approach.).

RESUMEN.

El mantenimiento proactivo-preventivo comprende todas las actividades involucradas en la conservación en buen estado de los equipos tecnológicos de cualquier empresa.

En la actualidad, la implementación del mantenimiento dentro de la industria es fundamental para minimizar los paros en los procesos productivos. El siguiente trabajo muestra el diseño e implementación de un banco de pruebas para la validación de sensores IoT enfocados a la adquisición y detección de variaciones provocados por la simulación de fallos en las variables de mantenimiento industrial (temperatura, vibración, corriente, voltaje y presión), los cuales fueron colocados en equipos como: motoreductor, motor eléctrico, bomba centrifuga y equipo térmico, equipos muy empleados medida en la industria actual, el diseño fue realizado en software SolidWorks, tomado como base el diseño 3D. La adquisición de estas variables permitirá la aplicación de estos sensores IoT para determinar las condiciones en tiempo real, además de la creación de una base de datos con el objetivo de generar y mejorar estrategias de mantenimiento con un enfoque 4.0.

Palabras claves: Mantenimiento 4.0, sensores IoT, datos.

INTRODUCCIÓN.

Los sensores IoT se apoyan de internet para conectarse con otros dispositivos y enviar o recibir información. En el caso de los sensores IoT se trata de detectores que integran tecnología que les permite conectarse a través de internet con otros objetos y dispositivos.

Los sensores IoT son la base del mantenimiento predictivo. A diferencia del procedimiento que seguiríamos con una estrategia preventiva, con los dispositivos IoT solo se activarán las ordenes de trabajo cuando los sensores lo indiquen. Esta es la mayor ventaja, ya que se evita intervenciones innecesarias y con ello, se reducen costos y se mejora la gestión del mantenimiento.

Los procesos dependen en gran medida de tecnologías en línea como el internet de las cosas, sistemas ciberfísicos, nube, Big data e Inteligencia Artificial [1]

Al mismo tiempo, los procesos de producción al volverse más automatizados, complejos y dinámicos, requiriendo gestión de mantenimiento más avanzada. En consecuencia, la importancia del mantenimiento ha aumentado debido a su papel en la prestación del servicio para lograr la disponibilidad y seguridad del sistema, y la calidad del producto [2]

El mantenimiento 4.0 abarca las características del mantenimiento inteligente, es decir, la toma de decisiones basada en datos en tiempo real y el uso de tecnologías avanzadas y grandes conjuntos de datos para lograr una rentabilidad en el mantenimiento [3]

La predicción de posibles fallos o conocimiento del estado actual de los activos permiten a las organizaciones realizar labores un mantenimiento preventivo a tiempo, antes de que se produzca una rotura y minimizar los costes de almacenamiento de repuestos al tener una predicción más exacta, para ello se necesita tener una pronóstico basadas en técnicas de correlación de datos, en función de un historial de datos obtenidos a través de sensores y múltiples fuentes de información [4]

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

Objetivo general

Desarrollar un banco de pruebas para validar sensores IoT, en componentes críticos, para determinar sus rangos de operación y confiablidad de los equipos.

Objetivos específicos.

•Diseño y fabricación de un banco de pruebas con equipos dinámicos y estáticos para simulación de fallos.
•Desarrollo de sensores IoT de variables críticas.
•Desarrollo de una interfaz para la adquisición de datos de las pruebas realizas.

PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO

Diseño de banco de pruebas y simulación de fallas.

El diseño de banco de pruebas se realizó en software SolidWorks definiendo en primera instancia la selección de equipos y su montaje además de conceptualizar a través de un AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Falla), la identificación de las variables críticas a monitorear ver Figura 1.

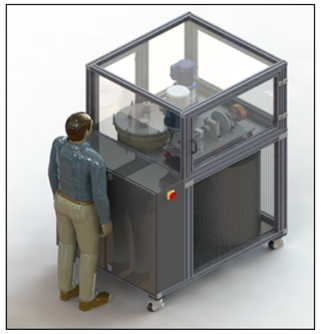


Figura 1. Diseño en SolidWorks banco de pruebas para montaje de equipos Ref. Propia

Variables críticas de mantenimiento en equipos del banco de pruebas.

