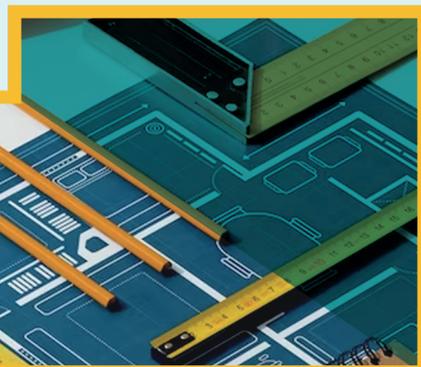




Estudios de ingeniería para contextos en transformación

Análisis, innovación y mejora



María Lucía Romero Ocampo
Perla Rocío Hernández Navarro

Coordinadores

**Estudios de ingeniería para
contextos en transformación:**

Análisis, innovación y mejora

Directorio

Leticia Ramírez Amaya
Secretaria de Educación Pública

Luciano Concheiro Bórquez
Subsecretario de Educación Superior

Ramón Jiménez López
Director General del Tecnológico Nacional de México

Valentín Arquímedes Sánchez Beltrán
Director del Instituto Tecnológico de Ensenada

Estudios de ingeniería para contextos en transformación: *Análisis, innovación y mejora*

María Lucía Romero Ocampo
Perla Rocío Hernández Navarro

Coordinadores



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO
TECNOLÓGICO DE ENSENADA



Esta investigación fue arbitrada por pares académicos

Primera edición, 2023

D.R. © 2023, María Lucía Romero Ocampo
Perla Rocío Hernández Navarro

ISBN: 978-84-19803-94-8

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Índice

Prólogo	7
<i>Aurora I. Máynez Guaderrama</i>	
Presentación	9
Análisis biomecánico del hombro en el trabajo repetitivo	15
<i>Jesús Eduardo Rocha Osuna, Lamberto Vázquez Veloz, Angélica María Clemente Pérez, Sonia Mariscal Lagarda</i>	
Mejora en manejo de carga en torno	27
<i>Iván Alejandro Nevárez Domínguez, Guadalupe Angélica Huerta Linares, Rigoberto Zamora Alarcón, Acela Castillón Barraza</i>	
Análisis multifactorial en la descompresión biomecánica de los discos intervertebrales	37
<i>Lamberto Vázquez Veloz, Manuel Antonio Rivera Rodríguez, Alicia Mariela Barceló Ramírez, Saúl Hernández Ruíz</i>	
Incremento de la capacidad en el área de producción del glucómetro modelo POGO	49
<i>Ricardo Alexis Macías Melendrez, Anel Torres López, Alma Delia Corrales Orozco, José Alonso Urías Celaya</i>	
Manufactura esbelta en la industria maquiladora	65
<i>Aurora I. Máynez Guaderrama</i>	
Implementación de PLC en el área de producción para la reducción de desperdicios	77
<i>Ricardo Alexis Macías Melendrez, Anel Torres López, José Alonso Urías Celaya, Héctor Camacho Martínez</i>	

Simulación matemática para evaluar la práctica sustentable en la industria manufacturera de Mexicali	89
<i>Ana Laura Sánchez Corona, Rafael Ernesto Gastelum Gaxiola, José Alejandro Ascanio Méndez, Ernesto Sánchez Rodríguez</i>	
Aplicación del diseño de experimentos en la selección de factores para corte de laminados cerámicos	101
<i>Jesús Iván Alaniz Muñoz, Gladys Carlota Figueroa Valdez, Arely Murillo Silva, Ismael Hernández Capuchin</i>	
Valoración logística multinomial entre las barreras de entrada y el éxito en los centros cambiarios	115
<i>María José Nozato López, Mirna Dávila Vásquez, Mariana Yarisdi Sital Torres, Roxana Bustamante Aispuro</i>	
Herramientas digitales en línea basadas en inteligencia artificial para los procesos de enseñanza-aprendizaje	131
<i>Ana Laura Mastache González, Julio César Medina Aguirre, Yidanes Alejandra Ibáñez Acevedo, Roxana Michele Rodríguez Loo</i>	
Análisis del índice de reprobación en matemáticas pre, durante y postpandemia de COVID-19	141
<i>Martha Eugenia Maldonado Rodríguez, Perla Rocío Hernández Navarro, Eurydice Carolina Arroyo Sahagún</i>	
Perspectiva de inserción laboral de egresados de ingeniería industrial del TECNМ campus Mexicali	163
<i>Ana Laura Mastache González, Julio César Medina Aguirre, Yidanes Alejandra Ibáñez Acevedo, Roxana Michele Rodríguez Loo</i>	
Intención emprendedora en estudiantes de ingeniería	177
<i>Virginia Guadalupe López Torres, Diego Alfredo Pérez Rivas, Luis Ramón Moreno Moreno</i>	

Prólogo

Ante un entorno cada vez más complejo e incierto, la investigación es una tarea obligada. Esta premisa es aplicable no solo en las ciencias de la salud, sino también en las ciencias sociales y en las ciencias de la ingeniería. En respuesta y de un tiempo a la fecha, cada vez son más las instituciones de educación superior (IES) en México que impulsan a sus docentes en tareas de investigación, asimismo buscan que sus estudiantes aprendan a investigar. Y los alumnos deben comprometerse a hacerlo. Los futuros egresados de las distintas carreras profesionales deben tener siempre presente que si hay algo permanente en su futuro es el cambio. Ante este contexto, deben estar preparados para indagar y aplicar los hallazgos de este trabajo, en beneficio de las personas y de las organizaciones.

A semejanza de pasear o montar en bicicleta, solo se aprende a investigar, investigando. La investigación implica una serie de pasos que en ocasiones pueden resultar simples e incluso obvios, pero no necesariamente es así. En primera instancia, es necesario identificar el problema que se busca resolver y fijar los objetivos que se pretenden alcanzar. Luego, debe revisarse en distintos trabajos académicos, los antecedentes académicos. Paso seguido, hay que determinar y aplicar la metodología más adecuada para resolver o indagar sobre el problema. Una vez concluido lo anterior, se posibilita identificar hallazgos que permitan avanzar en el conocimiento o bien, proponer soluciones asequibles para resolver la problemática. Y en ocasiones, desafortunadamente, el conocimiento se queda en documentos que solamente engrosan la literatura gris, dado que no se materializan en documentos que puedan ser útiles para otras personas.

Actualmente, afrontamos escenarios cada vez más competitivos, los cuales demandan el uso y el aprovechamiento óptimo de sus recursos y capacidades. Me parece que esta será una condición permanente. En el caso de las ciencias

de la ingeniería, el reto es aportar para que las empresas sean capaces de identificar y aplicar soluciones eficientes e innovadoras. Estas soluciones deben tener en mente no solo los activos tangibles (como la maquinaria, los edificios, los equipos de cómputo) sino que deben cuidar, particularmente, los activos intangibles (como el conocimiento y el medio ambiente).

Es decir, los ingenieros deben asegurarse que las empresas produzcan de forma efectiva y eficiente, sustentable e innovadora. Deben ser capaces de utilizar las nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, en beneficio de las organizaciones, pero sobre todo de la sociedad. En esta última vertiente, y dado mi sesgo profesional, debo enfatizar en la necesidad y en la importancia de cuidar a las personas. El contexto de cambio y complejidad en ocasiones provoca que se soslaye al talento humano. Incluso, en ocasiones se diseñan soluciones de ingeniería que solo se basan en aspectos técnicos, y se olvidan de considerar a las personas que harán uso de ellas; en muchas ocasiones, éstas terminan en fracaso precisamente por esa omisión. Por ello, debemos tener presente que más allá de las tecnologías y de la maquinaria, el elemento más importante es y será siempre el ser humano.

En este contexto, este libro sirve como un recurso esencial para estudiantes, académicos y profesionales interesados en las ciencias de la ingeniería y su impacto en el panorama científico mexicano. A través de un análisis profundo y reflexivo, se promueve una comprensión más completa de cómo estas disciplinas han sido un motor de cambio y desarrollo en México y cómo desempeñarán un papel central en la creación de un futuro más próspero y sostenible.

El texto integra documentos que parten de estudios más amplios y que dan cuenta de los avances que se han desarrollado en las ciencias de la ingeniería en torno al análisis de las formas de trabajo en la industria, el uso de la simulación como herramienta de análisis y diseño de escenarios en el ámbito territorial del norte de México. Esperamos que los lectores encuentren inspiración en estas páginas para explorar más a fondo las ciencias de la ingeniería y su relevancia en el marco científico de México.

Dra. Aurora I. Máynez Guaderrama¹

¹ Profesora-Investigadora adscrita al Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Presentación

Las ciencias de la ingeniería analizan fenómenos físico-tecnológicos en términos de conceptos de diseño que se basan en interpretaciones funcionales de los fenómenos. Usa principios científicos diferentes, integra las ciencias biológicas, químicas, matemáticas y físicas con las artes, las humanidades, las ciencias sociales y las profesiones para abordar los desafíos más exigentes y promover el bienestar de la sociedad global a partir de proporcionar una base de conocimiento para la comprensión y el diseño de tecnología (Boon, 2020; Şen, 2012).

La ingeniería industrial es un actor relevante dentro de las ciencias de la ingeniería, su carácter multidisciplinar juega un papel importante en el desarrollo y optimización de diferentes sistemas a nivel macro y micro; se destaca que en muchos países tiene una fuerte correlación con su desarrollo industrial y económico, se encuentra en proceso de expansión y sus campos de investigación incluyen la tecnología de la información, los sistemas inteligentes, la optimización, la calidad y la gestión de la cadena de suministro (Dastkhan y Hossein, 2011).

En el noroeste de México, los Institutos Tecnológicos a través de la Academia Estatal de Ingeniería Industrial impulsan el desarrollo de proyectos de investigación y estudios empíricos y aplicados, muchos de ellos son el elemento de vinculación con los sectores productivos y sociales que permite acceder a analizar la realidad compleja de empresas y organizaciones a fin de coadyuvar en la generación de propuestas y soluciones. Una muestra de dichos proyectos y estudios integran los 13 capítulos del presente documento.

Los primeros tres capítulos analizan desde la ergonomía las posturas y posiciones de los trabajadores en el desarrollo de sus tareas, se enfocan en el análisis y rediseño de los sistemas de trabajo, tomando como eje central al ser humano para incidir favorablemente en la salud ocupacional de los

trabajadores. En el capítulo I, denominado Análisis biomecánico del hombro en el trabajo repetitivo, se muestra el diseño metodológico implementado para elaboración de un instrumento detallado de la anatomía y biomecánica del hombro en los movimientos predominantes en el trabajo repetitivo, Se establece una valoración cualitativa del riesgo que un operador mantiene en su actividad y con ello se está en posibilidad de generar acciones y estrategias que permitan a la entidad productiva implementar medidas ergonómicas en el lugar de trabajo.

En el capítulo II, Mejora en manejo de carga en torno, se presenta un análisis del estado actual del área de trabajo, seguida de la toma de tiempos y mediciones de temperatura, humedad, luz y sonido con los instrumentos especializados, para posteriormente dividir el área de máquinas y herramientas en cuadrantes para su análisis y evaluación. Se realizaron las medidas de iluminación, sonido, temperatura y humedad para así, analizar los valores mediante las normas oficiales mexicanas correspondientes y plantear soluciones.

En el capítulo III, Análisis multifactorial en la descompresión biomecánica de los discos intervertebrales, se diseñó un procedimiento de alineación no invasiva que reduce el impacto biomecánico del trabajo repetitivo y manejo manual de cargas. Direccionando la investigación en el desarrollo de una máquina ergonómica para la descompresión del disco intervertebral. Por medio de un análisis estadístico multivariante, aplicando regresión lineal multivariante y el análisis factorial multivariante. Esto genera una disminución en la complejidad del proceso de descompresión, ya que al manejar solo las variables de mayor impacto implica menos registro, obtención de medidas anatómicas y mecanismos de hidratación. Sin embargo, las principales limitantes que se prestan son el manejo aun complicado de la acción pragmática de la máquina, que hasta este momento sigue siendo manual. Por ello, es importante la aplicación de herramientas mecatrónicas que logren automatizar el proceso de descompresión.

Los capítulos 4 al 6 reportan estudios que buscan mayor productividad, el principal aporte de la ingeniería industrial, que a través de la gestión de procesos, personal y materiales busca la productividad, eficiencia y gestión de oportunidades, primero se enfoca en el sistema en equilibrio y su funcionamiento, para luego desarrollar herramientas y técnicas de mejora continua (Acevedo, Cachay y Linares, 2017).

El capítulo IV titulado Incremento de la capacidad en el área de producción del glucómetro modelo pogo, sus autores presentan un estudio de caso en una empresa de productos médicos cuyas líneas de producción carecen de tiempos balanceados, ilustran un análisis de balanceo de las líneas de producción del glucómetro modelo POGO, cuyo resultado permitió aumentar la capacidad de producción y alcanzar el requerimiento de la demanda del cliente. En el capítulo V, Manufactura esbelta en la industria maquiladora de exportación en Ciudad Juárez”, por medio de un estudio cuantitativo, no probabilístico, descriptivo y transversal, se identificó el uso de prácticas de manufactura esbelta en este sector. Los resultados evidencian que estas prácticas permiten identificar fallas en las máquinas, pero aun representa un reto de uso el cambio en el diseño de las estaciones de trabajo. El capítulo VI, Implementación de PLC en el área de producción para la reducción de desperdicios, reporta un estudio sobre la relevancia de la automatización de procesos a partir de la existencia de tecnología a costo accesible. Los autores describen como se programó una PLC con la que se logró reducir desperdicios de laca y sellador en el área de producción de patinetas, lo que liberó espacio que ocupaba el material reciclado. La reducción agilizó el proceso de aplicación de laca en un 13.43% y de sellador en un 14.24%. También se aumentó la productividad en un 15.71% y un 16.84% y aumentó el rendimiento de laca en un 12.34% y un 10.03% de sellador.

Los capítulos VII y VIII ilustran estudios que incorporan técnicas cuantitativas robustas, como son la simulación y el diseño de experimentos. En el caso de la simulación esta permite recrear escenarios para su estudio, lo que reduce el costo de experimentación e incrementa el nivel de control que se tiene sobre un modelo de sistema. En el capítulo VII Simulación matemática para evaluar la práctica sustentable en la industria manufactura de Mexicali, se describe la evaluación de 14 empresas manufactureras de la ciudad de Mexicali para determinar en base a la información porcentual obtenida de dichas empresas la importancia de la aplicación de la práctica sustentable enfocada en la reducción y eliminación de los ocho desperdicios mencionados, logrando evaluarlos. Con la información obtenida se estimó el comportamiento de la práctica sustentable a través de la obtención de la ecuación matemática por medio del método de momentos de estimación estadística.

El capítulo VIII Aplicación del diseño de experimentos en la selección de factores para corte de laminados cerámicos, muestra un estudio experimen-

tal que ilustra la aplicación del método DOE para encontrar los parámetros óptimos del corte con láser, con el propósito de reducir los rechazos de corte de laminados cerámicos. Se identificaron los factores que pueden afectar el proceso de corte de mini capacitores con láser YAG, con ello se estandarizó la instrucción de trabajo para el proceso de corte.

Las empresas se desarrollan en mercados cada vez más competitivos, por ello el impulso del emprendimiento debe realizarse a partir del conocimiento, que permite mejor toma de decisiones, en el capítulo IX Valoración logística multinomial entre las barreras de entrada y el éxito en los centros cambiarios, los autores muestran un análisis multivariante que les permitió conocer el impacto que tienen las barreras de entrada: accesibilidad a los clientes, sistema de seguridad eficiente, competitividad en precio, regulaciones del sector y monto de la inversión en el éxito de los centros cambiarios de Sonora.

Los últimos cuatro capítulos presentan estudios vinculados a la educación, formación de ingenieros y mercado laboral. Sirven como diagnósticos que permiten conocer el estatus y diseñar estrategias de mejora de procesos y posicionamiento. El capítulo X Herramientas digitales en línea basadas en inteligencia artificial para los procesos de enseñanza – aprendizaje, los autores ante el avance de la tecnología digital demuestran la necesidad que tienen los profesionales de actualizarse en herramientas y lenguajes como Bing chat, ChatGPT y Bard, herramientas capaces de generar y comprender textos naturales con un alto grado de precisión y fluidez, dando la posibilidad de generar, crear y elaborar material en lenguaje natural mediante sus mecanismos automatizados que permiten el acceso y la difusión del conocimiento, así como para la interacción y la personalización del aprendizaje. Destacan los desafíos y riesgos éticos, que ilustran la necesidad de seguir capacitando y actualizando adecuadamente a los maestros que trabajan en la educación superior como línea de seguimiento.

Las matemáticas son fundamentales para el desarrollo de la ingeniería, potencian el análisis cuantitativo, en particular las habilidades matemáticas vinculadas a modelar, analizar e interpretar los datos y resultados obtenidos, comunicarse en un lenguaje exacto y preciso. Actualmente la realidad puede categorizarse de naturaleza no-determinista, las relaciones que definen la dinámica de los sistemas son de naturaleza caótica, lo que demanda manejo de herramientas robustas de matemáticas (Sharhorodska, *et al.*, 2018; Román y Torres, 2007). El capítulo XI Análisis del índice de

reprobación en matemáticas pre, durante y postpandemia de COVID-19, las autoras analizaron la problemática de bajo rendimiento en las materias de matemáticas en cuatro carreras de ingeniería, para este análisis recolectaron datos de reprobación antes de pandemia, durante y después de la misma. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los índices de reprobación entre períodos o carreras. La asignatura de Álgebra Lineal presentó la mayor reprobación en todas las etapas, atribuida a su complejidad. Los hallazgos permiten orientar estrategias de enseñanza y refuerzo académico. A pesar de los desafíos impuestos por la pandemia, los índices de reprobación no mostraron un aumento significativo.

El capítulo XII Perspectiva de inserción laboral de egresados de ingeniería industrial del TECNM campus Mexicali, presenta un estudio de inserción de egresados en el mercado laboral con datos obtenidos por medio de una encuesta de seguimiento. Los hallazgos destacan la saturación del mercado, la escasez de empleos, la falta de correspondencia entre la oferta y la demanda educativa, y las brechas de género.

El último capítulo, XIII Intención emprendedora en estudiantes de ingeniería, presenta una investigación descriptiva-correlacional. Los sujetos de análisis fueron estudiantes de primero y noveno semestre de las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Gestión Empresarial. Los autores destacan que entre mayor es el grado de avance académico de la muestra, se presenta una disminución de la intención por emprender, por ello la enseñanza del emprendimiento debe ser producto de un proceso planeado, donde primero se defina un perfil docente, por medio de un plan de capacitación se prepare a los actuales docentes y para las futuras contrataciones se busque reclutar a profesionales que ya tengan dichas características y competencias, de tal forma que se conviertan en mentores de futuros empresarios, asegurándose que cuenten con las competencias necesarias y que éstos sean impulsores y promotores de una cultura de emprendimiento que permee a todos los estudiantes de la Institución.

Este libro tiene como propósito dar a conocer los beneficios y ventajas que se generan a partir de proyectos de investigación y estudios, asimismo impulsar su desarrollo. Les invitamos a leer los distintos capítulos de la obra, los cuales pueden ser usados por docentes como ejemplos y estudiantes dado que describe cómo se aplican ciertas técnicas a situaciones reales. Asimismo, es una muestra de lo beneficioso que resulta la vinculación academia y sectores productivos y sociales, en sinergia para el análisis de problemas y diseño de soluciones.

Referencias

- Acevedo Borrego, A. O., Cachay Boza, O., & Linares Barrantes, C. (2017). Enfoque de productividad y mejora en el ingeniero industrial de San Marcos. Estudio exploratorio para competitividad de categoría mundial. *Industrial Data*, 20(1), 95-104. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13502>
- Boon, M. (2020). Scientific methodology in the engineering sciences. En D. P. Michelfelder y N. Doorn (Eds). *The Routledge Handbook of the Philosophy of Engineering* (76-91). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315276502>
- Dastkhan, H. y Hossein, M. S. (2011). Study of trends and perspectives of industrial engineering research. *The South African Journal of Industrial Engineering*. 20(1), 1-12. 10.7166/20-1-79.
- Román Flores, Heriberto E, & Torres Silva, Héctor. (2007). Matemática e ingeniería: nuevas conexiones. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 15(3), 216-217. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052007000300001>
- Şen, Z. (2012). Engineering science and philosophy. *International Research Journal of Engineering Science, Technology and Innovation*, 1(1), 14-25.
- Sharhorodska, O., Padrón Alvarez, A. y Bedregal Alpaca, N. (2018). Las matemáticas y la formación del ingeniero, como una relación Simbiótica. *Referencia pedagógica*, 6(2), 175-189.

Análisis biomecánico del hombro en el trabajo repetitivo

Jesús Eduardo Rocha Osuna, Lamberto Vázquez Veloz¹,
Angélica María Clemente Pérez, Sonia Mariscal Lagarda.

Resumen

Las tareas consideradas como repetitivas en la industria, enmarcan un rol de suma importancia en los sistemas de producción, ya que logran establecer una alta flexibilidad en las acciones que realizan. A su vez, mantienen un conjunto de características que impactan de forma negativa a la estructura anatómica del operador y se hace presente lo denominado Trastorno Músculo Esquelético. Monotonía, tiempos de ciclo cortos, repetitividad de movimientos, posturas forzadas, estrés por contacto, son las principales características que implican el trabajo repetitivo. Siendo el hombro una de las partes anatómicas más afectadas por este tipo de tareas. Este estudio pone de relieve cómo los diversos movimientos que realiza el hombro en el trabajo repetitivo, pueden contribuir a la aparición de condiciones de riesgo que lesionan o dañan la integridad física del operador. El trabajo investigativo analiza la biomecánica del movimiento en los diferentes tipos de tareas repetitivas, establece los músculos que intervienen en las actividades que desarrolla el operador y enmarca una relación entre las patologías que se presentan en el hombro y las tareas repetitivas que realiza el trabajador. El establecer la relación anteriormente descrita genera una plataforma de soporte para el desarrollo de

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Agua Prieta.
Autor de correspondencia contactar en vazquez@aguaprieta.tecnm.mx

un instrumento electrónico que mida las ondas eléctricas presentes en la actividad muscular al realizar la tarea, ello permite recopilar los niveles de actividad muscular en la consecución de la tarea y valorar la intensidad del potencial eléctrico que se está convocando. Lo que se presenta como una nueva línea de investigación.

Palabras clave: Biomecánica, hombro, trabajo repetitivo.

Introducción

En México, la Ley Federal del Trabajo identifica los Trastornos Músculo Esqueléticos como un tipo de enfermedad derivada de la actividad laboral continua y a menudo intensa. Dichos trastornos son un conjunto de condiciones patológicas que afectan el sistema locomotor humano, causando lesiones inflamatorias o degenerativas en músculos, tendones, articulaciones, ligamentos, nervios y huesos (Kuorinka, 1998). Se observan con frecuencia en áreas como los hombros, codos, muñecas, manos y en particular en la columna vertebral, en las zonas cervical y lumbosacra (Kucera *et al.*, 2009).

Recientemente, en las estaciones de trabajo manual de la industria manufacturera en el noreste de Sonora, se ha notado un incremento preocupante en los Trastornos Músculo Esqueléticos de origen laboral, específicamente en el hombro. Esto ha impulsado un interés por desarrollar un proyecto de investigación que busque responder a la pregunta: ¿Cómo se pueden analizar los aspectos laborales repetitivos que conducen a la aparición de Trastornos Músculo Esqueléticos en el hombro? (Abdullah *et al.*, 2023).

Este trabajo constituye la primera fase de un proyecto más amplio. El objetivo global incluye principalmente encontrar la relación entre el trabajo repetitivo, los músculos que intervienen en su ejecución y las patologías que se pueden presentar en el desarrollo propio de la actividad, una vez cubierto lo anterior se está en posibilidad de establecer un método de valoración ergonómica para las actividades repetitivas que implican el uso del hombro, enfocándose en el riesgo asociado con el trabajo del operador. Esto se hará a través del estudio de las señales electromiográficas (EMG) (Guo *et al.*, 2020), producidas por los músculos durante el proceso de contracción-relajación, cuando se genera un potencial de acción.

Es importante mencionar que el potencial de acción de un músculo o fibra nerviosa específica tiene una magnitud fija, independientemente de la intensidad del estímulo necesario para realizar la tarea (Cuéllar Ayestarán & Cuéllar Gutiérrez, 2015). En un músculo, la intensidad de la acción no incrementa la altura neta del impulso del potencial de acción, sino que aumenta la frecuencia con que cada fibra muscular se activa y el número de fibras activas en un instante dado.

Para alcanzar estos objetivos, es necesario, en primer lugar, analizar el funcionamiento biomecánico del hombro en trabajos repetitivos (Jiménez Lasanta, 2001). Este análisis permitirá establecer los mecanismos necesarios para adquirir, analizar y procesar señales bioeléctricas. Así, se podrá lograr una valoración más precisa del riesgo ergonómico asociado con las actividades laborales que involucran el uso del hombro.

Objetivos

Desarrollar un protocolo de análisis biomecánico para evaluar la funcionalidad del hombro durante actividades laborales repetitivas.

Objetivos específicos

- Identificar las principales teorías que evidencien los análisis epidemiológicos referidos a los Trastornos Músculo Esqueléticos y la biomecánica del hombro durante el trabajo repetitivo.
- Analizar la biomecánica de los movimientos implicados en acciones repetitivas del hombro.
- Vincular los movimientos de la articulación del hombro en las tareas repetitivas, con los Trastornos Músculo Esqueléticos de la zona glenohumeral.

Metodología

La metodología implementada en este proyecto se basa en un estudio observacional descriptivo transversal con un enfoque mixto, que se desarrolla en tres etapas:

1. Inicialmente, se realiza un estudio para determinar la prevalencia de los Trastornos Músculo Esqueléticos en el hombro causados por el trabajo repetitivo en las líneas de producción seleccionadas para la investigación.
2. La segunda fase de la metodología implica un análisis detallado de la anatomía y biomecánica del hombro en los movimientos predominantes en el trabajo repetitivo.
3. En la etapa final, se establece la correlación entre el Trastornos Músculo Esqueléticos y la biomecánica del movimiento del hombro durante el trabajo repetitivo.

Resultados

Se llevaron a cabo estudios observacionales en 20 empresas cuyas líneas de producción requerían trabajo repetitivo del hombro. Es fundamental señalar que las líneas de trabajo analizadas están compuestas por varias estaciones que comparten este requisito, además, operan en dos o tres turnos. Por lo tanto, la cantidad de trabajadores expuestos a esta alta demanda de trabajo es considerablemente alta. Se estudiaron 200 operadores con patologías de hombro.

Los trabajos analizados incluyen la repetición en las tareas realizadas por los operadores, en particular, aquellas actividades donde se utiliza mayormente el hombro.

El hombro es la articulación con mayor rango de movimiento en el cuerpo humano, pero también es la menos estable, debido principalmente a su compleja estructura anatómica y biomecánica. Se ubica entre las cinco áreas principales de la parte superior del cuerpo y conecta el brazo con el torso, estando compuesto por dos subregiones: la región torácica y la región escapular.

Los huesos que estructuran la anatomía del hombro son: la clavícula, la escápula y el húmero. La clavícula ayuda a estabilizar la articulación entre el húmero y la escápula, que forman parte de la cintura escapular. La escápula tiene una cavidad de poca profundidad llamada fosa glenoidea, que se articula con la cabeza del húmero, formando la articulación escápulo – humeral, glenohumeral o del hombro. El húmero es un hueso del brazo que se conecta proximalmente con la escápula y distalmente con el radio y el cúbito.

La articulación glenohumeral es la principal articulación del hombro y la articulación con mayor rango de movimiento del cuerpo humano. Está formado por la unión entre la cavidad glenoidea de la escápula y la cabeza del húmero. Esta articulación posee tres grados de libertad, permitiendo orientar el miembro superior con relación a los tres planos del espacio, en disposición a los tres ejes. El eje transversal incluye el plano frontal, lo cual permite al hombro movimientos de flexo - extensión realizados en el plano sagital; en el eje anteroposterior, que incluye el plano sagital, se permiten los movimientos de abducción y aducción los cuales se realizan en el plano frontal; finalmente, en el eje vertical, determinado por la intersección del plano sagital y del plano frontal, se producen los movimientos de flexión y extensión realizados en el plano horizontal, con el brazo en abducción de 90°.

El eje longitudinal del húmero permite la rotación externa e interna del brazo en dos formas diferentes: la rotación voluntaria y la automática. La voluntaria utiliza el tercer grado de libertad y la rotación automática, que se realiza sin ninguna acción voluntaria en las articulaciones de dos o tres ejes. El miembro superior pende en forma vertical a lo largo del cuerpo, de tal forma que el eje longitudinal del húmero coincide con el eje vertical. En la posición de abducción a 90°, el eje longitudinal coincide con el eje transversal, y en la posición de flexión de 90° coincide con el eje anteroposterior; por lo anterior se puede establecer que el hombro es una articulación que consta de tres ejes principales y tres grados de libertad permitiendo movimientos de rotación interna y externa.

La tabla 1 muestra la frecuencia de los Trastornos Músculo Esqueléticos que se presentan en las estaciones de trabajo analizadas, que requieren trabajo repetitivo del hombro. Se describen tanto la patología que provoca el trastorno como la etiología que lo causa (Vicente-Herrero *et al.*, 2009).

Tabla 1. Análisis de la prevalencia de los Trastornos Músculo Esqueléticos del hombro.

Trastorno	Frecuencia	Patología	Etiología del trastorno
Tendinitis del manguito rotador	64	Lesión que se produce en los tendones que unen los músculos del hombro con el hueso del brazo.	Movimientos repetitivos de elevación del hombro, especialmente por encima de la cabeza.
Bursitis	58	Inflamación de la Bursa, bolsa llena de líquido presente en el hombro y que ayuda a reducir la fricción entre los tendones y los huesos.	Movimiento repetitivo y frecuente de los brazos por encima de la cabeza.
Luxación de hombro	12	Lesión que se produce cuando el hueso del brazo se sale de su lugar en la articulación del hombro.	Fuerza excesiva en la articulación, una caída fuerte o un golpe violento en el hombro.
Congelación del hombro	4	Trastorno en el que se produce un dolor intenso y una pérdida de movimiento en la articulación del hombro.	Causa directa desconocida, pero puede ser resultado de una cirugía, una lesión o un trastorno de salud.
Tendinitis bicipital	28	Inflamación del tendón del bíceps, que conecta el músculo bíceps con el hueso del brazo.	Actividades que implican el levantamiento repetitivo de objetos pesados.
Síndrome de pinzamiento subacromial	17	Lesión que se produce cuando los tendones del manguito rotador se comprimen entre los huesos del hombro.	Actividades que implican lanzar, nadar o levantar objetos demasiado pesados.

Fuente: Elaboración propia con información de Vicente-Herrero *et al.* (2009).

En las fases dos y tres de la metodología, se establece una conexión entre los Trastornos Músculo Esqueléticos, los movimientos que desencadenan estos trastornos y las tareas repetitivas que tienen una mayor incidencia en el desarrollo de estas condiciones (Balthazard *et al.*, 2015; Jiménez Lasanta, 2001).

El primer Trastorno Músculo Esquelético que analizaremos es el denominado Tendinitis del manguito rotador, esta patología se presenta principalmente en los movimientos de flexión y extensión. La flexión se estructura como la elevación del miembro superior hacia adelante del cuerpo, disminuyendo el ángulo que se forma entre el brazo y el cuerpo, mientras la extensión establece un movimiento que lleva al miembro superior hacia atrás del cuerpo, reduciendo con ello el ángulo que se forma entre el cuerpo y el brazo (Suárez-Sanabria & Osorio-Patiño, 2013).

Los principales músculos que intervienen en cada movimiento de flexión son el deltoides, pectoral mayor, coracobraquial, subescapular y bíceps. Para el caso de la extensión los músculos son el pectoral mayor, dorsal ancho, redondo mayor, deltoides y tríceps. En la tabla 2 se presentan los movimientos de flexión, extensión y la tarea repetitiva que establece este tipo de movimientos.

Tabla 2. Movimientos vinculados al Trastorno Músculo Esquelético de tendinitis del manguito rotador.

Movimiento	Imagen	Tarea repetitiva
Flexión		
Extensión		

Fuente: Imágenes de Autor.

El segundo Trastorno Músculo Esquelético correspondiente es la bursitis, patología presentada al realizar los movimientos de abducción y extensión.

Siendo el caso de la abducción al ejecutar dicho movimiento, el desplazamiento del miembro superior hacia afuera del cuerpo. Los principales músculos que intervienen en el movimiento de abducción son el deltoides, supraespinoso, subescapular y bíceps. En la tabla 3 se presentan los movimientos, la tarea repetitiva de abducción y extensión vinculados al Trastorno Músculo Esquelético presente.

Tabla 3. Movimientos vinculados al Trastorno Músculo Esquelético de bursitis.

Movimiento	Imagen	Tarea repetitiva
Abducción		
Extensión		

Fuente: Imágenes de Autor.

La tercera patología laboral que podemos encontrar, surge al momento de realizar los movimientos de aducción y abducción. Siendo el siguiente Trastorno Músculo Esquelético, la cual se denomina tendinitis bicipital, cuya patología se desarrolla a partir de la ejecución de movimientos en donde el miembro superior del hombro sea desplazado hacia la línea medial del cuerpo. Los músculos involucrados en el movimiento de aducción son pectoral mayor, subescapular, dorsal ancho, coracobraquial, bíceps y tríceps. En la tabla 4 son presentados los movimientos y la tarea repetitiva de la condición descrita.

Tabla 4. Movimientos vinculados al Trastorno Músculo Esquelético de tendinitis bicipital.

Movimiento	Imagen	Tarea repetitiva
Aducción		
Abducción		

Fuente: Imágenes de Autor.

El cuarto Trastorno Músculo Esquelético llamado síndrome de pinzamiento subacromial corresponde a los movimientos de rotación interna (o medial) y rotación externa (o lateral). La rotación interna es aquella que con el codo en flexión de 90° lleva el miembro superior hacia la línea media, siendo el caso de la rotación externa con el codo en flexión de 90°, lleva el miembro superior hacia afuera. Los músculos que intervienen para la ejecución del movimiento de rotación interna son el músculo coracobraquial, dorsal ancho, redondo mayor, pectoral mayor, deltoides, supraespinoso y bíceps. Siendo así para la rotación externa donde los músculos utilizados para su ejecución son el músculo infraespinoso, redondo menor y deltoides. En la tabla 5 se presentan los movimientos y las tareas repetitivas de los presentes Trastornos Músculo Esqueléticos.

Conclusiones

Los Trastornos Músculo Esqueléticos de origen laboral, son de las principales patologías que se presentan en los trabajos que conllevan alta repetitividad de movimientos, como es el caso de las estaciones de trabajo con ensamble manual de la industria maquiladora y manufacturera localizadas en el norreste de Sonora.

Tabla 5. Movimientos vinculados al Trastorno Músculo Esquelético de síndrome de pinzamiento subacromial.

Movimiento	Imagen	Tarea repetitiva
Rotación interna (o medial)		
Rotación externa (o lateral)		

Fuente: Imágenes de Autor.

El hombro es la articulación del cuerpo humano que mantiene la mayor movilidad y a su vez tiene una gran inestabilidad en su motricidad. Por lo que el impacto del trabajo repetitivo, las posturas forzadas, los inadecuados descansos y los factores ambientales, son muy elevados y conllevan una alta probabilidad de que el operador desarrolle lesiones o daños irreversibles en su anatomía. La investigación detalla el conjunto de movimientos que realizan los trabajadores al desempeñar estas actividades y vincula los diferentes movimientos en función del impacto que ellos presentan en cuanto a las patologías relacionadas con el hombro.

El conocimiento de la biomecánica funcional del hombro permite establecer una valoración cualitativa del riesgo que un operador mantiene en su actividad y con ello se está en posibilidad de generar acciones y estrategias que permitan a la entidad productiva implementar medidas ergonómicas en el lugar de trabajo, proporcionar capacitación sobre técnicas de trabajo seguras, fomentar la rotación de tareas para evitar la repetición constante de movimientos y estructurar programas de ejercicios de fortalecimiento y estiramiento específicos que pueden ayudar a mantener la salud y la fun-

ción del hombro, con todo ello se logra disminuir el impacto negativo de trabajo sobre el trabajador, mejorando su calidad de vida y los resultados empresariales de la industria objeto de estudio.

La relación existente entre los Trastornos Músculo Esqueléticos en la articulación del hombro, los movimientos del hombro requeridos en el trabajo repetitivo y los músculos que intervienen en cada movimiento, establecen la posibilidad de estructurar una plataforma soporte para llevar a cabo un análisis específico de la cantidad de energía que cada músculo convoca al efectuar la actividad laboral, lo que se logra al aplicar los del estudio de las señales electromiografías. Este estudio da como resultado los diferentes niveles de energía que demandan los músculos al realizar la actividad. Entre mayor sea la demanda de energía mayor es el riesgo asociado a que el músculo presente una patología, siendo esta hipótesis una línea de investigación futura.

Referencias

- Abdullah, N. A., Mohamad Shaberi, M. N., Nordin, M. N. A., Mohd Ripin, Z., Razali, M. F., Wan Mamat Ali, W. M. A., Awang, B., & Ridzwan, M. I. Z. (2023). Field measurement of hand forces of palm oil harvesters and evaluating the risk of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) through biomechanical analysis. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 96, 103468. <https://doi.org/10.1016/J.ERGON.2023.103468>
- Balthazard, P., Currat, D., & Degache, F. (2015). Fundamentos de biomecánica. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 36(4), 1-8. [https://doi.org/10.1016/s1293-2965\(15\)74142-3](https://doi.org/10.1016/s1293-2965(15)74142-3)
- Cuéllar Ayestarán, A., & Cuéllar Gutierrez, R. (2015). Anatomía y función de la articulación acromioclavicular. *Revista Española de Artroscopia y Cirugía Articular*, 22(1), 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.jreaca.2015.06.005>
- Guo, F., Liu, L., & Lv, W. (2020). Biomechanical analysis of upper trapezius, erector spinae and brachioradialis fatigue in repetitive manual packaging tasks: Evidence from Chinese express industry workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103012>
- Jiménez Lasanta, A. I. (2001). Biomecánica del complejo escapulohumeral y sus implicaciones en el tratamiento fisioterápico. *Fisioterapia*, 23, 2-8. [https://doi.org/10.1016/S0211-5638\(01\)72961-6](https://doi.org/10.1016/S0211-5638(01)72961-6)

- Kucera, K. L., Loomis, D., Lipscomb, H. J., Marshall, S. W., Mirka, G. A., & Daniels, J. L. (2009). Ergonomic risk factors for low back pain in North Carolina crab pot and gill net commercial fishermen. *American Journal of Industrial Medicine*, 52(4), 311-321. <https://doi.org/10.1002/AJIM.20676>
- Kuorinka, I. (1998). The influence of industrial trends on work-related musculoskeletal disorders (WMSDs). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21(1), 5-9. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(97\)00020-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-8141(97)00020-6)
- Suárez-Sanabria, N., & Osorio-Patiño, A. N. A. M. (2013). Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman. *CES Medicina*, 27, 205-217.
- Vicente-Herrero, M. T., Capdevila García, L., López González, Á. A., & Ramírez Iñiguez de la Torre, M. V. (2009). El hombro y sus patologías en medicina del trabajo. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 35(4), 197-202. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(09\)70931-1](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(09)70931-1)

Mejora en manejo de carga en torno

Iván Alejandro Nevárez Domínguez, Guadalupe Angélica Huerta Linares,
Rigoberto Zamora Alarcón, Acela Castellón Barraza¹

Resumen

Con la intención de conocer e identificar los riesgos del área de trabajo en una empresa, se comenzó con la realización del recorrido en el proceso de torneado en el laboratorio de máquinas y herramientas. Realizando un análisis del proceso y toma de tiempos del proceso actual, se realizó el análisis de las áreas en base al Marco normativo de seguridad y salud en el trabajo establecidas por la Secretaría del Trabajo y previsión social como la NOM-036-STPS-2018 (factores de riesgo ergonómico con respecto al manejo manual de cargas), así como a la NOM-25-STPS-2008 (condiciones de iluminación), NOM-015-STPS-2001 (condiciones térmicas elevadas o abatidas) y la NOM-011-STPS-2001 (ruido). Con la aplicación de la reingeniería, se analizaron los resultados y se implementaron dos propuestas de mejora en las actividades de manejo de cargas en el área de torneado para optimizar el proceso, buscando la eliminación de los problemas que fueron manifestados por los auxiliares de laboratorio y alumnos, logrando mejorar los tiempos de trabajo en un 68%, disminuir los riesgos ergonómicos y mejorar las condiciones de trabajo.

Palabras clave: Normas Oficiales Mexicanas, Reingeniería, Riesgos ergonómicos

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Mexicali.
Autora de correspondencia contactar en acelacastillon@itmexicali.edu.mx

Introducción

Según el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) en México, se registraron del 2008 al 2018 un promedio de 527,802 riesgos ergonómicos por año, entre los que incluye accidentes de trabajo, accidentes en trayecto y enfermedades de trabajo (H. Joel, 2019) y en 2020 se presentaron 397,658 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2021), estos datos relevantes muestran la necesidad de realizar análisis de las estaciones en los centros de trabajo que puedan generar riesgos ergonómicos en los trabajadores generando enfermedades o incapacidades en los trabajadores y si además se realiza la evaluación de estas estaciones mediante las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establece la Secretaría del Trabajo y Prevención Social sobre el marco normativo de seguridad y salud en el trabajo. Algunas de estas normas como la NOM-036-STPS-2018 (factores de riesgo ergonómico con respecto al manejo manual de cargas), la NOM-25-STPS-2008 (condiciones de iluminación), la NOM-015-STPS-2001 (condiciones térmicas elevadas o abatidas) y la NOM-011-STPS-2001 (ruido).

El análisis de las estaciones de trabajo mediante metodologías de mejora continua y reingeniería puede mejorar significativamente los indicadores como la disminución de los tiempos de producción beneficiando así la productividad laboral y el bienestar de su entorno.

Siguiendo lo antes mencionado, el siguiente trabajo expone el análisis del proceso de torneado en el laboratorio de máquinas y herramientas de una empresa aplicando las herramientas de mejora continua como la reingeniería y la evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas con respecto a la seguridad y salud en el trabajo para realizar propuestas de mejora en el proceso y disminuir los riesgos de trabajo de los empleados del área analizada.

Objetivo

El objetivo de este trabajo era conocer e identificar los riesgos en el proceso de torneado en el laboratorio de máquinas y herramientas, mediante la evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas con respecto a la seguridad y salud en el trabajo como NOM-036-STPS-2018 sobre manejo de cargas, así como a la NOM-025-STPS-2008 (condiciones de iluminación), NOM-015-STPS-1994 (condiciones térmicas elevadas o abatidas) y la NOM-011-STPS-2001 (ruido) y por medio de herramientas de reingeniería realizar propuestas que mejoren las condiciones laborales y optimizar los procesos.