Para la determinación de variable se revisó el estándar ISO 17359 Monitoreo y diagnóstico de condición de máquina se establece las siguientes mediciones de variables Tabla 1.

Tabla I.
Variables de mantenimiento [5]

Parámetro	Tipo de máquina			
	Motor eléctrico	Moto-reductor	Equipo térmico	Bomba centrifuga
Presión	-	-	*	
Temperatura	*	*	*	*
Vibración	*	*		*
Voltaje	*	*	*	*
Amperaje	*	*		*
Torque	*			

Fabricación del banco del banco de pruebas

La fabricación del banco de pruebas se realizó de acuerdo con los planos con el montaje de los equipos propuesto, en material estructural considerando los sistemas de seguridad para las pruebas ver Figura 2.



Figura 2. Banco de pruebas con los equipos montados. Ref. Propia

Selección de sensores IoT comerciales

Varios dispositivos de bajo costo pueden proveer conexión a internet y realizar acciones preprogramadas.

En este caso para la conectividad se optó por la aplicación de tarjetas ESP32, estos dispositivos es posible transformar un sistema de adquisición de datos local en un sistema IoT que alimente constantemente una base de datos en la nube.

En la figura 3, se muestra el dibujo del sensor de vibración conectado con la tarjeta ESP32.

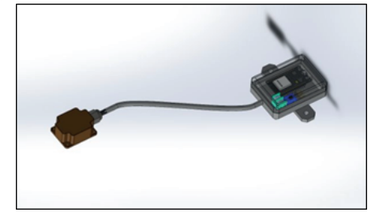


Figura 3. Diseño de conexión de sensor de vibración con tarjeta ESP32 realizado en SolidWorks. Ref. Propia

Diseño de pruebas de sensores IoT.

Las pruebas de los sensores de Internet de las Cosas (IoT) son un proceso que verifica la funcionalidad, el rendimiento, la estabilidad del sensor. Este proceso implica probar tanto el hardware como el software.

Algunas de las pruebas que fueron definidas para los sensores IoT para su confiablidad y funcionalidad son:

•La transmisión de la información recopilada, a través de una red de puerta de enlace y la nube.
•Recopilación de datos de las variables de equipo.
•Integración con software, ya que los datos recopilados por los sensores se integran con el software, que luego los analiza y transmite a los usuarios a través de una aplicación o un sitio web.
•La exactitud y precisión de medición.

La figura 4 muestra la programación realizada de los sensores y la adquisición de datos en tiempo real.

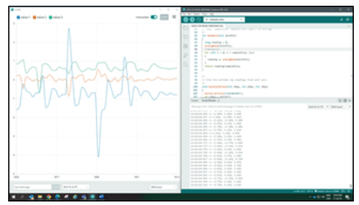


Figura 4. Prueba de programación y adquisición de datos. Ref. Propia

Programación y adquisición de datos

La base de datos se programó en el software MySQL, el cual es un sistema de administración relacional de bases de datos. Una base de datos relacional archiva datos en tablas separadas en vez de colocar todos los datos en un gran archivo. Esto permite velocidad y flexibilidad. Las tablas están conectadas por relaciones definidas que hacen posible combinar datos de diferentes tablas. MySQL es software de fuente abierta.

MySQL permite almacenar, gestionar y recuperar datos de manera eficiente y confiable. Algunas de las características clave de MySQL son:

•Lenguaje SQL: MySQL utiliza el lenguaje SQL (Structured Query Language) para definir y manipular datos. SQL es un lenguaje estándar utilizado para realizar consultas, inserciones, actualizaciones y eliminaciones de datos en una base de datos.

•Escalabilidad: MySQL es conocido por su capacidad de escalabilidad, lo que significa que puede manejar desde aplicaciones pequeñas hasta sistemas empresariales de gran envergadura, gracias a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y conexiones simultáneas.

•Rendimiento: MySQL está diseñado para ofrecer un rendimiento óptimo en situaciones de alta carga de trabajo. Utiliza diversas técnicas de optimización, como el uso de índices, para agilizar las consultas y búsquedas.

•Multiplataforma: MySQL está disponible para una variedad de sistemas operativos, como Windows, Linux y macOS. Esto hace que sea una opción flexible para desarrolladores y administradores de bases de datos.