Metodología

Como primer punto para la realización del proyecto se aplicó un análisis del estado actual del área de trabajo, seguida de la toma de tiempos y mediciones de temperatura, humedad, luz y sonido con los instrumentos especializados, para posteriormente dividir el área de máquinas y herramientas en cuadrantes para su análisis y evaluación. El área de máquinas y herramientas se encuentra conformada por 8 tornos, esta área fue dividida en 36 cuadrantes, posteriormente el área de trabajo del torno 8, se dividió a su vez en 9 cuadrantes, el resultado de los 9 cuadrantes pertenecientes al torno 4, para cual se seleccionó el número 7, ubicado en el cuadrante D3, para realizar las medidas de iluminación, sonido, temperatura y humedad para así, analizar los valores mediante la NOM-036-STPS-2018 sobre manejo de cargas, así como a la NOM-025-STPS-2008 (condiciones de iluminación), NOM-015-STPS-2001 (condiciones térmicas elevadas o abatidas) y la NOM-011-STPS-2001 (ruido), para así realizar las propuestas de mejora para después realizar mediciones de nuevo, comparando los parámetros y observando las mejoras obtenidas.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos del análisis del proceso de torneado en el laboratorio de máquinas y herramientas sobre el torno número 7 seleccionado, sobre los parámetros de iluminación se compararon con las especificaciones que estipula NOM-025-STPS-2008 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008), muestran buena iluminación dentro de los parámetros igualando o superan los 300 lux, así mismo en la figura 1 y figura 2 se observa que los decibeles no superan los 80 db en todo el taller de máquinas- herramientas.

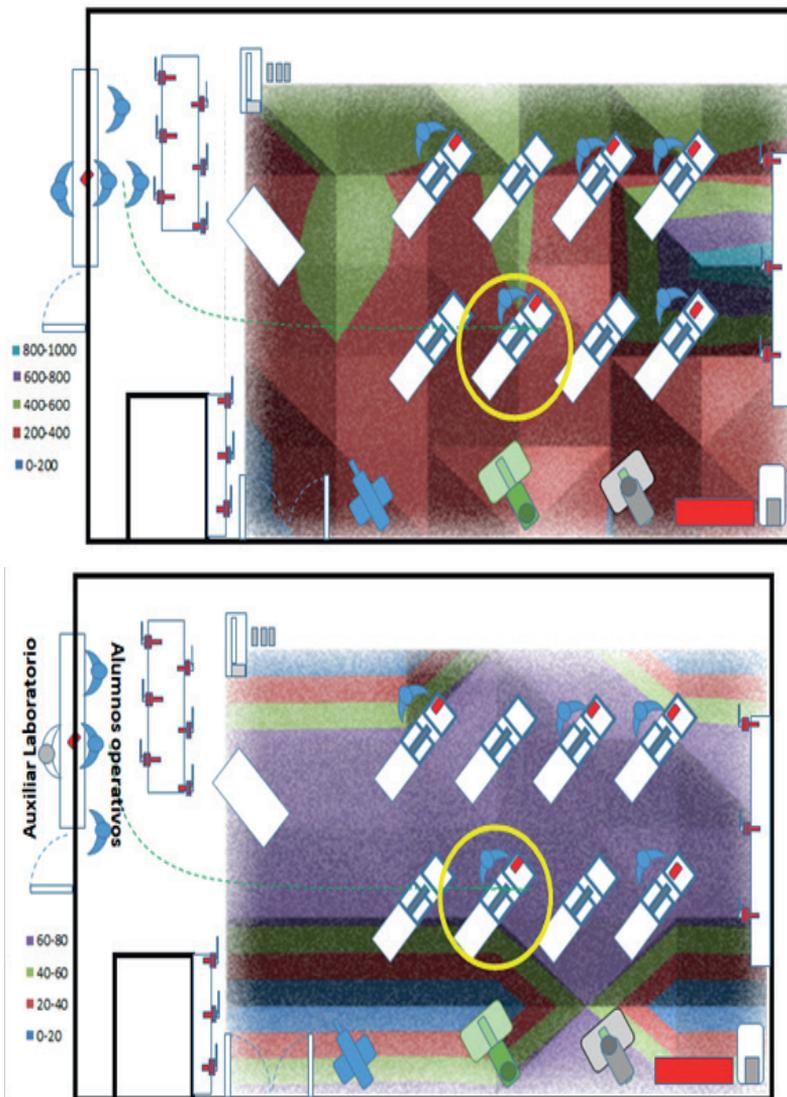
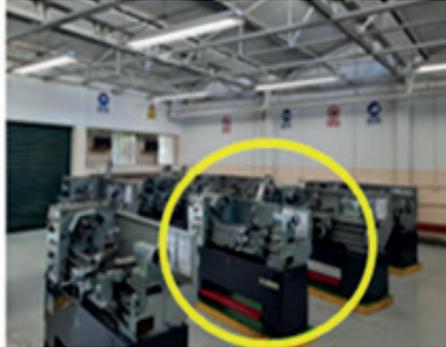


Figura 1. Condiciones de iluminación en luxes y ruido en decibeles, en máquinas-herramientas y torno 7.

Conforme la NOM-011-STPS-2001 TPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2002), los resultados demuestran que los parámetros de iluminación se consideran fuera de riesgo y que no es necesario utilizar tapones auditivos.



TORNO 7				
Luz natural (lux)	Reflejo (lux)	sonido (db)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
400	61	58.5	45	36

Figura 2. Condiciones de iluminación en luxes en máquinas-herramientas y torno 7.

Al realizar las mediciones de humedad y temperatura se detectó que las condiciones no son aptas para desarrollar un trabajo de manera confortable de acuerdo con la NOM-015-STPS-2001 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2002), Con base en la normativa oficial vigente, se encontró que todos los valores estaban fuera de rango, y pudiesen llegar a ser un riesgo en el área de trabajo, ya que se pueden suscitar problemas de salud, como se observa en la figura 3.



Figura 3. Equipos de medición de humedad y temperatura verano 2022.

Los valores de humedad y temperatura fueron tomados durante el verano 2022, en los instrumentos de medición se puede percibir 80% grado de humedad y 92.7 °F, con estos y los valores graficados en su tiempo, permitió recomendar disminuir el tiempo de exposición a esas mediciones y proponer la renta de equipo de enfriamiento temporal que permitirá mejorar las condiciones laborales.

Se realizó la grabación del proceso en video y medición de tiempos para su análisis, donde se observó que la altura para la actividad de dejar la caja sobre el torno era por arriba del hombro como se observa en la Figura 4 y en comparación con NOM-036-STPS-2018 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2018), se detectó un nivel de riesgo ergonómico de valor 3 nivel rojo, donde recomiendo que el brazo no debe pasar más arriba del hombro, ya que se podría ocasionar una lesión, por lo tanto, en este caso NO cumple con la norma.



Figura 4. Muestra las condiciones manejo en el torno 7.

Con respecto al peso de la caja que es de 3 kg aproximadamente y según la gráfica para operaciones de levantamiento según la norma, la actividad de levantar la caja de herramientas estaría en el área verde, además que sólo se realizan 2 traslados, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Muestra las condiciones manejo en el torno 7.

Factores de riesgo	Levantar		Transportar		Equipo	
	Color	Valor	Color	Valor	Color	Valor
Peso y ascenso de la carga/frecuencia de transporte	V	0	V	0		
Distancia horizontal entre las manos desde la parte inferior de la espalda	N	3	N	3		
Región de levantamiento vertical	N	1				
Torsión y flexión lateral del torso: Carga asimétrica sobre el torso (transporte)	V	0	V	0		
Restricciones posturales (posturas incómodas, forzadas o restringidas)	N	1	V	0		
Acoplamiento mano-carga (elementos de sujeción)	N	1	N	1		
Superficie de trabajo	V	0	V	0		
Otros factores ambientales	V	0	V	0		
Distancia de transporte			V	0		
Obstáculos en la ruta (sólo en transporte)			V	0		
Comunicación, coordinación y control (sólo manejo manual de cargas en equipo)						
Puntuación	6		4			
Nivel de riesgo	Medio-posible		Bajo-aceptable			

El nivel de riesgo al dejar o levantar la caja es medio, por lo que fue necesario aplicar una mejora en el puesto de trabajo. En la Figura 5 se puede observar que, con la implementación del uso de un banco de madera, la mano no sobrepasa el hombro, lo cual disminuye el valor de riesgo ergonómico a 1 y nivel naranja.



Figura 5. Muestra las condiciones manejo en el torno 7.

Con la implementación de la reingeniería en este proceso de torneado, nos permitió analizar las actividades del proceso como operaciones, transportes, inspección y demoras para así identificar áreas de oportunidad. Se identificaron que existían demoras en el llenado de los vales, al esperar su turno de recibir y de entregar el material como se muestran en la Figura 6 con un 52.6% del tiempo de las actividades, observando un tiempo operativo efectivo del 68.51%.

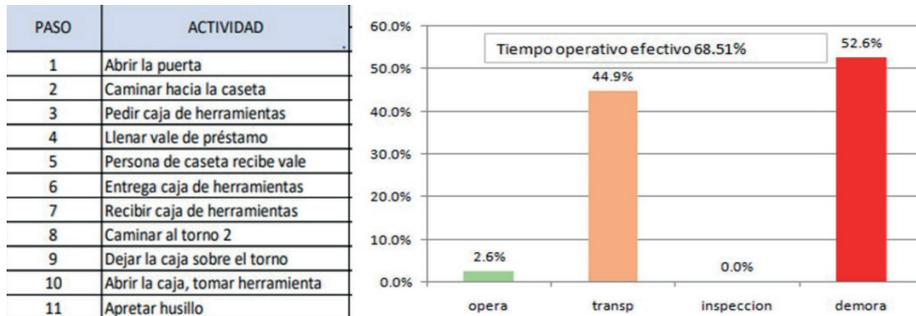


Figura 6. Se muestra el proceso antes de reingeniería.

Al observar los datos anteriores y aplicando la reingeniería se realizaron dos propuestas de mejora para disminuir las actividades que no le agregan valor (demoras): La primera propuesta fue implementar un carro móvil como muestra la figura 7, donde se coloque la caja, y en la parte de arriba hay un tablero para acomodar las herramientas. Al realizar el análisis de la aplicación de esta mejora se observó que se mejoró en un 61.5% y los tiempos se distribuyeron como se muestra en la figura 7.

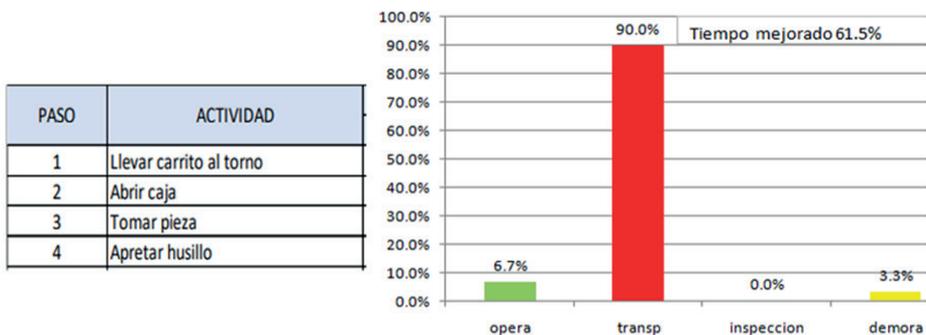


Figura 7. Se muestra la primera propuesta de reingeniería.

Se realizó una segunda propuesta que fue dejar la caja de herramientas sobre el torno, para evitar perder tiempo en pedir la caja y llenar el vale. Al realizar la implementación de esta actividad el tiempo mejoró en un 73.1% como se muestra en la figura 8.

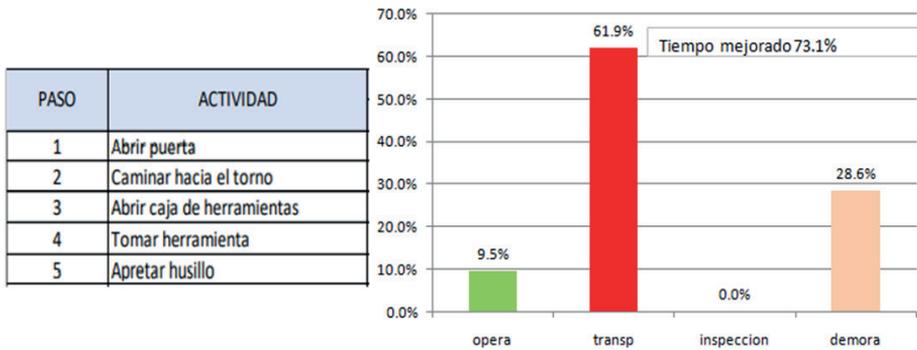


Figura 8. Se muestra la segunda propuesta de reingeniería.

Conclusión

El uso de las herramientas de mejora de procesos como la reingeniería y las mediciones de los parámetros de iluminación y ruido de las estaciones de trabajo realizando la comparación con el análisis de las estaciones de trabajo y la medición de los parámetros de iluminación y ruido, para posteriormente realizar la evaluación de los resultados con las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría del Trabajo y Prevención Social con respecto a la Seguridad y Salud en el trabajo, ayuda a identificar riesgos ergonómicos en las actividades de los trabajadores disminuyendo las lesiones o enfermedades de trabajo, mediante la aplicación de herramientas de mejora de los procesos como reingeniería (Hammer & Champy, 1994) podemos disminuir los tiempos que no le agregan valor, siendo procesos más eficientes.

Se realizaron propuestas en el área como la implementación de un banco de madera que corrige la altura en que va a trabajar el operador, de esta manera no se eleva el brazo de más, cumpliendo así con la NOM-036-STPS-2018. Según el análisis de la ecuación de NIOSH, no cumple con las condiciones ideales de levantamiento de carga, si se sigue con esta práctica en esas condiciones, a la larga causará problemas lumbares en el operador. Es por ello, que se propuso un carro móvil, para evitar exceder la altura permitida en levantamiento de cargas.

Al medir las condiciones en que se encontraba el área de trabajo, nos percatamos de que la temperatura y la humedad estaban fuera del rango permitido, por lo que se propuso trabajar solamente 1 hora dentro del laboratorio de máquinas y herramientas. Se observó que las condiciones de iluminación y de sonido se encontraban sobre en los niveles adecuados, por lo tanto, no se requería hacer ninguna propuesta en este ámbito.

Las empresas deben preocuparse por las condiciones de las estaciones de trabajo de sus empleados para disminuir los riesgos de daños en sus trabajadores y en este trabajo se logró disminuir estos riesgos y mejorar los tiempos de trabajo.

Referencias

- Hammer, M., & Champy, J. (1994). *Reingeniería*. Pearson/Prentice Hall.
- Sánchez, H. (2019, 13 de octubre). Estadísticas de los Riesgos de Trabajo en México. *Servicios Preventivos de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Recuperado de <https://www.sepresst.com.mx/2019/10/13/estadisticas-de-los-riesgos-de-trabajo-en-mexico/>.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2002, 14 de junio). NORMA Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas-Condiciónes de seguridad e higiene. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=728016&fecha=14/06/2002#gsc.tab=0.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2002, 17 de abril). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=734536&fecha=17/04/2002#gsc.tab=0.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2018, 23 de noviembre). NORMA Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018, Factores de riesgo ergonómico en el Trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544579&fecha=23/11/2018#gsc.tab=0.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2021, 1 de diciembre). Estadísticas de Riesgos de Trabajo en México. *Trabajo Seguro - DGSST*. Recuperado de https://trabajoseguro.stps.gob.mx/bol097/vinculos/estadisticas_bol097.html.
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (s.f.). Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado de <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3581/stps/stps.htm>.

Análisis multifactorial en la descompresión biomecánica de los discos intervertebrales

Lamberto Vázquez Veloz¹, Manuel Antonio Rivera Rodríguez,
Alicia Mariela Barceló Ramírez, Saúl Hernández Ruíz.

Resumen

Los trastornos musculoesqueléticos de origen laboral referenciados a la columna vertebral son los de mayor incidencia en la actualidad. Por lo que, establecer un plan de prevención que minimice el impacto del trabajo en la columna vertebral, es necesario y urgente. Para ello, se ha diseñado un mecanismo para la descompresión de los discos intervertebrales y la alineación de la estructura ósea-muscular de la columna vertebral. Dicho mecanismo alinea de forma horizontal los acromiones en función a su acción pragmática, a través de la descompresión de los discos intervertebrales, estableciendo con ello una medida preventiva en la operabilidad diaria del trabajador. El funcionamiento del mecanismo contempla una gran cantidad de variables que intervienen en el proceso de descompresión y aportan un valor significativo en el cálculo del desnivel horizontal de los acromiones. La presente investigación desarrolla un modelo de estadística multivariante para valorar la contribución que mantiene cada una de las variables sobre la nivelación horizontal de los acromiones y llegar a una

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Agua Prieta.
Autor de correspondencia contactar en l.vazquez@aguaprieta.tecnm.mx.

ecuación matemática que logre pronosticar dicha alineación en función al conjunto de componentes principales, minimizando el esfuerzo de cálculo, mejorando la precisión del pronóstico y reduciendo la complejidad del mecanismo de descompresión del disco intervertebral. La ecuación significativamente estadística aceptable, muestra que se han reducido a dos variables independientes, siendo estas la estatura de la persona y el desnivel en los acromiones antes de la acción pragmática de la máquina de descompresión, estas dos variables son la de mayor contribución a la variable dependiente, diferencia en la altura de los acromiones después de la acción pragmática de la máquina de descompresión intervertebral. Con esta ecuación se logra establecer una predicción del comportamiento de la variable dependiente en función a los valores de las variables independientes y con ello se reduce la complejidad del procedimiento. La validación predictiva de la ecuación generada a partir de la aplicación de una mayor cantidad de procedimientos de descompresión, se enmarca como una nueva directriz de investigación, que da como resultado final, un estudio de mayor profundidad y validez. Aunado a ello, una valoración que incluya la electromiografía de los músculos que intervienen en la descompresión, aporta mayor efectividad y seguridad en el proceso de descompresión de los discos intervertebrales.

Palabras clave: Descompresión, disco intervertebral, análisis multivariante.

Introducción

La interactividad continua entre el desarrollo científico – tecnológico y los requerimientos altamente competitivos del mercado, generan un efecto fuertemente demandante de productividad y eficiencia en los procesos productivos actuales, lo que en el último eslabón de la cadena productiva impacta a la relación sinérgica del sistema hombre – máquina y se incrementa la probabilidad de que se generen complicaciones en el sistema músculo – esquelético del operario y con ello se presenten los denominados trastornos musculoesqueléticos (Montalván *et al.*, 2023).

Los trastornos musculoesqueléticos son definidos como problemas de salud referenciados a una amplia gama de condiciones como son: manipulación manual de carga, trabajos altamente repetitivos, estadía laboral en posición bípeda, condiciones extremas de temperatura (Craig *et al.*, 2013). Todo ello en su conjunto afectan al sistema locomotor del cuerpo humano y conllevan a lesiones inflamatorias o degenerativas de músculos, tendones,

articulaciones, ligamentos, nervios y huesos. Mayormente frecuentes en hombros, codos, muñecas, manos y en la columna vertebral, principalmente en la zona cervical y lumbosacra (Sánchez Medina, 2018; Skals *et al.*, 2021).

Los trastornos musculo esqueléticos de origen laboral referenciados específicamente en la columna vertebral, representan uno de los problemas de mayor impacto negativo en la salud y calidad de vida de los trabajadores (Gomez Campos & Arboleda Gallego, 2023). Para el caso de la industria maquiladora y manufacturera localizada en el Noreste del Estado de Sonora, este tipo de problemas representan el 62% de las quejas y dolencias de los operadores. Ahora bien, el Instituto Mexicano del Seguro Social en su estadística 2021, muestra un alto crecimiento de las patologías relacionadas con la columna vertebral, siendo su último reporte de 18.3% del total de los trastornos musculo esqueléticos.

La situación antes descrita no se ha visto mejorada con la aplicación de medidas preventivas, correctivas, procedimientos ergonómicos para el manejo manual de cargas, el uso de soportes lumbares y los cálculos del máximo peso permisible (Li *et al.*, 2017). Por lo que se hace necesario complementar estas estrategias con un procedimiento que reduzca el impacto negativo del trabajo sobre el trabajador (Kucera *et al.*, 2009).

Para lo anterior, se diseñó un procedimiento de alineación no invasiva que reduce el impacto biomecánico del trabajo repetitivo y manejo manual de cargas. Direccionando la investigación en el desarrollo de una máquina ergonómica para la descompresión del disco intervertebral. El procedimiento diseñado se concentra en su primera instancia, en lograr medir las desviaciones de la columna vertebral del trabajador sobre su eje central de rotación (Skals *et al.*, 2021). Estas mediciones cobran sentido a partir de la aplicación de la antropometría dimensional estática, al establecer la ortogonalidad de la primera cervical y su alineación con el coxis, y la alineación de los acromiones, entendiéndose esto como la diferencia entre la altura del piso al acromion izquierdo y la altura del piso al acromion derecho (Howarth *et al.*, 2013). Para ello se hizo necesario diseñar un posturograma que permita medir las desviaciones de la columna vertebral.

En su segundo punto se lleva a cabo la acción pragmática de la máquina, y se contempla de nuevo la medición de la desviación de la columna sobre su eje central de rotación, comparando a través de procedimientos estadísticos las discrepancias entre la primera y segunda medición. Logrando con ello

contemplar el efecto de la acción pragmática de la máquina.

Una vez considerado lo anterior, se hace necesario contemplar un análisis del impacto que mantienen cada uno de los componentes que están afectando la aplicación del procedimiento diseñado. A su vez, se observa la interacción de un conjunto multifactorial que interviene en la descompresión. Para lograr lo anterior se plantea un análisis multifactorial de cada uno de los componentes que intervienen en la descompresión biomecánica de los discos intervertebrales y se observa cuál es la contribución efectiva de cada componente en la alineación y descompresión de la columna vertebral (Abdullah *et al.*, 2023).

Objetivo general

Valorar el impacto multifactorial de las principales variables que intervienen en la descompresión biomecánica de los discos intervertebrales.

Objetivos específicos

1. Fundamentar las bases teóricas metodológicas, a partir del estudio multifactorial de los componentes que intervienen en el procedimiento de descompresión de los discos intervertebrales.
2. Establecer un análisis multifactorial con las principales variables que intervienen en la descompresión de los discos intervertebrales.
3. Desarrollar un modelo de correlación multivariante entre las principales variables que intervienen en la descompresión de los discos intervertebrales.

Metodología

La metodología utilizada en el presente proyecto, se sustenta en un estudio observacional descriptivo transversal con enfoque cuantitativo. Se enmarcan para su desarrollo tres etapas:

Como primera etapa se realiza el levantamiento de los datos con las variables de interés: Diferencia de los acromiones antes de la acción pragmática de la máquina de descompresión de disco intervertebral, edad, sexo, peso, hidratación y estatura.

La segunda parte de la metodología consiste en desarrollar un análisis estadístico multivariante, aplicando para ello las herramientas de regresión

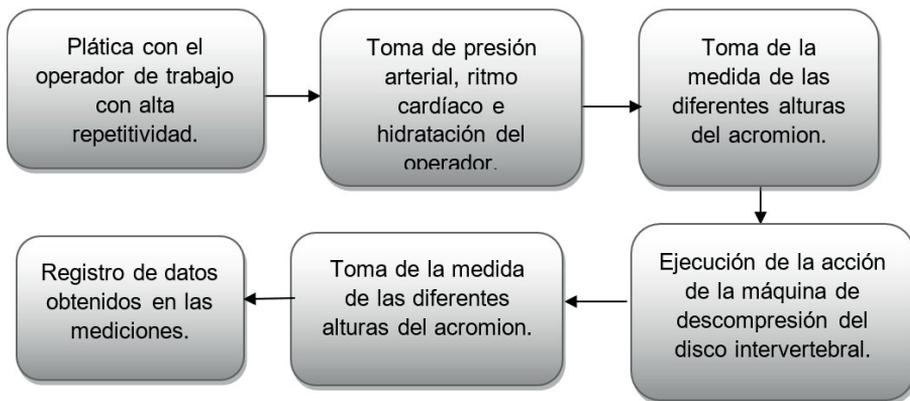
lineal multivariante y el análisis factorial multivariante.

Como tercera acción se desarrolla el modelo matemático para la predicción de la variable dependiente en función de las variables independientes enmarcadas como principales en el análisis factorial.

Resultados

Los estudios observacionales establecieron una cardinalidad de 60 personas que participaron en el estudio, a cada uno de los participantes se les tomaron las medidas correspondientes a: edad, altura completa, peso, sexo, hidratación y diferencia entre la altura de los acromiones. Estas medidas fueron tomadas antes de la acción pragmática de la máquina de descompresión de disco intervertebral y una vez que se ejerció la acción, se lleva a cabo de nuevo el proceso de medición de la diferencia entre la altura de los acromiones. La segunda medida referente a la diferencia en la altura de los acromiones después de la acción de la máquina de descompresión, se considera como una variable dependiente de las tomadas inicialmente. En la figura 1 se muestra el diagrama por medio del cual se realizó la toma de datos en los estudios observacionales.

Figura 1. Flujo de acción de la aplicación del procedimiento para la descompresión.



Fuente: Elaboración propia.

Para llevar a cabo el proceso de medición se diseñó un mecanismo de medición de la desviación de la columna vertebral sobre su eje de giro. Este

mecanismo está direccionado con los principios científicos de la evaluación posturológica (Vázquez, 2016). En la figura 2 se muestra el procedimiento de medición.

Una vez desarrollados los procesos de medición se realiza la acción pragmática de la máquina de descompresión, en acuerdo a las variables obtenidas para cada operador. Como primer estudio multivariante se lleva a cabo una regresión lineal multivariante, donde se analiza la posibilidad de que el conjunto de datos logre cumplir con la linealidad generalizada y con ello estar en posibilidad de generar proyecciones sobre el efecto de la acción pragmática de la máquina de descompresión, en función a las variables independientes (García *et al.*, 2008).

Figura 2. *Plantilla de medición y procedimiento para medir la desviación de la columna vertebral.*



Fuente: Autores.

Es de suma importancia establecer que las variables sexo e hidratación son variables dicotómicas y por ello no se consideran en el modelo de regresión. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la función lineal multivariante y la matriz anti - imagen del análisis factorial (Berlanga *et al.*, s/f).

Tabla 1. Coeficiente de correlación lineal múltiple y matriz Anti-imagen.

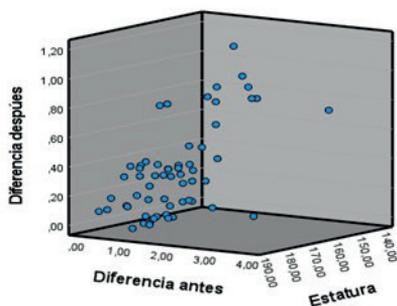
Resumen del modelo					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado y ajustado	Error estándar de la estimación	
1	.638	.406	.363	.24313	
Matrices anti-imagen					
		Diferencia antes	Edad	Estatura	Peso
Covarianza anti-imagen	Diferencia antes	.904	-.190	.163	.001
	Edad	-.190	.871	.053	-.222
	Estatura	.163	.053	.714	-.346
	Peso	.001	-.222	-.346	.690
Correlación anti-imagen	Diferencia antes	.523	-.214	.203	.001
	Edad	-.214	.475	.067	-.286
	Estatura	.203	.067	.505	-.494
	Peso	.001	-.286	-.494	.498

Fuente: Elaboración propia con datos de SPSS.

Como se puede observar en la tabla 1 el coeficiente de correlación R es de .638, lo que muestra una correlación media. Para ello se realiza un análisis factorial con el objetivo de verificar el impacto de cada variable y con ello, establecer una disminución de las variables que conllevan una posible contribución a la variable dependiente (Aguado & Provecho, 2019; Escalona, 2020).

Para este caso se observa en la matriz anti-imagen de la tabla 1, que las variables edad y peso son las variables que menos contribuyen a la variable dependiente y por consiguiente se pueden eliminar del modelo multivariante. La gráfica tridimensional de todas las posibles combinaciones de variables: Diferencia de acromiones antes de la acción, estatura y peso, establecen que la mejor combinación es: Diferencia de acromiones antes de la acción y estatura. En la figura 3 se muestra la gráfica tridimensional de las variables de mayor impacto en la variable dependiente, diferencia de acromiones después de la acción pragmática de la máquina de descompresión.

Figura 3. Gráfica tridimensional de las variables: Estatura, Diferencia de acromiones antes y después de la acción pragmática de la máquina de descompresión.



Fuente: SPSS.

Es importante identificar que la acción de la máquina mantiene como objetivo central el que las diferencias en las alturas de los acromiones sean igual o lo más cercano a cero, implicando con ello que la acción mejoró la alineación de la columna vertebral. En función a lo anterior, el modelo de regresión lineal se establece en la tabla 2. Para ello, el modelo matemático de predicción multivariante quedaría como:

$$\text{Diferencia después} = 0.885 - 0.005 \text{ estatura} + 0.248 \text{ diferencia antes} \quad (1)$$

La ecuación 1, nos permite predecir la alineación horizontal de los acromiones en función de las características antropométricas del trabajador al que se le aplique el procedimiento de descompresión del disco intervertebral. Con ello podemos realizar una validación predictiva del procedimiento diseñado.

Tabla 2. Modelo de regresión lineal multivariante.

	Coeficientes no estandarizados		Coeficiente estandarizado	t	Sig.	Orden	Correlaciones	
	B	Desv. E	Beta				Parcial	Parte
(Constante)	.885	.561		1.5	.12			
Estatura	-.005	.003	-.156	-1.4	.14	-.283	-.192	-.152
Diferencia antes	.248	.046	.572	5.4	.001	.607	.582	.558

Fuente: Elaboración propia con datos de SPSS.

Conclusiones

El análisis de la literatura especializada no evidencia estudios formales donde se definan las ventajas que tiene la descompresión de los discos intervertebrales, para los trabajadores que desarrollan sus actividades en el manejo manual de materiales (Guapulema & Estrella, 2022; Ibarra & Astudillo, 2021; Henríquez *et al*, 2010). Los procesos de descompresión de los discos intervertebrales son una estrategia preventiva que disminuye la posibilidad de que un trabajador desarrolle un Trastorno Musculo Esquelético, producto del esfuerzo realizado en su actividad diaria.

La aplicación de las herramientas estadísticas multivariantes desarrolladas en la presente investigación, han permitido establecer el modelo matemático para la predicción del efecto que logra generar la acción pragmática de la máquina de descompresión de los discos intervertebrales.

Lo anterior, permite enmarcar los estudios de descompresión de discos intervertebrales en las variables: Diferencia de acromiones antes de la acción de la máquina y estatura de la persona. Dado que estas dos variables son las que mayor contribución reflejan sobre la variable dependiente.

Este importante aporte de la investigación genera una disminución en la complejidad del proceso de descompresión, ya que al manejar solo las variables de mayor impacto implica menos registro, obtención de medidas anatómicas y mecanismos de hidratación. Sin embargo, las principales limitantes que se prestan son el manejo aun complicado de la acción pragmática de la máquina, que hasta este momento sigue siendo manual.

Los datos y ecuaciones obtenidas en la presente investigación dan una plataforma efectiva para un posterior análisis de validación predictiva del procedimiento y con ello estar en posibilidad de pronosticar los niveles de alineación horizontal que un operador puede alcanzar en función a su actividad y dimensiones antropométricas.

La descompresión de los discos intervertebrales es un mecanismo preventivo de la degeneración de los discos intervertebrales producida por la actividad laboral, mayormente definida en el manejo manual de materiales, por lo que el establecer un plan de descompresión de los discos intervertebrales reduce la posibilidad de generar un Trastorno Musculo Esquelético y con ello se mejora la calidad de vida del operador.

La aplicación de herramientas mecatrónicas que logren automatizar el proceso de descompresión, manteniendo como principio el manejo de las

dos variables propuestas en la presente investigación, estaría contemplando una nueva línea de investigación.

Referencias

- Abdullah, N. A., Mohamad Shaberi, M. N., Nordin, M. N. A., Mohd Ripin, Z., Razali, M. F., Wan Mamat Ali, W. M. A., Awang, B., & Ridzwan, M. I. Z. (2023). Field measurement of hand forces of palm oil harvesters and evaluating the risk of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) through biomechanical analysis. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 96, 103468. <https://doi.org/10.1016/j.ERGON.2023.103468>
- Aguado, M. L., & Provecho, M. L. G. (2019). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS. *REIRE: revista d'innovació i recerca en educació*, 12(2), 11. <https://doi.org/10.1344/REIRE2019.12.227057>
- Berlanga-Silvente, V., & Vilà Baños, R. (2014). Cómo obtener un Modelo de Regresión Logística Binaria con SPSS. *REIRE Revista d'Innovació I Recerca En Educació*, 7(2), 105–118. <https://doi.org/10.1344/reire2014.7.2727>
- Craig, B. N., Beier, E., Congleton, J. J., Kerk, C. J., Amendola, A. A., & Gaines, W. G. (2013). Occupational risk factors and back injury. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(3), 335–345. <https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076992>
- Escalona, M. B. (2020). *Análisis de datos categóricos: regresión logística y multinomial*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20667>
- García, T., Montero, C., Ruíz, V., Vázquez, M., & Álvarez, W. (2008). Aplicación de la regresión logística multinomial en la detección de factores económicos que influyen la productividad de los sectores industriales. *Revista INGENIERÍA UC*, 15(3), 19–24.
- Gomez Campos, C. C., & Arboleda Gallego, M. I. (2023). Desórdenes biomecánicos y su influencia en el sector industrial.
- Guapulema, E. I. B., & Estrella, M. Á. E. (2022). Gestión de riesgos ergonómicos por levantamiento manual de cargas en la Empresa JC Termosolar Energía Renovable de la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento*, 7(10), 239–268.
- Henríquez, M. G., Rivera, C. F., & Eyzaguirre, J. M. (2010). Prevalencia de trastornos músculo-esqueléticos de columna lumbar en trabajadoras y límites biomecánicos en el manejo de carga y pacientes. *Ciencia & Trabajo*, 37, 380–385.
- Howarth, S. J., Giangregorio, L. M., & Callaghan, J. P. (2013). Development of an equation for calculating vertebral shear failure tolerance without destructive mechanical testing using iterative linear regression. *Medical Engineering &*

Physics, 35(8), 1212–1220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mengphy.2012.12.009>

- Ibarra-Villanueva, C., & Astudillo-Cornejo, P. (2021). Factores de riesgo biomecánico lumbar por manejo manual de cargas en el reparto de productos cárnicos. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24, 342–354.
- Kucera, K. L., Loomis, D., Lipscomb, H. J., Marshall, S. W., Mirka, G. A., & Daniels, J. L. (2009). Ergonomic risk factors for low back pain in North Carolina crab pot and gill net commercial fishermen. *American Journal of Industrial Medicine*, 52(4), 311–321. <https://doi.org/10.1002/AJIM.20676>
- Li, Q. Y., Kim, H. J., Son, J., Kang, K. T., Chang, B. S., Lee, C. K., Seok, H. S., & Yeom, J. S. (2017). Biomechanical analysis of lumbar decompression surgery in relation to degenerative changes in the lumbar spine – Validated finite element analysis. *Computers in Biology and Medicine*, 89, 512–519. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2017.09.003>
- Montalván, Á. L. R., Hidalgo, C. A. L., Amagua, D. A. S., & Ortiz, D. A. M. (2023). Avances en el manejo integral de trauma musculoesquelético: Estrategias innovadoras en evaluación, tratamiento y rehabilitación. *RECIAMUC*, 7(2), 974–985.
- Sánchez Medina, A. F. (2018). Prevalencia de desórdenes músculo esqueléticos en trabajadores de una empresa de comercio de productos farmacéuticos. *Revista Ciencias de la Salud*, 16(2), 203–218. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.6766>
- Skals, S., Bláfoss, R., de Zee, M., Andersen, L. L., & Andersen, M. S. (2021). Effects of load mass and position on the dynamic loading of the knees, shoulders and lumbar spine during lifting: a musculoskeletal modelling approach. *Applied Ergonomics*, 96, 103491. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103491>
- Vazquez, L., Laborin, D., Bermudez, N. y López, R. (2016). Analysis and measurement of intervertebral discs deviation caused by manual handling material en Espejo Guasco, C., De La Vega Bustillos, E. & López Millan, F. O. (Eds.), *Ergonomía Ocupacional Investigaciones y Aplicaciones* (1a ed., Vol. 9, pp. 389–393). Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAC).

Incremento de la capacidad en el área de producción del glucómetro modelo pogo

Ricardo Alexis Macías Melendrez, Anel Torres López¹,
Alma Delia Corrales Orozco, José Alonso Urías Celaya

Resumen

Este proyecto es realizado en una empresa de Baja California, la empresa es principalmente productora de televisiones; además del giro industrial desde hace aproximadamente 8 años, se buscó un giro diferente para la empresa y se inició con el proyecto de Productos Médicos; debido a esto se empezaron a fabricar tres diferentes tipos de productos dentro de la empresa, tales como un dispositivo glucómetro, un dispositivo de frío/termoterapia y un dispositivo que monitorea la vigilancia de pacientes con atención general. El dispositivo glucómetro es un producto busca facilitar la vida de las personas que poseen la enfermedad crónica de diabetes. Las líneas de producción carecen de tiempos balanceados, el propósito de este proyecto es balancear cada una de las líneas de producción del glucómetro modelo POGO, este balanceo en las líneas garantiza obtener tiempos balanceados para aumentar la capacidad de producción y alcanzar el requerimiento de la demanda del cliente de esta forma se obtendrán los tiempos adecuados para futuras líneas de producción.

Palabras clave: Línea de producción, balanceo de línea, producción.

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tijuana.
Autora de correspondencia, contactar en anel.torres@tectijuana.edu.mx

Introducción

La empresa donde se realizó el proyecto es del giro de electrónica; en el año 2014 la empresa comenzó con la incorporación a otras industrias más allá del área de productos electrónicos para el consumo, como lo son el área Médica y el área Industrial.

Como consecuencia de la mejora continua en los procesos productivos, las empresas empiezan a optimizar sus recursos de tal forma que las líneas de producción fabriquen y obtengan los productos en un menor tiempo, utilizando todos sus equipos de una manera segura y óptima. El balanceo de líneas ayuda a optimizar los tiempos de producción principalmente minimiza los tiempos ociosos; esto se logra cuando cada una de las estaciones de trabajo tiene el mismo tiempo de ejecución, de tal manera que no haya tiempos muertos entre operaciones. Las empresas buscan ventajas competitivas generando procesos estratégicos aumentando su capacidad productiva con la gestión de sus operaciones y la mejora continua (Bueno-Tacuri & Jácome-Ortega, 2021).

Antecedentes del problema

Actualmente la empresa cuenta con un turno matutino y se tiene una capacidad de 150 POGOS (unidades de producto final) diarios como se muestra en la Figura 1. Se cuenta con 3 líneas de subensambles, una línea de ensamble final y una línea de empaque. En total se tienen 56 estaciones de trabajo entre todas las líneas ya mencionadas. Se cuenta con 5 estaciones de trabajo que unen subensambles; esto provoca un acumulamiento de materiales provenientes de alguna de las estaciones de alimentación. Debido a esto no se cumple con un flujo continuo entre ambas estaciones, además de que existen pautas en las operaciones que les anteceden a estas.

Línea de producción POGO

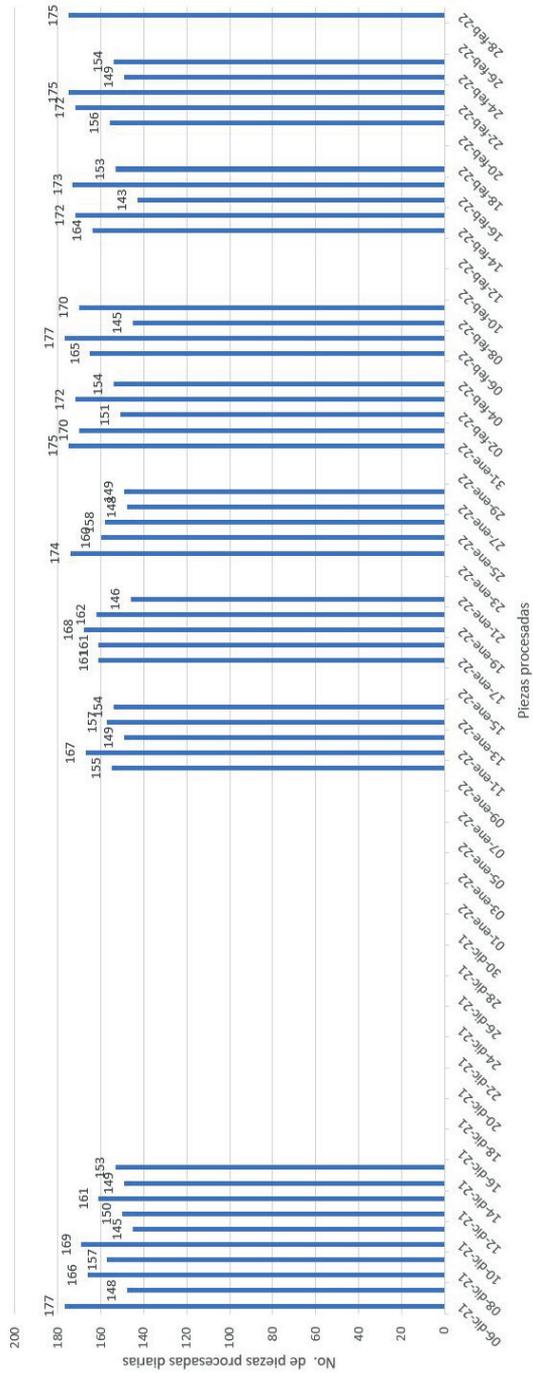


Figura 1. Grafica de capacidad de la línea de producción POGO.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

Objetivo general y específicos

El objetivo general de este proyecto es estandarizar la línea de producción que manufactura el producto medidor de glucosa POGO *Wireless* utilizando la Ingeniería de Métodos para aumentar la capacidad de producción.

Los objetivos específicos de este proyecto son los siguientes:

- Realizar un estudio de tiempos para conocer y definir el proceso.
- Balancear las operaciones acorde a un tiempo estándar para definir la elaboración de una estación duplicada.
- Aumentar la capacidad de producción a 300 unidades.

Metodología

La metodología utilizada en este proyecto fue la Ingeniería de Métodos desde el diagnóstico del proyecto, ejecución de las operaciones, los indicadores de productividad y evaluación de los cambios; mejorando las operaciones en la línea de producción contribuyendo a la reducción de tiempos de operaciones (Sauceda, Valenzuela y Báez, 2021). Estandarizando el proceso para validar el método y alcanzar los objetivos de producción y las características requeridas, a través de la Ingeniería de Métodos para aumentar la productividad de la empresa (Velázquez, Fierro y Chávez, 2020).

Balanceo de líneas

El aspecto más interesante en el diseño de una línea de producción o montaje consiste en repartir tareas de modo que los recursos productivos estén utilizados de la forma más ajustada posible, a lo largo del todo el proceso de producción. El problema del equilibrado de líneas de producción consiste en subdividir todo el proceso en estaciones de producción o puestos de trabajo donde se realizará un conjunto de tareas, de modo que la carga de cada puesto se encuentre lo más ajustada y equilibrada posible a un tiempo de ciclo. Es importante que los tiempos de ciclo estén balanceados, para disminuir inventarios de producto en proceso, el balanceo de líneas contribuye a asegurar el flujo continuo y uniforme de productos, acomodando estaciones de tal forma que se equilibren los tiempos (Orejuela y Flórez, 2019).