•Seguridad: MySQL ofrece opciones de seguridad para proteger los datos almacenados, incluyendo la autenticación de usuarios, el cifrado de datos en tránsito y en reposo, y la capacidad de establecer permisos y roles específicos para los usuarios.

•Almacenamiento de datos en MySQL tiene capacidades de almacenamiento en caché que mejoran el rendimiento al almacenar temporalmente los resultados de las consultas frecuentes en memoria para un acceso más rápido.

•Soporte para transacciones: MySQL es compatible con transacciones ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento y Durabilidad), lo que garantiza que las operaciones se realicen de manera confiable y sin corrupción de datos.

•Replicación y alta disponibilidad: MySQL permite la replicación de bases de datos para crear copias idénticas de los datos en varios servidores, lo que mejora la disponibilidad y la redundancia en caso de fallos.

•Comunidad activa: Debido a su naturaleza de código abierto, MySQL cuenta con una comunidad activa de desarrolladores, lo que significa que hay una gran cantidad de recursos, documentación y soporte disponible en línea.

Para la administración de la base de datos se selecciona el programa XAMPP, el cual es un paquete de software libre, que consiste principalmente en el sistema de gestión de bases de datos MySQL, el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script PHP y Perl. El programa se distribuye con la licencia GNU y actúa como un servidor web libre, fácil de usar y capaz de interpretar páginas dinámicas.

XAMPP ofrece una interfaz de control que permite iniciar y detener fácilmente los servicios incluidos en el paquete, como el servidor web Apache y la base de datos MySQL. También puede incluir otros componentes opcionales, como FileZilla (un servidor FTP) y Mercury (un servidor de correo electrónico local), dependiendo de las necesidades del desarrollo.

La adquisición de datos se realizó implantando PHP, siglas de "Hypertext Preprocessor" (preprocesador de hipertexto), es un lenguaje de programación de código abierto especialmente diseñado para el desarrollo web, este lenguaje de programación es interpretado del lado del servidor. Fue creado inicialmente por el programador danés-canadiense Rasmus Lerdorf en 1994. El código PHP suele ser procesado en un servidor web por un intérprete PHP implementado como un módulo, un daemon o como un ejecutable de interfaz de entrada común (CGI). En un servidor web, el resultado del código PHP interpretado y ejecutado formaría la totalidad o parte de una respuesta HTTP. Existen diversos sistemas de plantillas, sistemas de gestión de contenidos y frameworks que pueden emplearse para organizar o facilitar la generación de esa respuesta. Por otra parte, PHP puede utilizarse para muchas tareas de programación fuera del contexto de la web, como aplicaciones gráficas autónomas y el control de drones. También se puede interpretar y ejecutar un código PHP cualquiera a través de una interfaz de línea de comandos (CLI). El intérprete estándar de PHP, impulsado por Motor Zend, es un software libre publicado bajo Licencia PHP. PHP ha sido ampliamente portado y puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web en casi todos los sistemas operativos y plataformas, de forma gratuita.

Algunas características clave de PHP son:

•Incrustación en HTML: PHP se integra fácilmente con HTML, lo que permite a los desarrolladores mezclar código PHP con código HTML para crear páginas web dinámicas. Esto permite la generación de contenido específico en función de la interacción del usuario o de datos almacenados en una base de datos.

•Facilidad de uso: PHP es conocido por su facilidad de aprendizaje, especialmente para aquellos que están familiarizados con conceptos de programación básicos. Su sintaxis se asemeja a otros lenguajes de programación como C, Java y Perl.

•Amplia comunidad y documentación: PHP cuenta con una gran comunidad de desarrolladores, lo que significa que hay una amplia cantidad de recursos, tutoriales y documentación disponibles en línea. Esto facilita el proceso de aprendizaje y resolución de problemas.

•Soporte de bases de datos: PHP es comúnmente utilizado en combinación con bases de datos, especialmente MySQL. Esto permite la creación de aplicaciones web que pueden almacenar, recuperar y manipular datos de manera eficiente.

•Compatibilidad con diferentes sistemas operativos: PHP es compatible con una variedad de sistemas operativos, incluyendo Windows, Linux y macOS, lo que lo hace versátil para diferentes entornos de desarrollo.