Eficiencia

La eficiencia es la capacidad de lograr los resultados con el mínimo posible de recursos (RAE, 2022). Samuelson y Nordhaus (2006) afirman que: “La eficiencia significa la utilización de los recursos de la sociedad de la manera más adecuada posible para satisfacer las necesidades y los deseos de los individuos”. La eficiencia se puede entender como la capacidad de lograr mucho con pocos recursos, como también puede referirse a realizar un mismo trabajo en un espacio de tiempo menor (Hernández, 2023). La eficiencia se puede calcular aplicando la Ecuación (1):

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tasa de producción real}}{\text{Tasa de producción estándar}} * 100 \quad (1)$$

Takt time

El *Takt Time* le indica al ingeniero industrial a qué velocidad debe operar la planta para satisfacer la demanda del cliente. Todas las máquinas y operaciones de la planta se sincronizan con este ritmo y las piezas deben ser suministradas a la misma velocidad con que la línea de ensamble las utiliza. Para obtener el *Takt Time* se utiliza la ecuación (2):

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo Disponible de Trabajo por día}}{\text{Demanda del cliente por día}} \quad (2)$$

Estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de gran ayuda para las empresas, para conseguir una manera eficiente y efectiva de conseguir el trabajo, mejorando la productividad, identificando los inconvenientes en la productividad (Bello, Murrieta & Cortés, 2020). Es una técnica para medir el trabajo, sus tiempos y ritmos de trabajo, con el fin de conocer el tiempo que se requiere para realizar una determinada tarea según normas preestablecidas. Otra definición plantea que la determinación del tiempo que se demora un trabajador en condiciones normales, apto para el puesto, con los implementos necesarios en realizar una operación (Palacios, 2016).

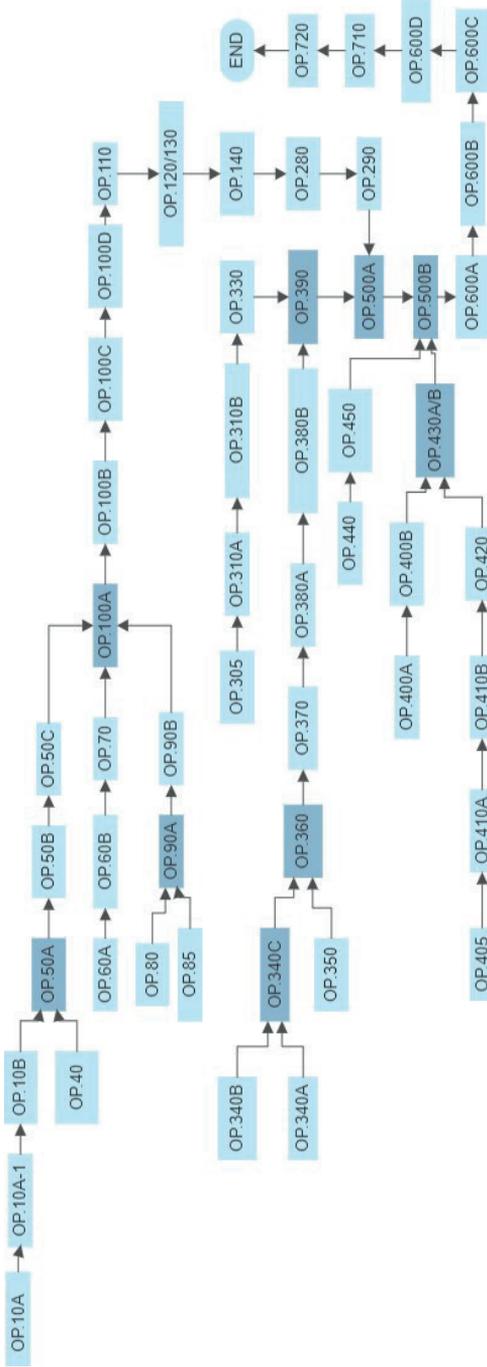


Figura 3. Diagrama de flujo de la línea POGO.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

Toma de tiempos

Se tomaron 30 tiempos por cada operación con la finalidad de obtener un tiempo estándar más confiable. Estos tiempos fueron tomados con cronómetro siguiendo estrictamente la hoja de operación de cada estación de trabajo. En cada una de las estaciones de trabajo se encontraba realizando la operación la persona más experta para ejecutar el ensamble.

Estaciones de trabajo con mayor tiempo de ejecución

Analizando las estaciones de trabajo cronometradas, se encontró que la operación 600C de la línea Final *Assembly* tiene el mayor tiempo de ejecución. Al tiempo manual se le ha tomado en cuenta el 90% de eficiencia. La columna de ocio hace referencia al tiempo restando la demanda de 300 piezas menos el tiempo manual con el 90% de eficiencia. La operación 600C es la única que tiene el número negativo. Por lo en esa estación se tiene que disminuir el tiempo estándar para cubrir la demanda de 300 piezas en una jornada laboral.

Ciclo de producción

Se ha identificado que la operación 600C es la operación más lenta de toda la línea de producción con 166.32 segundos y la siguiente operación 600D tiene un tiempo de 74.56 segundos. A continuación, se debe de obtener la cantidad de piezas que se realizan en una hora.

$$\text{Ciclo de producción } 600C = \frac{60 \text{ segundos}}{166.35 \text{ segundos}} * (60 \text{ minutos}) = 21.64 \text{ piezas/hora}$$

$$\text{Ciclo de producción } 600D = \frac{60 \text{ segundos}}{74.56 \text{ segundos}} * (60 \text{ minutos}) = 48.28 \text{ piezas/hora}$$

La estación 600C es capaz de producir 21 piezas por hora mientras que la estación 600D es capaz de producir 48 piezas por hora. La operación 600D puede producir más del doble de la estación anterior, pero el proceso se limita a las piezas que la operación 600C pueda producir en total. Si la cantidad de piezas por hora de la operación 600C se multiplica por 8.4 horas laborables se obtiene un total de 181 piezas en una jornada laboral y la

operación 600D es de 405 piezas, lo cual no es factible para el proceso. Para aumentar la capacidad del proceso se requiere instalar una nueva estación de trabajo de la operación 600C. El ciclo de producción para la estación sigue siendo el mismo, solo que ahora es lo doble, eso quiere decir que las piezas aumentan por hora. La estación tenía una capacidad de 181 piezas por jornada laboral.

Balanceo de línea actual

Tomando en cuenta lo anterior, la operación 600C aumentó su capacidad de producción. Con esto se define que la estación más lenta es la operación 370 con 86.38 segundos. Tomando como base la operación más lenta se hace la comparación con los tiempos actuales. Se inicia con la agrupación de las estaciones de trabajo que se encuentran en la línea de *Gear Train*. En la Figura 4 se muestra el balanceo actual que tiene la línea de *Gear Train*. Se puede observar que el primer operador está muy sobrepasado de tiempo, ya que está por encima del tiempo más lento de la línea. Lo mismo sucede con las estaciones 100A/100B y 110/120-130. Debido a esto se tiene que hacer un balance de estas estaciones.

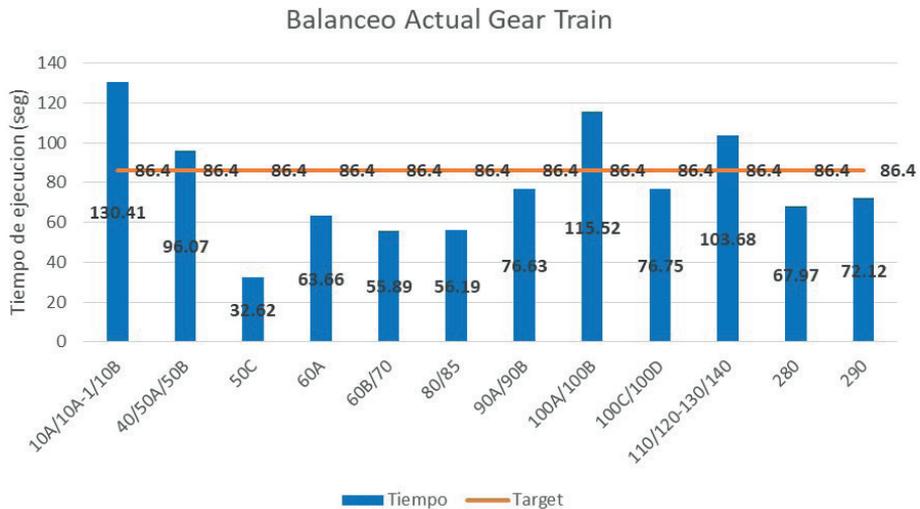


Figura 4. Gráfica de tiempos de las estaciones de la línea *Gear Train*.

Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

La Figura 5 muestra la carga de trabajo que tiene el operador de la estación 350/360/370 y también la estación 340A/340B/340C.

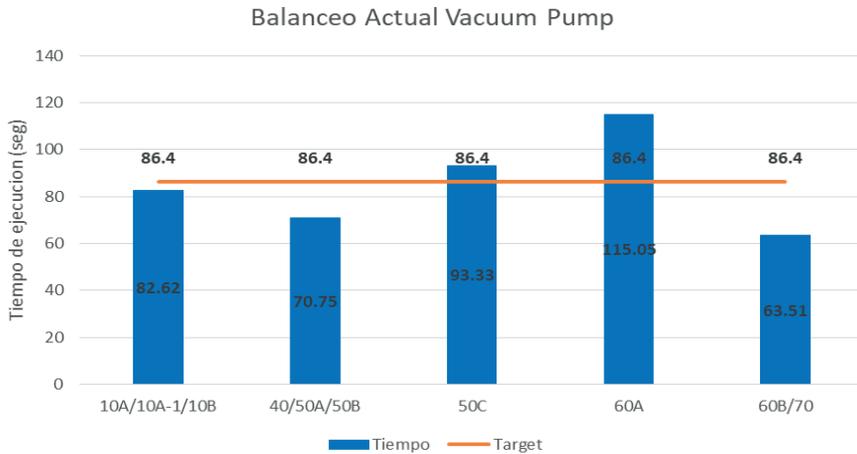


Figura 5. Gráfica de tiempos Vacuum Pump.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

La Figura 6 nos muestra la gráfica con los tiempos. La operación 400A/400B es la que tiene el tiempo más lento en toda la línea de producción por lo cual se tiene que balancear para disminuir dicho tiempo.

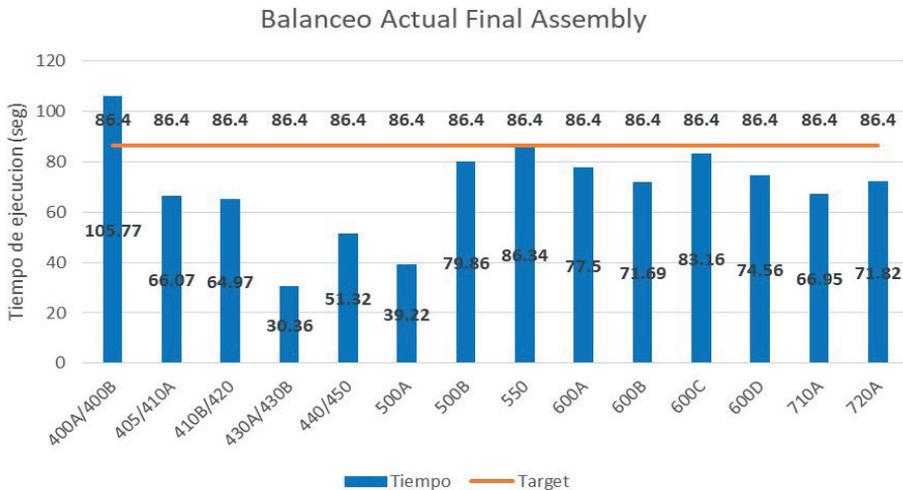


Figura 6. Gráfica de tiempos Final Assembly.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

Balanceo de líneas

Se realizó el balanceo de la línea agrupando las estaciones de trabajo y sumando sus tiempos para lograr un balance más cercano al tiempo de la estación más lenta, sin sobre pasar el límite de esa estación. En la Figura 7 se muestra la gráfica con la agrupación de las estaciones de la línea de *Gear Train*.

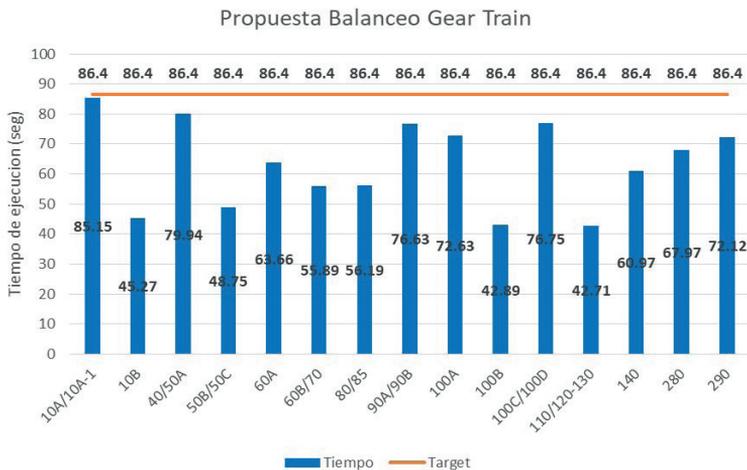


Figura 7. Gráfica de tiempos de la línea de producción *Gear Train* balanceada.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

En la Figura 8 se muestra la gráfica con la agrupación de las estaciones de la línea de *Vacuum Pump*.

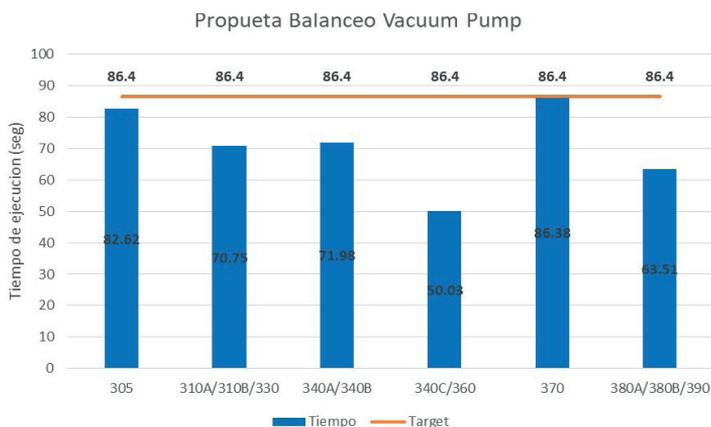


Figura 8. Gráfica de tiempos de *Vacuum Pump* balanceada.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

En la Figura 9 se muestra la gráfica con la agrupación de las estaciones de la línea de Final Assembly.

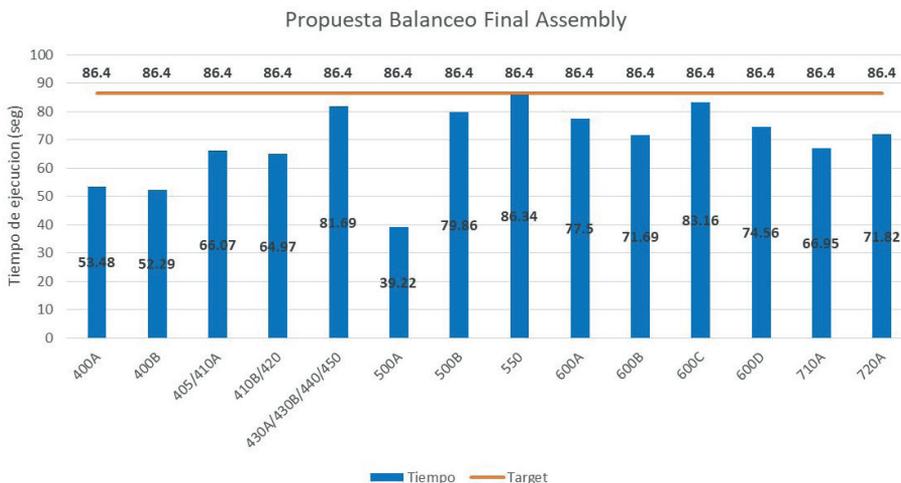


Figura 9. Gráfica de tiempos de Final Assembly Balanceada.
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

Análisis y resultados

Con la implementación de la nueva estación espejo de la operación 600C, la salida aumentó casi a lo doble de su capacidad. La operación crítica anteriormente era la operación 600C, que estaba por encima de los 100.80 segundos que se planificaron como *Takt Time* para llegar a la demanda de 300 productos elaborados. Con la implementación de la segunda estación 600C se logró disminuir el tiempo de salida por lo tanto, se hizo un incremento en la producción.

Basado en el tiempo de ejecución de la operación más lenta y el *Takt Time*, se puede observar en la Figura 10 cómo se agruparon cada una de las operaciones de tal forma que el tiempo de ejecución no estuviera por encima del tiempo *Takt Time* e intentando no sobrepasar el tiempo de la operación más lenta. El balanceo de líneas se hizo mediante la agrupación de los tiempos de las operaciones, tomando en cuenta el *Takt Time* establecido por la demanda del cliente.

Balanceo de Línea

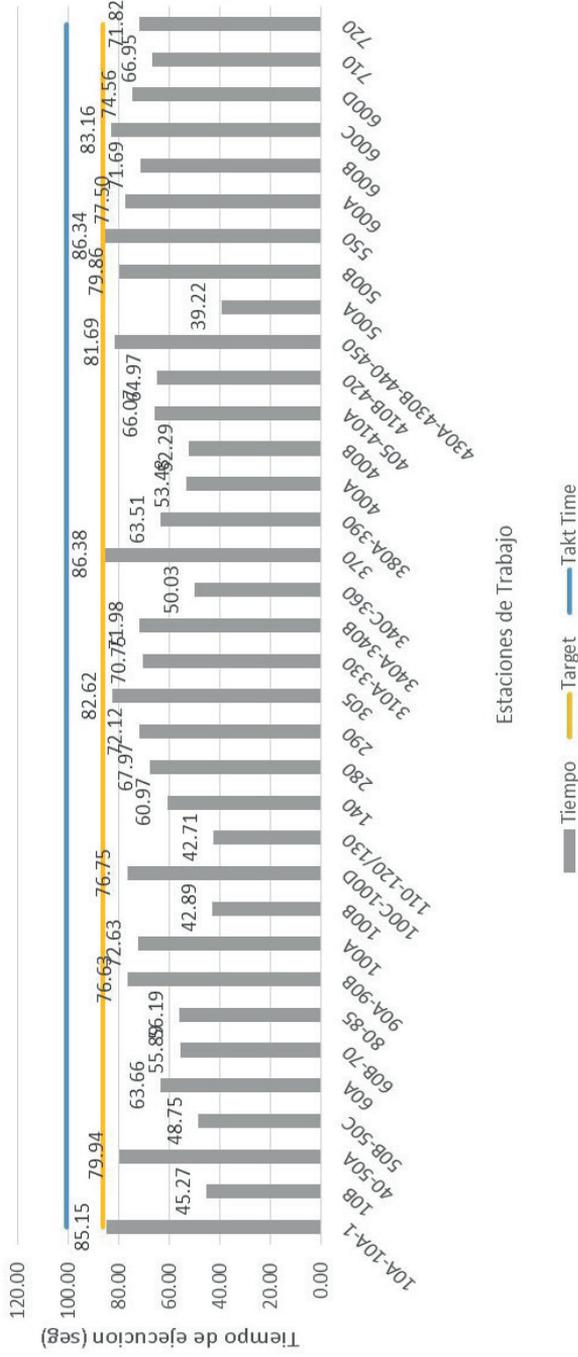


Figura 10. Gráfica de tiempos de la línea balanceada con Takt Time.

Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

La Figura 11 muestra la actualización de la línea de producción con la estación espejo de la operación 600C.2.

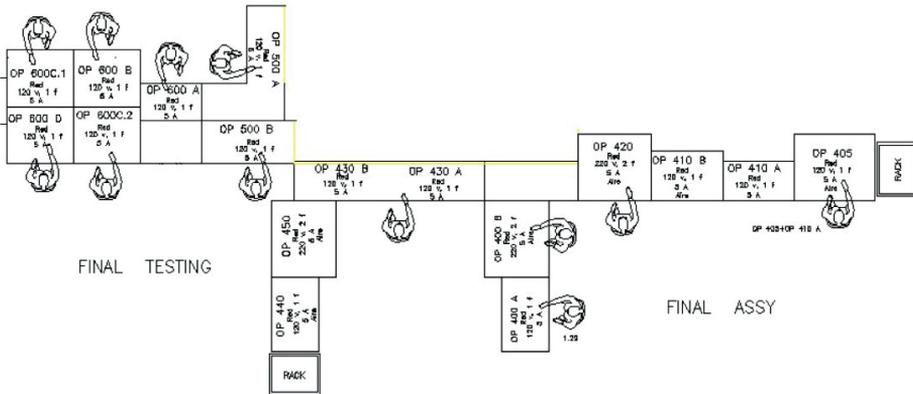


Figura 11. Línea de producción con Op.600C.2
Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa (2022).

Con base en la estación con mayor tiempo de ejecución y con los tiempos previamente balanceados, la capacidad de producción aumentó a más de 300 piezas por día.

Eficiencia de la línea de producción

Para obtener la eficiencia se aplica la Ecuación (3):

$$Eficiencia = \frac{Tasa\ de\ producción\ real}{Tasa\ de\ producción\ estándar} * 100 \quad (3)$$

Primero se obtiene la eficiencia de la línea sin balancear:

$$Eficiencia = \frac{21.6454\ piezas/hora}{35.7143\ piezas/hora} * 100 = 60.60\%$$

Posteriormente se obtiene la eficiencia de la línea balanceada.

$$Eficiencia = \frac{41.6765\ piezas/hora}{35.7143\ piezas/hora} * 100 = 116.69\%$$

Se puede concluir que la línea de POGO está trabajando con un alto nivel de eficiencia con la línea de producción balanceada.

Conclusiones

De acuerdo a lo plasmado en los objetivos de este proyecto, se logró realizar el estudio de tiempos para conocer cómo corría la línea de producción, dándole una definición del proceso mediante la elaboración de diagramas de flujo, ya que se encontró la manera de balancear la línea de producción aun teniendo estaciones dependientes de más de 3 subensambles. Se encontró un tiempo estándar en el cual se pudieron juntar tiempos de operaciones subsecuentes para cada uno de los operadores, disminuyendo el tiempo muerto en cada uno de ellos.

Con el estudio de tiempos, el balanceo de líneas y la estandarización de las operaciones, se pudo aumentar la capacidad de producción a petición de la demanda del cliente a 300 piezas diarias. Mediante este análisis se encontró la operación cuello de botella y se generó la implementación de una estación duplicada con el mismo proceso de esta misma con esto se cuenta con la información para futuras líneas de producción.

Referencias

- Bello Parra, D., Murrieta Domínguez, F., & Cortés Herrera, C. (2020). Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de energías limpias. *Revista Ciencia Administrativa*, 1-9.
- Bueno-Tacuri, A., & Jácome-Ortega, M. (2021). Gestión de operaciones para la mejora continua en Organizaciones. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12), 334-365.
- Hernández, J. (2023). *conceptodefinición*. Obtenido de <https://conceptodefinicion.de/eficiencia/>
- Orejuela Cabrera, J., & Flórez González, A. (2019). Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas. *INGE CUC*, 15(1), 109-122.
- Palacios Acero, L. (2016). *Ingeniería de Métodos, tiempos y movimientos*. (2 ed.). (C. i. Industrial, Ed.) Bogotá: ECOE ediciones.
- RAE. (2022). *Real Academia Española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Samuelson, P., & Nordhaus, W. (2006). *Economía* (Vol. 18). Madrid, España: MC Graw Hill.

- Sauceda López, E., Valenzuela López, R., & Báez Hernández, G. (2021). Aplicación de ingeniería de métodos para el mejoramiento de operaciones en una empresa manufacturera de equipos de audio. *Ergonomía, Investigación Y Desarrollo*.
- Velázquez Mancilla, J. E., Fierro-Xochitotl, M. C., & Chavez-Medina, J. (2020). Estandarización del proceso de confección, a través de la ingeniería de métodos, para. *Revista de Ingeniería Industrial*, 4(13), 1-7.

Manufactura esbelta en la industria maquiladora de exportación en Ciudad Juárez

Aurora Irma Máynez Guaderrama¹

Resumen

La manufactura esbelta es un proceso útil para eliminar desperdicios, mejorar la calidad, reducir los costos e incrementar la flexibilidad y la velocidad de respuesta. En el contexto de la industria maquiladora de exportación localizada en Ciudad Juárez, el objetivo de este trabajo fue identificar el uso de prácticas de manufactura esbelta. Se utilizó un diseño de investigación cuantitativo, no probabilístico, descriptivo y transversal, los sujetos de estudio fueron empleados del sector. Los resultados evidencian que estas prácticas son parcialmente empleadas en esta industria. La práctica más utilizada son los sistemas para identificar fallas en las máquinas y la menos empleada se asocia a la facilidad de cambiar el diseño de las estaciones de trabajo.

Palabras Clave: Lean manufacturing, optimización, prácticas, estrategias, maquila.

Introducción

A nivel mundial, los valores del pensamiento esbelto crecen como una estrategia útil para fomentar la flexibilidad, la fiabilidad y la productividad de las organizaciones (Kumar *et al.*, 2022). La manufactura esbelta, también

¹ Profesora-Investigadora del Instituto de Ingeniería y Tecnología en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Contactar en amayne@uacj.mx

conocida como sistema de producción Toyota [TPS], fabricación ajustada o *lean manufacturing* [LM], es un proceso que permite la eliminación de desperdicios en un sistema de producción, los cuales pueden estar vinculados con esfuerzos humanos, tiempo y/o inventarios, en las distintas etapas productivas (Palange & Dhattrak, 2021).

El objetivo de *Lean manufacturing* es producir bienes y servicios al menor costo y con la mayor rapidez posible (Rahman *et al.*, 2013). Esta clase de manufactura se adoptó inicialmente en la industria automovilística japonesa tras la Segunda Guerra Mundial, debido a la escasez de recursos, dinero y mano de obra calificada (Kumar *et al.*, 2022). Posteriormente, la técnica fue adoptada ampliamente en los sectores manufactureros de diferentes países, dado que se reconoce su valor para eliminar actividades que no agregan valor y eliminar desperdicios; como resultado de su aplicación, se han reportado mejoras en la calidad, reducción en los costos, e incrementos en la flexibilidad y la velocidad de respuesta (Mohan Sharma & Lata, 2018; Palange & Dhattrak, 2021).

Por sus beneficios, muchos investigadores del mundo académico y productivo se sienten atraídos por las prácticas de fabricación ajustada (Palange & Dhattrak, 2021). El objetivo de este trabajo fue identificar el uso de prácticas de manufactura esbelta en la industria maquiladora de exportación en Ciudad Juárez Chihuahua. Además de la sección introductoria, el capítulo se organiza en cuatro secciones: marco teórico, metodología, resultados y conclusiones.

Marco teórico

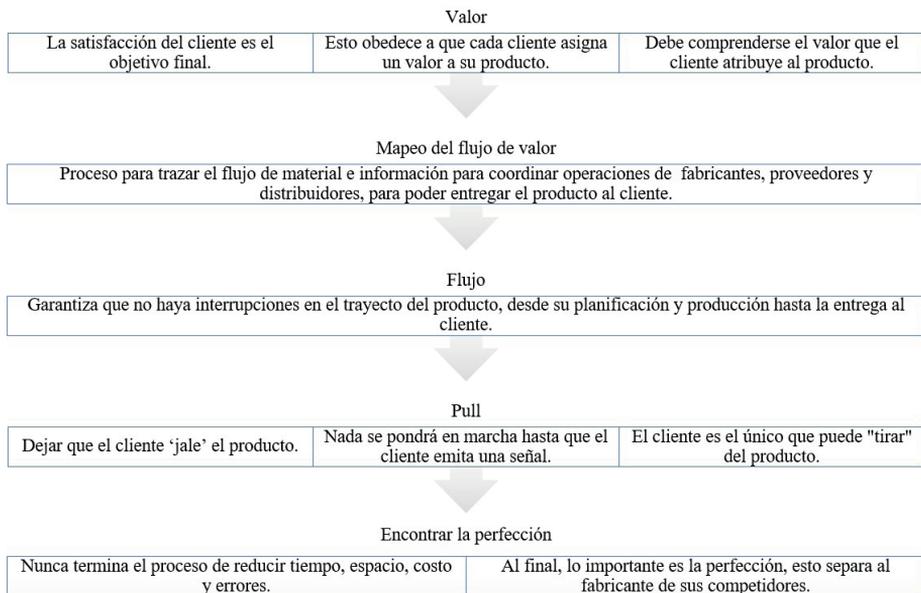
Las empresas implementan la manufactura esbelta para mantener su competitividad frente a sus rivales, ya que les permite mejorar la productividad de los sistemas de fabricación y la calidad de los productos (Palange & Dhattrak, 2021). LM es una estrategia basada exclusivamente en el cliente y se centra en la optimización de las técnicas Lean (Mohan Sharma & Lata, 2018). Es pertinente señalar que LM no es una fórmula mágica, sino una técnica que busca identificar aspectos que no tienen valor en la cadena de producción e intentar reducirlos o eliminarlos, para aumentar la productividad o los beneficios (Palange & Dhattrak, 2021).

Lean significa fabricar sin desperdiciar (Rahman *et al.*, 2013). Los principios de la LM demandan eliminar o cambiar los recursos que no aportan valor al cliente (Mohan Sharma & Lata, 2018). Por ello, los principios Lean definen el valor del producto/servicio según lo percibe el comprador y, a partir de ello, alinean el flujo con la demanda de éste y se centran en la búsqueda de la mejora continua, para eliminar el desperdicio, para lo cual clasifican las

actividades en dos categorías: las que aportan valor añadido (VA) y las que no lo tienen (NVA) (Sundar *et al.*, 2014). La manufactura esbelta tiene cinco principios básicos: especificar el valor, identificar el flujo de valor, flujo, jalón (*pull*), y perfección (Kumar *et al.*, 2022; Womack & Jones, 1997) [ver figura 1].

Por otra parte, los desperdicios se clasifican en función a su causa u origen; una vez identificada, se buscan su eliminación o minimización, mediante el análisis y la aplicación del conocimiento adecuado (Kumar *et al.*, 2022). Los residuos o desperdicios [“muda” en japonés] se clasifican en siete tipos: sobre procesamiento, la sobreproducción, el exceso de inventario, el tiempo de espera operador/material, el movimiento innecesario, los defectos y el transporte innecesario (Palange & Dhattrak, 2021; Rahman *et al.*, 2013; Sundar *et al.*, 2014). Existen distintas herramientas y técnicas que se utilizan en diferentes empresas para aplicar el concepto Lean (Mohan Sharma & Lata, 2018). Entre ellas se encuentran Kaizen, los cambios rapidos, la gestión de calidad, el sistema de fabricación flexible, Kanban, el justo a tiempo, la manufactura celular, la producción de lotes pequeños, la uniformidad del nivel de producción, la calidad en el origen y el mantenimiento productivo total.

Figura 1. Principios básicos de la manufactura esbelta.



Fuente: elaboración propia a partir de Kumar *et al.* (2022); Womack and Jones (1997).

Kaizen es una palabra japonesa que significa “mejora continua” (Kumar *et al.*, 2022). La mejora continua se basa en la creencia de que las personas tienen un deseo intrínseco de calidad y valor, y la gerencia tiene que confiar en que, a largo plazo, la mejora será rentable (Sundar *et al.*, 2014). En *Kaizen* se sabe que el desperdicio es un elemento material indeseable, que se produce conjuntamente con el producto; esta técnica no sólo garantiza la mejora continua, sino que también hace referencia a las medidas que deben adoptarse para reducir las ineficiencias. (Kumar *et al.*, 2022). El mantenimiento productivo total combina el mantenimiento preventivo con los principios de calidad total para evitar averías, lograr cero defectos y, al mismo tiempo, garantizar la disponibilidad, eficacia y las condiciones óptimas de máquinas y equipos (Nawanir *et al.*, 2020). Por su parte, la calidad en el origen ayuda a la detección rápida y precisa de cualquier problema de calidad: si se detecta un problema de calidad, la máquina o la línea de producción se detendrá automáticamente y el operador será capaz de descubrir rápidamente la causa raíz y resolver el problema (Nawanir *et al.*, 2020).

La preparación rápida se centra en reducir el tiempo de preparación de un producto a otro (Nawanir *et al.*, 2020). El cambio de moldes en un minuto (*Single Minute Exchange Dies*, SMED) intenta disminuir el tiempo de cambio entre modelos a fabricar (Palange & Dhattrak, 2021), convirtiendo el tiempo de preparación interno, en tiempo de preparación externo (Sundar *et al.*, 2014). En ella, las actividades realizadas con la máquina parada se denominan tiempo de preparación interno y las que se realizan sin la máquina parada se denominan tiempo de preparación externo (Sundar *et al.*, 2014). Gracias a su uso, el tiempo de preparación se reduce a menos de 5 minutos (Kumar *et al.*, 2022).

La Gestión de la calidad total [*Total Quality Management*, TQM], considera que la calidad implica a todos y a todas las actividades de las organizaciones, entendiendo la calidad como la conformidad o cumplimiento a las especificaciones del producto o servicio (Khalili *et al.*, 2017). Así, TQM es un enfoque orientado a la calidad, que se basa en la participación de todos los miembros de una organización buscando lograr el éxito a largo plazo, mediante la satisfacción del cliente y la obtención de beneficios para los empleados y la sociedad (Ho *et al.*, 2023). En resumen, el propósito de esta herramienta es potenciar la calidad y minimizar los defectos (Kumar *et al.*, 2022).

Otra técnica LM es el sistema de fabricación flexible, el cual proporciona un entorno de manufactura estandarizado y dúctil, que incluye entre otros aspectos el diseño, los métodos y las máquinas (Kumar *et al.*, 2022). El objetivo

de los recursos flexibles es lograr la adaptabilidad del sistema de producción; esta flexibilidad puede lograrse a partir de varias actividades, como la implicación de los empleados, trabajadores multifuncionales, máquinas/equipos multifuncionales y formación cruzada para que los trabajadores puedan realizar múltiples tareas (Nawanir *et al.*, 2020).

Kanban es una palabra japonesa que significa tarjeta visual (Kumar *et al.*, 2022). El sistema *Kanban* requiere que la producción se realice únicamente cuando existe demanda de productos (Rahman *et al.*, 2013); en general, en este sistema se busca generar señales (Rahman *et al.*, 2013), que ayudan a suministrar piezas sólo cuando son necesarias (Palange & Dhattrak, 2021). Se trata de un mecanismo de control del flujo de material que ayuda a proveer la cantidad adecuada de piezas en el momento oportuno (Sundar *et al.*, 2014). El sistema *Kanban* es una herramienta de LM que permite una producción mixta con un nivel óptimo de inventario (Rahman *et al.*, 2013; Sundar *et al.*, 2014).

Otra técnica lean es justo a tiempo. En la era de la personalización masiva, se afirma que el tipo de fabricación “*push*” ya no funcionará, y cada vez más se utilizará la fabricación “*pull*” (Palange & Dhattrak, 2021): el sistema *pull* se basa en las necesidades del cliente, mientras que el *Push* se basa en un programa predeterminado (Sundar *et al.*, 2014). *Just-in-time* busca definir lo que hay que producir, en qué momento y cantidad y su aplicación garantiza la reducción del tiempo (de producción y de respuesta) y de los costos de inventario en el sistema de producción (Kumar *et al.*, 2022). En esta vertiente debe señalarse la necesidad de contar con redes de proveedores, las cuales garantizan que exista colaboración y asociación entre compradores y proveedores, que permiten la mejora continua, el intercambio de información y la excelencia en el desempeño de las partes (Nawanir *et al.*, 2020).

Los diseños celulares agrupan distintos tipos de máquinas y equipos en células para procesar productos con requisitos comunes (Nawanir *et al.*, 2020). Esta técnica lean define la agrupación de las instalaciones con el fin de fabricar el producto con el mínimo tiempo de proceso, tiempo de espera y transporte, simplificando el flujo del proceso (Sundar *et al.*, 2014). La producción de lotes pequeños busca que se manufacture una cantidad menor de producto en cierto periodo de tiempo; la propuesta en este caso, es que cuanto menor sea el tamaño de los lotes, mayor será la capacidad de la línea de producción para producir de acuerdo con lo solicitado por el cliente (Nawanir *et al.*, 2020).

Metodología

Se utilizó un diseño de investigación cuantitativo, descriptivo y transversal y como sujetos de estudio participaron personas que laboran en la industria maquiladora de exportación en Ciudad Juárez, Chihuahua. Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. El trabajo de campo se llevó a cabo en octubre del 2023 y se recibieron 805 respuestas, de las cuales fueron utilizables 799. Los estadísticos descriptivos se calcularon con el software SPSS versión 24. Las prácticas de manufactura esbelta se valoraron con ítems tipo Likert con opciones de respuesta donde 1=totalmente en desacuerdo hasta 5= totalmente de acuerdo. Los ítems se diseñaron tomando como referencia la escala utilizada por (Nawanir *et al.*, 2020), los cuales fueron adaptados y validados por un grupo de ingenieros que laboran en la industria maquiladora de exportación. En la tabla 1, a continuación, se presenta la operacionalización de la variable.

Tabla 1. Operacionalización.

Técnica lean	Ítem
<i>Flexible Resources employees</i>	Los empleados de las distintas áreas (como producción, calidad, mantenimiento) pueden realizar diferentes tipos de actividades
<i>Cellular Layouts</i>	El diseño de las estaciones de trabajo puede cambiarse fácilmente (Por ejemplo, la ubicación o el orden de las operaciones de una línea).
<i>Kanban/ Pull System</i>	Existen sistemas de alerta para mover el material (Por ejemplo conos, tarjetas, estantes vacíos).
<i>Small Lot Production</i>	Solo se producen las cantidades necesarias, no más y no menos.
<i>Quick Setups</i>	Los empleados son capaces de reducir el tiempo para cambiar de modelo a producir
<i>Flexible resources design</i>	En un turno laboral se produce más de un modelo
<i>Quality Control</i>	Se usan diferentes técnicas para mejorar la calidad de los productos (por ejemplo, gráficos de control).
<i>Total Productive Maintenance/ Quality at the source</i>	Existen sistemas para saber cuándo la maquina está fallando (como sonidos, colores de luz).
<i>Just in time/ Supplier Networks</i>	El material llega cuando se necesita (inventario mínimo/ <i>just in time</i>).

Resultados

Como se muestra en la tabla 2, el 52.8% de los encuestados son hombres y el 46.2% mujeres. La mayoría nacieron entre 1997 y 2012 (63.7%). En lo relativo a la escolaridad, el 27.7% cuenta con estudios a nivel licenciatura concluida y el 27.0% reportó tener preparatoria terminada. De los encuestados el 22.3% tiene un puesto de ingeniero y el 19.6% labora como técnico, el 32.0% reportó una antigüedad menor a 1 año y 31.0% entre 1 y 2 años. En lo referente al sector de la empresa, la mayoría labora en organizaciones que manufacturan partes automotrices (43.6%). Respecto de su adscripción, el 30.5% labora en el departamento de producción y el 19.0% en el de ingeniería.

Tabla 2. Estadísticos sociodemográficos.

	Descripción	n	%		Descripción	n	%		
Sexo	Hombre	422	52.80		Operador	178	22.30		
	Mujer	369	46.20		Líder de grupo	72	9.00		
	Otro	8	1.00		Ingeniero	83	10.40		
Generación	Baby boomer (1946-1964)	10	1.30	Puesto	Ingeniero junior	72	9.00		
	Generación X (1965-1980)	68	8.50		Ingeniero senior	23	2.90		
	Generación Y (1981-1996)	212	26.50		Técnico	157	19.60		
	Generación Z (1997-2012)	508	63.70		Supervisor	45	5.60		
	Primaria	7	0.90		Gerente	19	2.40		
	Secundaria	30	3.80		Otro	150	18.80		
	Preparatoria trunca	28	3.30		Menor a 1 año	256	32.00		
Escolaridad	Preparatoria terminada	216	27.00	Antigüedad	Entre 1 y 2 años	248	31.00		
	Técnico	111	13.90		Entre 3 y 4 años	128	16.00		
	Licenciatura trunca	169	21.20		Entre 5 y 9 años	88	11.00		
	Licenciatura terminada	221	27.70		Entre 10 y 19 años	47	5.90		
	Posgrado	19	2.40		20 o más años	32	4.00		
	Departamento	Administrativo	89		11.10	Sector	Aeroespacial	15	1.90
		Calidad	104		13.00		Automotriz	348	43.60
Ingeniería		159	19.90	Electrónica	126		15.80		
Mantenimiento		43	5.40	Médica	124		15.50		
Materiales		49	6.10	Metalmecánica	32		4.50		
Producción		244	30.50	Otro	154		19.30		
Sistemas		30	3.80						
Otro		81	10.10						

En la tabla 3 se presentan los datos estadísticos descriptivos de los ítems sobre las prácticas de manufactura esbelta utilizadas. Como en ella se observa, en todos los casos los valores mínimos fueron 1 y los máximos 5. En lo relativo al promedio de respuesta, los valores oscilaron entre 2.981 [El diseño de las estaciones de trabajo puede cambiarse fácilmente (Por ejemplo, la ubicación o el orden de las operaciones de una línea)] y 3,777 [Existen sistemas para saber cuándo la maquina está fallando (como sonidos, colores de luz)]. Por otra parte, el valor de la desviación estándar se encontró en un rango entre 0,0437 [Los empleados son capaces de reducir el tiempo para cambiar de modelo a producir] y 0,0475 [Existen sistemas para saber cuándo la máquina está fallando (como sonidos, colores de luz)].

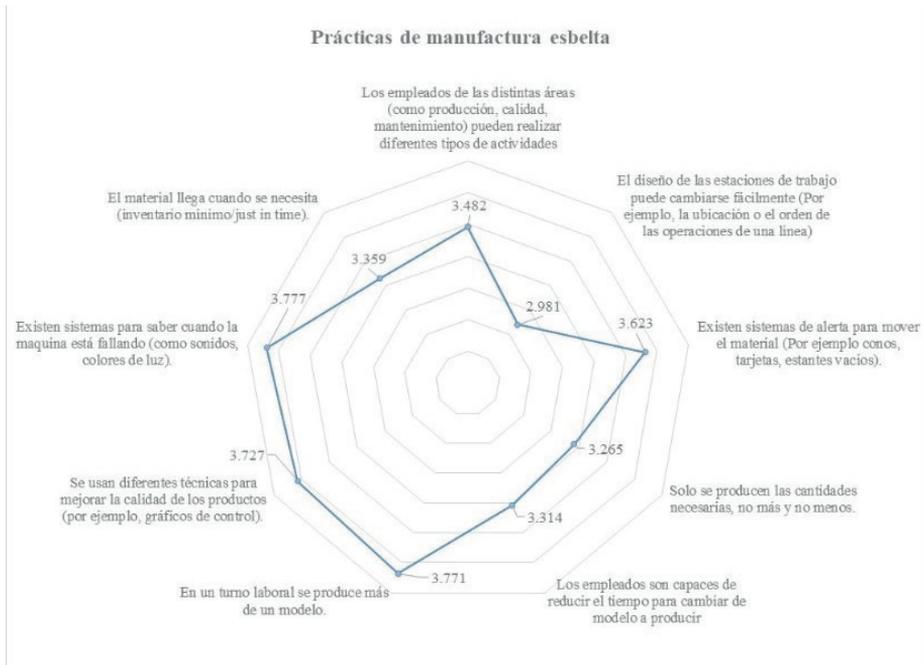
Con el propósito de comparar el uso de las prácticas LM, se graficaron los valores promedio de cada una de ellas. En la figura 1, a continuación, se presenta esa información. Como en ella se aprecia, salvo el caso del cambio en el diseño de las estaciones de trabajo (ubicación o el orden de las operaciones de una línea), en el resto de las prácticas los valores promedio se encuentran por arriba de 3.0 [ni de acuerdo, ni en desacuerdo].