•Gran cantidad de frameworks y CMS: Existen muchos frameworks y sistemas de gestión de contenido (CMS) basados en PHP que agilizan el proceso de desarrollo y permiten la creación de aplicaciones web más robustas y escalables, como Laravel, Symfony y WordPress.

•Seguridad: A medida que PHP ha evolucionado, se ha centrado cada vez más en la seguridad, proporcionando características para prevenir ataques comunes como inyecciones SQL y cross-site scripting (XSS).



Figura. 5. Gráfica de variable temperatura. Ref. Propia

Pruebas y resultados

Las pruebas de sensores IoT se realizaron directamente sobre los equipos del banco, a través de la realización de pruebas de comunicación y repetición de estas hasta obtener valores de acuerdo con la colocación en diversas posiciones de los sensores, los cuales se fueron ajustando hasta obtener las gráficas requeridas, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Instalación de sensores IoT en Banco de pruebas. Ref. Propia

De igual manera se realizaron pruebas en equipos en condiciones normales para asegurar su funcionabilidad de los sensores como se muestra en la Figura 8, dando ya escalas en la aplicación con gráficas ya estables, debido a que el banco no permitía trabajo en periodos largos con carga, como se muestra en la Figura 9, en los rangos establecidos.

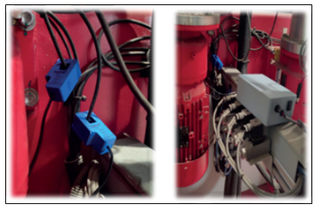


Figura 8. Instalación de sensores IoT en Tornos CNC. Ref. Propia

Resultados del monitoreo de sensores IoT, donde se realizo el monitoreo continuo de las variables criticas ver figura 9.

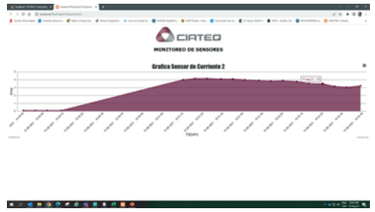


Figura 9. Gráfica de sensor de corriente. Ref. Propia

METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se definieron cinco etapas, las cuales se dividieron por su importancia en el desarrollo y conclusión, contemplando las etapas: conceptualización del sistema, diseño y fabricación, selección y analisis de sensores, programación y adquisición de datos para su analisis y pruebas en banco y condiciones reales para la liberación de los sensores IoT. Todas las etapas se realizan bajo el proceso de proyectos de desarrollo tecnologico de CIATEQ, siendo cada etapa de manera sistemática y su proceso de validación en cada etapa.

RESULTADOS

Se diseño y fabrico un banco de pruebas en el cual se pudieron realizar pruebas de falla en equipos industriales con el propósito de validad los rangos de fallas de las variables críticas en dichos equipos.

Se diseñaron y fabricaron sensores IoT que permitieran monitorearse en tiempo real y poder conocer las condiciones de fallo en equipos industriales.

Se tiene una interfaz para el monitoreo en tiempo real de dichas variables, permitiendo la creación de una base de datos para su posterior análisis.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos los sensores IoT son una oportunidad para establecer una estrategia de mantenimiento predictivo basado en la Industria 4.0.

En los resultados se logró determinar la mejor posición de los sensores y su afectación de su medición por las condiciones externas, por lo que se debe establecer y mejorar en etapas posteriores.

Las pruebas simuladas establecieron parámetros críticos, sin embargo, el desgaste o desajuste diario de trabajo podrá establecer rangos más cortos de modos de fallo en la estrategia de mantenimiento.

La interfaz establece una nueva manera de monitorear los equipos, por lo que para adecuar una nueva estrategia de mantenimiento predictivo es necesario comparar dichos valores con los datos históricos para ir generando la mejor estrategia.

DISCUSIÓN.