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de las prácticas de manufactura esbelta.

	Promedio	Desviación estándar	Mín.	Máx.
Los empleados de las distintas áreas (como producción, calidad, mantenimiento) pueden realizar diferentes tipos de actividades	3.482	.0465	1.0	5.0
El diseño de las estaciones de trabajo puede cambiarse fácilmente (Por ejemplo, la ubicación o el orden de las operaciones de una línea)	2.981	.0459	1.0	5.0
Existen sistemas de alerta para mover el material (Por ejemplo conos, tarjetas, estantes vacíos).	3.623	.0464	1.0	5.0
Solo se producen las cantidades necesarias, no más y no menos.	3.265	.0456	1.0	5.0
Los empleados son capaces de reducir el tiempo para cambiar de modelo a producir	3.314	.0437	1.0	5.0
En un turno laboral se produce más de un modelo.	3.771	.0458	1.0	5.0

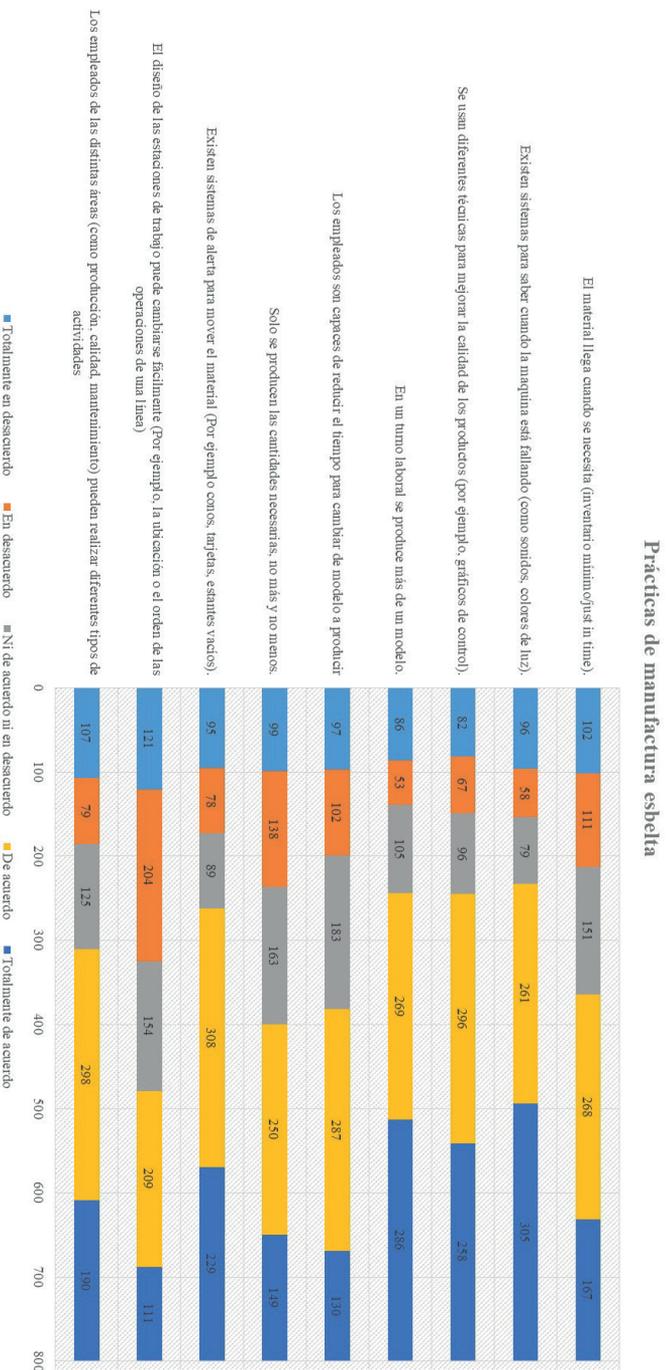
Se usan diferentes técnicas para mejorar la calidad de los productos (por ejemplo, gráficos de control).	3.727	.0452	1.0	5.0
Existen sistemas para saber cuándo la máquina está fallando (como sonidos, colores de luz).	3.777	.0475	1.0	5.0
El material llega cuando se necesita (inventario mínimo/just in time).	3.359	.0460	1.0	5.0

Figura 1. Valores promedio de las prácticas de manufactura esbelta.



Además, se revisó la distribución de las respuestas, con el propósito de identificar si existían un comportamiento similar en ellas [ver figura 2]. De acuerdo con los resultados, llama la atención la agrupación de respuestas en la práctica sobre la facilidad de hacer cambios en el diseño de las estaciones, ya que en este caso el 25.53% de los participantes señaló estar en desacuerdo con ello, pero el 26.16% indicó estar de acuerdo con ello.

Figura 3. Frecuencia de respuesta en las prácticas de manufactura esbelta.



Conclusiones

La manufactura esbelta se reconoce como una estrategia adecuada para incrementar la flexibilidad, fiabilidad y productividad de las firmas (Kumar *et al.*, 2022). Su objetivo es producir bienes o servicios, optimizando los costos y la velocidad de producción (Rahman *et al.*, 2013). Además, como resultado de su aplicación, se generan mejoras en la calidad e incrementos en la flexibilidad (Mohan Sharma & Lata, 2018; Palange & Dhattrak, 2021). En el entorno de la industria maquiladora de exportación ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, este trabajo tuvo como objetivo identificar el uso de prácticas de manufactura esbelta.

Los resultados indican que este tipo de prácticas son parcialmente empleadas en este sector industrial. Comparativamente, la práctica más utilizada son los sistemas que permiten saber cuándo existen fallas en las máquinas. La menos empleada, es la relativa a la facilidad de hacer cambios en el diseño de las estaciones, como la ubicación o el orden de las operaciones que se realizan en la línea de producción. En este sentido, se identifican áreas de oportunidad importantes, particularmente en lo relativo a la manufactura celular y a la flexibilidad, no solo en términos de maquinaria y equipo, sino también en lo referente a los recursos humanos.

A semejanza de otros trabajos, en este estudio también existen limitaciones, dado que el trabajo se realizó con un alcance descriptivo, no probabilístico y de forma transversal. Ello reduce las posibilidades de generalización de resultados. Se recomienda replicar este trabajo en otros contextos, utilizando de ser posible muestras probabilísticas y profundizar en el análisis de la información, con técnicas estadísticas inferenciales.

Referencias

- Ho, Y.-S., Cavacece, Y., Moretta Tartaglione, A., & Douglas, A. (2023). Publication performance and trends in Total Quality Management research: a bibliometric analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(1-2), 97-130. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2031962>
- Khalili, A., Ismail, M. Y., Karim, A. N. M., & Daud, M. R. C. (2017). Soft total quality management and lean manufacturing initiatives: model development through structural equation modelling. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 23(1), 1-30. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2018.088605>

- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R., & Choubey, V. K. (2022). Lean manufacturing techniques and its implementation: A review. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1188-1192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>
- Mohan Sharma, K., & Lata, S. (2018). Effectuation of Lean Tool “5S” on Materials and Work Space Efficiency in a Copper Wire Drawing Micro-Scale Industry in India. *Materials Today: Proceedings*, 5(2, Part 1), 4678-4683. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.039>
- Nawanir, G., Lim, K. T., Lee, K. L., Moshood, T. D., & Ahmad, A. N. A. (2020). Less for more: the structural effects of lean manufacturing practices on sustainability of manufacturing SMEs in Malaysia. *International Journal of Supply Chain Management*, 2(2), 961-975.
- Palange, A., & Dhattrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729-736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7, 174-180. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(13\)00232-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2212-5671(13)00232-3)
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. M. S. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875-1885. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148-1148. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967>

Implementación de PLC en el área de producción para la reducción de desperdicios

Ricardo Alexis Macías Melendrez, Anel Torres López,
José Alonso Urías Celaya ¹, Héctor Camacho Martínez

Resumen

La empresa tiene un departamento conocido como Alere que se encarga de desarrollar proyectos de ingeniería, así como mantener el sistema de ERP en orden, llevar control de materiales, entre otras tareas. El proyecto se desarrolla dentro de este departamento. Asimismo, el proyecto se realizó en colaboración con el departamento de producción, en la sección de las bandas de aplicación de laca y sellador, en la cual se recicla un 30% de la materia prima que llega en cada pedido, pudiendo acumular entre 10 y 15 barriles de laca y de sellador respectivamente por pedido recibido de materia prima y desperdiciándose un 50% del material reciclado. Durante el clima cálido, el material reciclado no supone problema, sin embargo, cuando el clima cambia los barriles reciclados de laca y sellador se vuelven no utilizables, debido a que la laca y el sellador toman un tono amarillento, lo cual afecta a la calidad que tendrá el producto terminado. El objetivo general del proyecto es programar un PLC en el área de producción de la planta para la reducción de desperdicios. La relevancia del proyecto se centra en que, en el área de producción, en la sección de las bandas de laca y sellador, el proceso se lleva a cabo de una forma no estandarizada. Debido

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tijuana.
Autor de correspondencia contactar en alonso.urias@tectijuana.edu.mx

a esto, la cantidad de material que se utiliza en cada tabla es completamente dependiente de la velocidad de las bandas y de la apertura del rociador, los cuales se encuentran trabajando constantemente, dejando desperdicio de material entre tabla y tabla. Se pretende realizar los cambios necesarios para reducir los desperdicios de material y de tiempo, para así poder darle una solución a las problemáticas a las que la empresa se enfrenta. Como metodología, se seguirá un proceso que comience por conseguir los componentes que se utilizarán en el área, dicese el PLC, los sensores y actuadores, hacer pruebas en un simulador, para después poder programar el PLC y ejecutar el programa en el área de producción.

Palabras clave: Implementación, PLC, Reducción, Desperdicios.

Introducción

La empresa se dedica a trabajar la madera, en concreto, a la fabricación de patinetas, cachas para rifles y sillas. La planta comenzó operaciones en Tijuana en el año 2008, enfocándose en la fabricación de patinetas, y actualmente tiene como clientes a marcas reconocidas mundialmente. El corporativo se encuentra en San Marcos, California. La empresa tiene un departamento conocido como Alere que se encarga de desarrollar proyectos de ingeniería, así como mantener el sistema de ERP en orden, llevar control de materiales, entre otras tareas. El proyecto se desarrollará dentro de este departamento. Asimismo, el proyecto se llevará a cabo de la mano con el departamento de producción, en la sección de las bandas de aplicación de laca y sellador. El área más grande dentro de la planta es el área de impresión, seguida por preparación, producción y distribución, que son de un tamaño similar entre sí. Se pretende realizar los cambios necesarios para reducir los desperdicios de material y de tiempo, para así poder darle una solución a las problemáticas a las que la empresa se enfrenta.

Antecedentes del problema

Los problemas que se han identificado son los procesos incorrectos y el método obsoleto de la aplicación de laca y sellador, no obstante, el protocolo se enfocará en resolver la cuestión del método obsoleto, ya que, al resolver esta problemática, se le puede asignar el proceso correcto. Teniendo en cuenta registros que se recabaron del mes de enero al mes de mayo, actualmente

se presenta el consumo de laca y sellador por barril de materia (tabla 1). Un carrito en el que las tablas se colocan para dejarlas secar tiene una capacidad de 80 tablas, 40 en cada lado. El tiempo que toma llenar un carrito se presenta en la tabla 2. Tomando en cuenta el tiempo promedio, se presenta la capacidad de producción diaria en la tabla 3.

Tabla 1. BBS Baja. Rendimiento de material por barril.

Material	Cantidad de tablas
Laca	3563
Sellador	4611

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. BBS Baja. Tiempo que toma llenar un carrito de tablas.

Material	Tiempo (segundos)
Laca	261.2
	246.85
	257.95
	251.78
	263.94
Sellador	270.6
	263.36
	253.32
	255.71
	267.67

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. BBS Baja. Capacidad de producción diaria por material.

Material	Producción (tablas)
Laca	10117
Sellador	9885

Fuente: elaboración propia.

Actualmente se cuenta con alrededor de 10 a 15 barriles de material reciclado por semana, cantidad que se pretende reducir al máximo.

Objetivo general

El objetivo general del proyecto es programar un PLC en el área de producción de la planta para la reducción de desperdicios.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto son:

1. Eliminar la necesidad de reciclar el material para liberar el espacio del material reciclado.
2. Agilizar el proceso de aplicación de laca y sellador para reducir el tiempo que dura el producto en el área en un 20%.
3. Automatizar el proceso de aplicación de laca y sellador para aumentar la productividad en un 15%.
4. Reducir los costos por inventario de material reciclado.

Revisión de la literatura

Después del análisis de las definiciones de diversos autores, en este protocolo de investigación se asume la definición de desperdicio a todos aquellos recursos como materia prima e insumo que no son aprovechados, en las industrias existe desperdicio dentro de los procesos productivos debido a la ineficiencia en el aprovechamiento de estos, representando una pérdida de recursos además de costos en la gestión de manejo de desperdicios (Santizo, 2021). Cualquier actividad desarrollada por una empresa que consume recursos y no produce valor para el cliente (Maldonado, Ysique, 2017). Pérez-López (2015), indica que la automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano.

Desarrollo del proyecto

Se comenzó tomando los promedios de consumo de material que se habían calculado desde el principio del año, que servirían como el indicador de la situación actual. Se hizo una toma de tiempos para tener un indicador de

qué tanto tiempo tomaba llenar un carrito de 80 tablas. Una vez teniendo los indicadores de la situación actual, se procedió a trabajar con el simulador.

La programación que se llevó a cabo en el PLC fue la programación con diagrama de escalera o ladder. La programación de un PLC mediante lenguaje escalera consiste en la elaboración de un programa en forma similar a como se dibuja un circuito de contactos eléctricos. Dentro del simulador, se utilizó la simulación de llenado de una caja, ya que el funcionamiento es similar, pero aplicado de forma diferente. La simulación muestra una caja que se llena con material que cae de un dosificador que se acciona cuando la caja es detectada por un sensor de proximidad mientras se mueve en una banda transportadora (figura 1). El programa es el mismo para la estación de la laca y la estación del sellador.

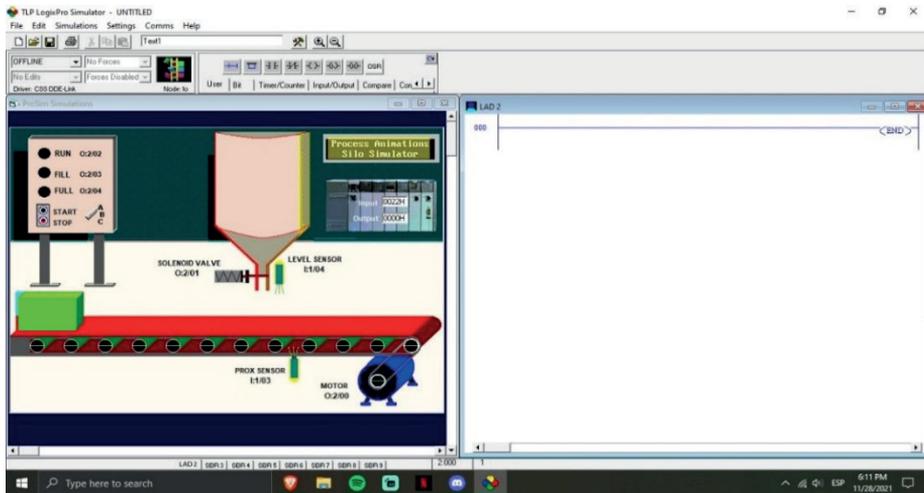


Figura 1. Programa nuevo en LogixPro.

Se realizó la programación de tal forma que al presionar un botón se enciende el motor de la banda transportadora y se encienda una luz que indica que la banda está corriendo. Un sensor detecta la presencia de la caja (representando una tabla) y acciona un pistón (representando un compresor) que dosifica el material (en el proyecto, mediante el rociador). Al presionar un botón de apagado, el motor se detiene (figura 2).

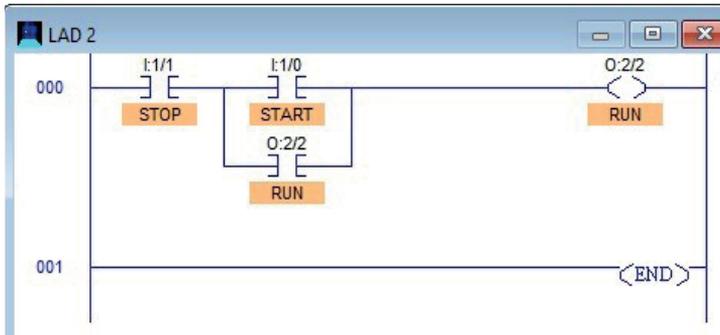


Figura 2. Primera línea de diagrama de escalera (diagrama para banda de laca).

Se coloca una entrada que se energizará de la misma forma que el contacto puentado en la primera línea, mientras la salida de la primera línea esté encendida, esta entrada tendrá energía. Hasta ahora en el programa se tiene el botón de encendido, que inicia todo el programa y el botón de apagado, que detiene todo el programa. Al presionar el botón de encendido, se enciende el motor y se enciende una luz que indica que el motor está corriendo y se mantiene encendido hasta ser apagado mediante el botón de apagado (figura 3).

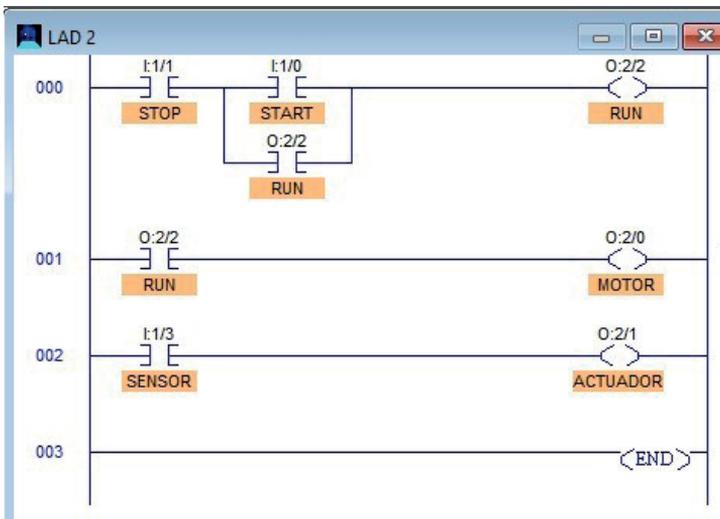


Figura 3. Tercera línea de diagrama de escalera (diagrama para banda de laca).

En la tercera y última línea del diagrama, se coloca un contacto de entrada, que será el sensor y la salida, que será el actuador que ayudará a dispensar el material. Con el programa finalizado, se tiene la banda, que se acciona con el botón de encendido y se enciende una luz que indica que está corriendo y se apaga presionando otro botón. Mientras la banda está corriendo, se tiene un sensor que detecta la pieza que se está trabajando y acciona el dispensador de material que se coloca en la pieza (figura 4).

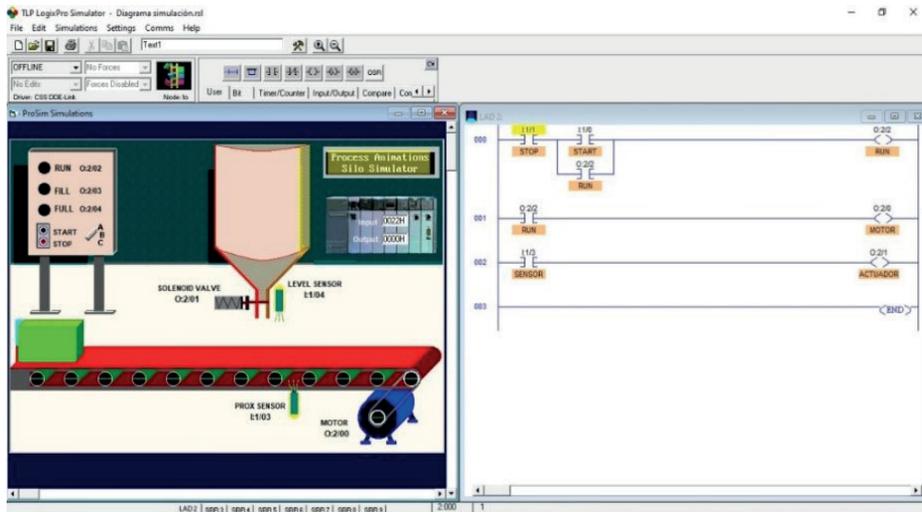


Figura 4. Diagrama de escalera terminado (diagrama para banda de laca).

Instalación del PLC

Se entregaron los materiales al equipo de mantenimiento industrial de la planta, quienes se encargaron de hacer las conexiones eléctricas y neumáticas, y después se cargó el programa desarrollado en el simulador en el PLC utilizando el software de RSLogix Micro, para así comenzar con las pruebas en el área de producción. Se presenta la imagen de una de las cajas de control una vez realizadas las conexiones pertinentes (figura 5). Las cajas de control llevan las mismas conexiones y el mismo equipo, por lo que solamente se muestra una de las cajas (figura 6).

Se conectaron los botones de encendido y apagado y el sensor como entradas de señal en el PLC, y se conectaron la luz indicadora, el compresor y el motor de la banda como salidas de señal. Se colocó el sensor a un lado

del marco donde está el rociador, donde las tablas pudieran ser detectadas y rociadas con el material (figura 7).



Figura 5. Caja de control.



Figura 6. PLC.



Figura 7. Estación de trabajo, lado derecho.