La implantación de sensores IoT para establecer una estrategia predictiva con lleva a conocer las capacidades y condiciones de los equipos y determinar los rangos de funcionamiento, así también el personal que manipula los sensores IoT no tiene los conocimientos del personal que normalmente realiza los mantenimientos ni la experiencia en la operación del proceso por lo que ambas capacidades se requieren para establecer una estrategia de mantenimiento 4.0, la base de datos resulta con parámetros nuevos que requieren ser comparados con las condiciones de operación y procesos similares para su análisis y aprovechamiento de la misma, pidiendo utilizarse para implementar IA en la estrategia de mantenimientos proactivos-predictivos.

AGRADECIMENTOS

Los autores damos las gracias por todo el apoyo por parte de la especialidad de manufactura en la etapa de fabricación del banco, así como las áreas de asistencia y calidad por el seguimiento e involucramiento durante la ejecución y desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

[1]F. Rozo-García, «Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0», Rev. UIS Ing., vol. 19, n.o 2, Art. n.o 2, abr. 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n2-2020019.

[2]W. Olarte CM. Botero A., y B. Cañon A., "Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción", Sci. tech, vol. 1, n.o 44, pp. 354–356, abr. 2010 - Buscar con Google». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/search?sca_esv=63d045abdd33d17b&rlz=1C1GCEU_esMX1162MX1162&sxsrf=AE3TifNNujVhPvImvfuNpU_NVqF8zy5a0A:1750365287292&q=W.+Olarte+CM.+Botero+A.,+y+B.+Ca%C3%B1on+A.,+%C2%ABImportancia+del+mantenimiento+industrial+dentro+de+los+procesos+de+producci%C3%B3n%C2%BB,+Sci.+tech,+vol.+1,+n.%C2%BA+44,+pp.+354%E2%80%93356,+abr.+2010&spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwigo7Tpqv6NAxWEI-4BHZk6I_wQBSgAegQIDBAB&biw=1229&bih=584&dpr=1.56

[3]M. Kans, J. Campos, y L. Håkansson, «A remote laboratory for Maintenance 4.0 training and education», IFAC-Pap., vol. 53, n.o 3, pp. 101-106, ene. 2020, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.11.016.

[4]Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0 | South Florida Journal of Development». Accedido: 19 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ojs.southfloridapublishing.com/ojs/index.php/jdev/article/view/197

[5] ISO 17359 Monitoreo y diagnóstico de condición de máquina.



MMA. Juan Francisco Cedano Lezcano Ingeniero Mecánico Eléctrico por parte de la Universidad Veracruzana, Maestría en Manufactura Avanzada por parte de CIATEQ A.C., actualmente esta terminado su proceso de Doctorado en la especialidad de desarrollo tecnológico en la universidad Descartes.
Cuenta con amplia experiencia en la realización de proyectos de Modernización y Mantenimiento correctivo a equipos dentro de la industria Petrolera, ha impartido diversas conferencias en el tema de mantenimiento y liderazgo, en el 2019 realizo la implementación de laboratorios de gran escala de Bioenergía y en 2020 el desarrollo de un laboratorio de energía microhidráulica para la impartición de cátedras a alumnos.



MMA. Luis Emmanuel Correa Olvera. Ingeniero en Automatización (Sistemas Mecatrónicos) por parte de la Universidad Autónoma de Querétaro. Maestría en Manufactura Avanzada por parte de CIATEQ A.C. Cuenta con certificaciones en software de modelado CAD (SolidWorks Profesional- Mechanical Design) y certificaciones por parte de Rexroth (Drive & Control Training Center México) en Hidráulica Industrial y en Hidráulica Proporcional.

Cuenta con experiencia en proyectos de desarrollo tecnológico a lo largo de 14 años en las áreas de diseño mecánico y control automático, programación de PLCs, sistemas de adquisición de datos, diseño electrónico y programación de microcontroladores, diseño de sistemas neumáticos e hidráulicos. Actualmente se desempeña como Ing. Especializado en la gerencia de Máquinas Especiales, parte de la dirección de Sistemas Mecánicos en CIATEQ.



SOMOS SUPERIOR



MAESTRÍA EN ING. INDUSTRIAL

www.slpotosicapital.tecnm.mx



INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR
DE SAN LUIS POTOSÍ, CAPITAL ®

SÉ LO QUE QUIERAS SER

#SÉ SUPERIOR

44 45 72 22 39

Tec Superior -San Luis Potosí

www.slpotosicapital.tecnm.mx