Se colocó el sensor del lado derecho, debido a que las bandas corren de derecha a izquierda. De este modo, el sensor detectará las tablas correctamente y se les aplicará solamente el material necesario. Además, se colocó del lado del rociador, de esta forma, no sería rociado con laca y no afectaría su funcionamiento. Se colocó una caja con los botones de encendido y apagado donde tendría un acceso fácil a los operadores.

Análisis y resultados

Después de haber realizado las pruebas en el piso de producción, se calculó el promedio del rendimiento de los barriles de laca y sellador. Se presentan los promedios de las pruebas en la tabla 4.

Tabla 4. BBS Baja. Rendimiento de material por barril durante pruebas.

Material	Cantidad de tablas (antes)	Cantidad de tablas (después)
Laca	3563	4046
Sellador	4611	5086

Fuente: elaboración propia.

Comparado con la situación inicial, se incrementó el rendimiento del material en un 12.34% para la laca y un 10.03% para el sellador (figura 8), lo cual se debe a que se está utilizando casi exactamente el material necesario, en lugar de rociar material en los espacios vacíos entre tabla y tabla.

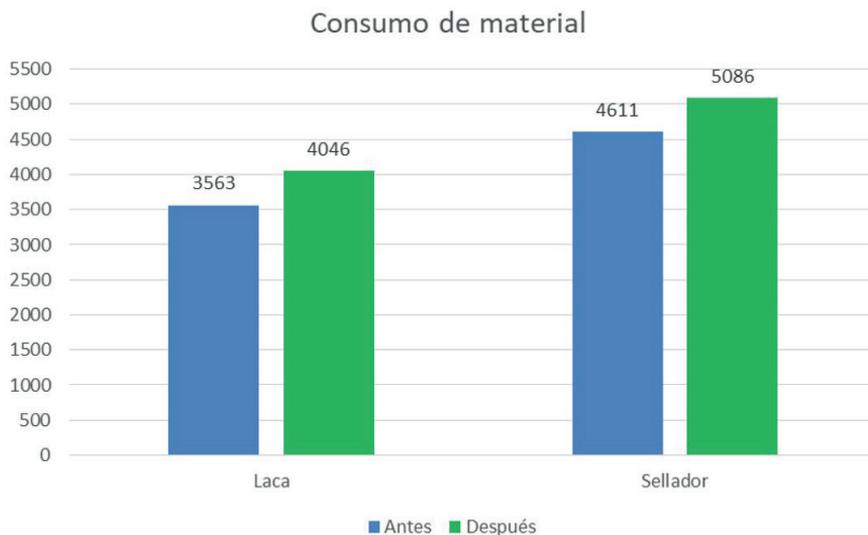


Figura 8. BBS Baja. Comparación del consumo de material.

También se realizó una toma de tiempos para verificar qué tanta toma llenar un carrito de 80 tablas después de haber implementado el equipo y compararlo con la situación inicial. Se presentan en la tabla 5 los tiempos tomados.

Tabla 5. BBS Baja. Tiempo que toma llenar un carrito de tablas durante pruebas.

Material	Tiempo (segundos) antes	Tiempo (segundos) después
Laca	261.2	228.22
	246.85	220.07
	257.95	226.07
	251.78	208.09
	263.94	227.03
Sellador	270.6	237.04
	263.36	224.03
	253.32	226.08
	255.71	207.35
	267.67	229.49

Comparado con la situación inicial, el tiempo promedio se redujo en un 13.43% para la laca y en un 14.24% para el sellador (figura 9), lo que se debe a que ya no se necesita abrir el rociador para que dispense la cantidad correcta de material cada vez que se cierre la válvula del rociador, en su lugar, se abre correctamente al principio de la jornada y el compresor se encarga de permitir y bloquear el paso de material cuando es accionado por el sensor.

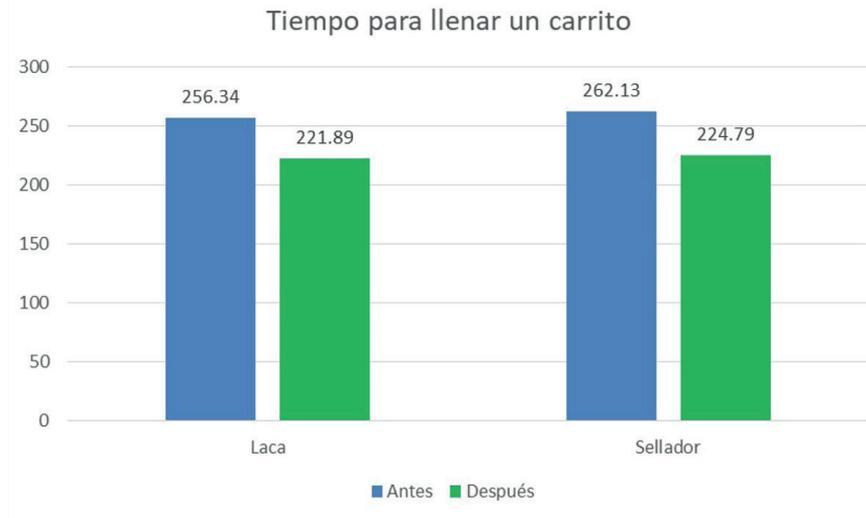


Figura 9. BBS Baja. Comparación de tiempos promedio.

En cuanto a la cantidad de barriles de material reciclado, se redujeron a ocho barriles, comparado con los 13 que se tenían en la semana que se concluyó con las pruebas. El costo de la disposición de cada barril de material reciclado ronda entre 360 y 420 dólares, según cuánto material quede en el barril.

Conclusiones

Una automatización significa mejoras para cualquier proceso, puede ir desde reducir los errores humanos hasta directamente eliminarlos, siempre y cuando se realice correctamente. Otro de los beneficios es que se pueden identificar cuellos de botella que pudieran presentarse en otra etapa del proceso. En el caso de este proyecto de investigación, se logró implementar el PLC en el área de producción, y se logró reducir un porcentaje de los desperdicios del área.

Se eliminó la necesidad de reciclar el material y se pudo liberar el espacio que el material reciclado ocupaba en el área. Se agilizó el proceso de aplicación de laca y sellador y se redujo el tiempo que duran los carritos de tablas en un 13.43% y un 14.24%. Este objetivo se cumplió, sin embargo, no en la medida en la que se esperaba del 20%. Se logró también el objetivo de aumentar la productividad, tomando en cuenta la capacidad de producción, que se incrementó en un 15.71% y un 16.84%, un poco más que el objetivo de 15%. Además, se incrementó el rendimiento del material en un 12.34% y un 10.03%.

Después de que la empresa absorba el costo de los barriles de material reciclados que se encuentran en el área de producción en el momento, el cuál sería de alrededor de 3,360 dólares aproximadamente, se verá reflejado un ahorro considerable, de alrededor de 243,750 dólares al año.

Recomendaciones

En relación con la experiencia que se obtuvo a lo largo del desarrollo de la investigación, se ofrecen las siguientes recomendaciones que se espera sean tomadas en cuenta por parte de la empresa. Las recomendaciones están basadas en sucesos que tuvieron lugar durante el desarrollo del trabajo y se relacionan con el mismo.

- Llevar un orden correcto en el llenado de registros de consumo de material y material desperdiciado para mantener los inventarios actualizados en todo momento.
- Implementar números de lote para cada orden de producción para mejorar la rastreabilidad del producto.
- Implementar alguna especie de calefacción en los almacenes donde las tablas se dejan a secar para que el clima frío no afecte el acabado y la calidad del producto final.

Referencias

- Brunete, A., Segundo, P., Herrero, R. (2020). *Introducción a la automatización industrial*. Universidad Politécnica de Madrid. España. Recuperado de: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/
- Calderón, F., Román, D. (2017) *Implementación de un módulo de red industrial basado en el estándar interfce-sensor actuador controlado por PLC en el laboratorio de automatización industrial de la facultad de mecánica*. [Tesis de licenciatura inédita]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7564/1/25T00312.pdf>
- Masero, A. (2017). *Diseño y programación de un sistema automatizado de etiquetado de piezas basado en reconocimiento de piezas con visión artificial y almacenamiento robotizado*. [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Sevilla. España. Recuperado de: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91175/fichero/TFG_ANGEL_MASERO_BERZAL.pdf
- Mandado, E., et al. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización*. (1ª ed.). Marcombo. España.
- Numpaque, A., Avendaño, A. (2016). *Diseño y propuesta de implementación de un sistema de automatización y supervisión para el proceso de dosificación en la fabricación de margarinas*. [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Santo Tomás. Colombia. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2386>
- Pérez-López, E. (2015). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Tecnología en marcha*. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n4/0379-3982-tem-28-04-00003.pdf>

Simulación matemática para evaluar la práctica sustentable en la industria manufacturera de Mexicali

Ana Laura Sánchez Corona, Rafael Ernesto Gastelum Gaxiola, José Alejandro Ascanio Méndez, Ernesto Sánchez Rodríguez¹

Resumen

Se elaboró una simulación matemática con el método de regresión y correlación estadística con el cual se desarrolló una evaluación de la práctica sustentable relación en procesos de manufactura de industrias ubicadas en la ciudad de Mexicali, con el objetivo de determinar por medio de un modelo matemático, los niveles de estimación estadística, realizado en 14 empresas industriales de diversos tipos de actividades industrias. En este análisis se obtuvo una ecuación matemática con un nivel de confianza del 85% ($r^2=0.85$) para estimar a futuro este parámetro y en el caso de pérdida de datos numéricos poder recuperarlos.

Palabras clave: Simulación matemática, proceso de manufactura, práctica sustentable

Introducción

Actualmente, la industria opera constantemente con procesos de manufacturera esbelta para obtener el máximo rendimiento productivo, considerando aprovechar de manera eficiente los recursos, aplicando acciones de

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Mexicali.
Autora de correspondencia contactar en ana_sanchez04@itmexicali.edu.mx

manufactura sustentable, para reducir o eliminar los desperdicios y poder reutilizar algunos materiales, pensando en preservar los recursos naturales para las siguientes generaciones según Costa *et al.* (2019).

El objetivo de este estudio es que a través de la simulación matemática con el método de regresión y correlación estadística lograr desarrollar una evaluación de la práctica sustentable con la relación en procesos de manufactura en 14 industrias ubicadas en la ciudad de Mexicali, para determinar por medio de un modelo matemático una ecuación matemática con un nivel de confianza del 85% ($r^2=0.85$) con el fin de estimar a futuro este parámetro, en el caso de pérdida de datos numéricos de sus evaluaciones poder recuperar los datos.

Las empresas industriales trabajan arduamente para enfocarse a controlar los siete desperdicios tradicionales, y en un octavo desperdicio que está enfocado en el talento humano, que se muestran en la figura 1. Para lograr una eficiencia en la productividad, las industrias evalúan la estrecha relación de la manufactura esbelta y manufactura sustentable, con el objetivo de agregarle valor a los procesos industriales y a los productos fabricando artículos ecológicos como lo indica Díaz *et al.* (2013).

Según analistas de esta temática, del total de actividades en empresas manufactureras, sólo el 5% agregan valor, el 35% son actividades necesarias que no agregan valor y un 60% no son necesarias ni agregan valor, indicando que la eliminación de desperdicios representa un alto potencial de mejora en la gestión empresarial (Carbajal y Gary, 2019; Abraham *et al.*, 2014).

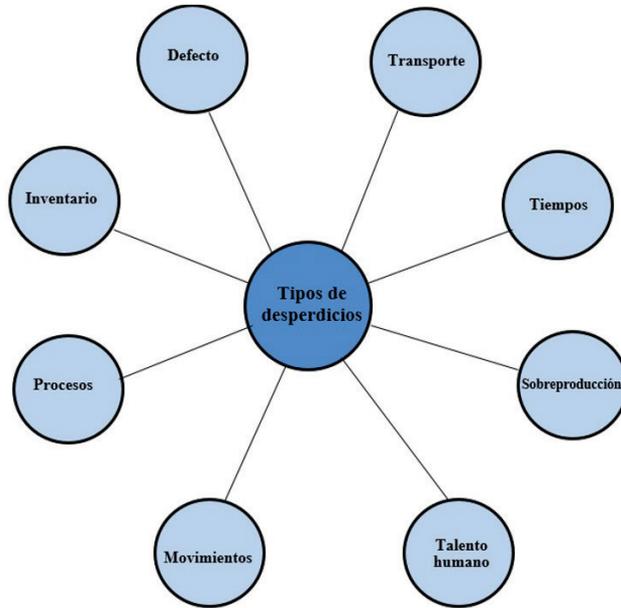


Figura 1. Tipos de desperdicios.

Fuente: Elaboración propia.

Industria manufacturera

Actualmente las industrias manufactureras de la ciudad de Mexicali, Baja California no aplican de manera correcta las prácticas de mejora continua, basadas en las acciones de manufactura esbelta y manufactura sustentable, por lo cual no existe vinculación entre ellas y no se obtiene un beneficio óptimo, como en el caso de la empresa Toyota en Japón en la década de los 30's, que tuvo que identificar la necesidad de mejorar y adecuarse a los cambios que el futuro traería para esta empresa de acuerdo a Leong, *et al.* (2019).

Respecto a la manufactura esbelta, el primer acontecimiento relevante a nivel internacional sobre temas de sustentabilidad, ocurrió en 1972, en una Conferencia sobre el Ambiente Humano, realizada en la ciudad de Estocolmo, Suecia, y posteriormente el segundo evento de importancia fue 1983 y 1987 (Badii, Guillen, A., & Abreu, J., 2017). Esto fue desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para crear nuevas políticas públicas para todas las naciones, con el fin de favorecer la preservación de

los recursos naturales, evaluando acciones para lograr un eficiente desarrollo sustentable, denominándose informe Brundtland. Dicho informe expresaba que está en manos de la humanidad propiciar un óptimo desarrollo sustentable según comentan algunos autores como Zhan *et al.* (2018) y Carro, Sarmiento y Rosano (2017).

Relación de práctica sustentable y procesos de manufactura

Expertos en la evaluación de procesos de manufactura, consideran que aplicar acciones de mejora continua, puede incrementar los índices de 20% a 40%, aumentando los niveles de calidad de 50% a 75%, y reduciendo los tiempos de producción de 60% a 95%)., y al aplicar la práctica sustentable, puede reducir o eliminar los índices porcentuales de los tipos de desperdicios mencionados anteriormente según presentan en sus estudios (Pampanelli, Found, P., & Bernardes, A., 2014).

Diversos analistas como Von Geibler, Kristof, K., & Bienge, K. (2010) que evalúan este tipo de relación, mencionan que su mayor auge fue a partir del siglo XXI, cuando aumentó la preocupación de ambientalistas, considerado que era necesario elaborar una productividad de manera cuidadosa, para preservar nuestros ecosistemas, y así evitar que se deterioren pudiendo poner en peligro a las futuras generaciones.

La industria manufacturera en Mexicali

En la República Mexicana, y en especial en la zona noroeste donde está ubicada la ciudad de Mexicali, en los últimos diez años, se le ha dado gran auge, pero no se ha logrado establecer de forma adecuada esta relación, siendo una oportunidad para expertos en estas temáticas, de aplicar las acciones necesarias para optimizar los recursos y lograr disminuir al máximo o eliminar los ocho desperdicios mencionados anteriormente como lo presentan en sus estudios Juárez y Brid (2016) y Sánchez, Navarro y Medina (2016).

En esta ciudad fronteriza el estado de California, ubicado en Estados Unidos; tiene una infinidad de actividades comerciales con el estado de Baja California de nuestro país, por el Tratado de Libre Comercio, por lo cual están instaladas 120 industrias de diversas actividades y giros industriales, siendo propicias para aplicar acciones de la relevante relación de manufactura esbelta con la manufactura sustentable como lo mencionan en sus diversos estudios autores como Ibarra (2017) y Sánchez *et al.* (2015).

Correlación estadística

Se realizó una evaluación estadística con el método de regresión y correlación, del parámetro de prácticas sustentables en 14 industrias instaladas en la ciudad de Mexicali, de datos numéricos para desarrollar un modelo matemático, como prueba piloto para determinar una estimación de los datos de este parámetro analizado, obteniendo la siguiente ecuación matemática, con la cual se elaboraron tres eventos para valorar a futuro la posibilidad de que las 14 compañías industriales evaluadas puedan ir mejorando en la aplicación de este parámetro evaluado o en el caso para recuperación de datos si es posible una pérdida de estos por una falla en los sistema de cómputo o por error humano según lo pone en evidencia Ibarra (2017). La ecuación matemática a continuación y se evalúa su funcionamiento en una sección posterior visualizando en una tabla y grafica numérica:

$$F(X) = 3X^2/3 - 2X^{1/3} + 24.5X^{1/4} - 16X^{1/4} - 0.0017X^{1/4} - 2X^{1/4} - 0.027 \quad (1)$$

Esta ecuación matemática fue obtenida por medio del método de momentos de estimación estadística con su proceso estadístico para determinar el modelo matemático lo más adecuado para el parámetro evaluado, donde se contemplan para un análisis posterior los parámetros siguientes:

1. Evaluación de productividad.
2. Análisis de aplicación de métodos de manufactura esbelta.
3. Correlación de aplicación de métodos de manufactura esbelta y productividad.
4. Correlación de aplicación de métodos de manufactura sustentable y productividad.
5. Correlación de aplicación de métodos de manufactura esbelta y manufactura sustentable.

Metodología

Se elaboró y aplicó una evaluación utilizando la escala Likert a 14 industrias manufactureras de la ciudad de Mexicali para determinar en base a la información porcentual obtenida de dichas empresas la importancia de la aplicación de la práctica sustentable enfocada en la reducción y eliminación de los ocho desperdicios ya mencionados, logrando evaluarlos, la obtención y análisis de datos.

La aplicación del instrumento de medición se llevó a cabo en un periodo de tiempo de un año donde el método de recopilación de información se realizó programando las visitas a cada una de las industrias participantes para la aplicación de las encuestas, con la información obtenida se estimó el compartimento de la práctica sustentable en las industrias evaluadas a través de la obtención de la ecuación matemática por medio del método de momentos de estimación estadística.

Se utilizó un cuestionario como herramienta de recopilación de la información y se evaluó dicha información con el método de regresión y correlación por medio del método de momentos desarrollado en el software minitab, esto se realizó para obtener el modelo matemático el cual nos ayudara a la recuperación de información en caso de pérdida o bien trabajar con la inferencia para algún caso particular de estudio cambiando algunas variables en caso de ser necesario.

Resultados

El análisis de evaluación estadística mostró que conforme se elaboran varios eventos se aproxima el valor real al valor estimado con el modelo matemático obtenido, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de simulación matemática de práctica sustentable en la industria de Mexicali.

Eventos Industrias	Evento 1			Evento 2			Evento 3		
	VR	VE	D*	VR	VE	D	VR	VE	D
1	38.0	43.3	5.3	43.3	46.6	3.3	46.6	48.7	2.0
2	77.0	65.0	12.0	65.0	58.9	6.1	58.9	55.6	3.3
3	62.0	57.3	4.7	57.3	54.8	2.6	54.8	53.3	1.4
4	31.0	38.7	7.7	38.7	43.7	5.1	43.7	46.9	3.2
5	23.0	32.8	9.8	32.8	39.9	7.1	39.9	44.5	4.6
6	8.0	18.9	10.9	18.9	29.5	10.6	29.5	37.6	8.1
N	69.0	61.0	8.0	61.0	56.8	4.2	56.8	54.5	2.3
8	100.0	75.9	24.1	75.9	64.5	11.4	64.5	58.6	5.9
9	54.0	52.9	1.1	52.9	52.3	0.6	52.3	51.9	0.4
10	46.0	48.3	2.3	48.3	49.6	1.3	49.6	50.4	0.8
11	92.0	72.2	19.8	72.2	62.6	9.6	62.6	57.7	5.0
12	83.0	68.0	15.0	68.0	60.5	7.5	60.5	56.5	4.0
13	15.0	26.1	11.1	26.1	35.1	9.0	35.1	41.5	6.3
14	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	1.3	8.2	7.0

VR. Valor Real, VE. Valor Estimado, D*. Diferencia con Valor Absoluto.

La tabla 1 muestra en la sección de valor real, indicando el valor del primer año de la aplicación del parámetro de práctica sustentable, y siendo los datos numéricos obtenidos de la encuesta realizada de la investigación en las empresas industriales. En los siguientes dos apartados de la tabla, el valor estimado del primer evento, se expresa la primera etapa de la simulación matemática, que representa una estimación estadística del segundo valor como una aproximación del primer valor, que es el real.

El segundo valor fue obtenido de la ecuación matemática mostrada anteriormente en Ec1 y generada del análisis de correlación y regresión estadística, que indica el segundo año de la aplicación del parámetro de práctica sustentable, y el tercer apartado es la diferencia del valor real y el valor estimado, mostrando las diferencias entre el valor real y el valor estimado.

Una vez elaborado el análisis del primer evento, se procedió a realizar la evaluación del segundo evento, donde, en este evento, se tomó el valor estimado del primer evento, como el valor real y se obtuvo un valor estimado, indicando que es el proceso de la aplicación de práctica sustentable para el segundo año en cada empresa industrial evaluada.

Este proceso se realizó para determinar el comportamiento de la aplicación de este importante parámetro evaluado, observando que el valor estimado obtenido de la ecuación matemática es un poco mayor al considerado como valor real obtenido del primer evento, mostrando un pequeño incremento y representando que el parámetro evaluado, en el segundo año reportado como valor estimado, tiene un efecto positivo y con la simulación matemática, se ilustra que este parámetro evaluado, puede mejorar los índices de productividad, calidad y uso adecuado de los recursos sin afectar los ecosistemas y no poner en riesgo para las futuras generaciones.

Se observó que la diferencia entre el valor considerado como real y el valor estimado se redujo, siguiendo el mismo proceso del evento 1, el cual indicó que la ecuación matemática que los valores reales se asemejan a los estimados y es confiable, y con esta función matemática, se puede estimar el comportamiento del parámetro de práctica sustentable a un futuro corto y determinar la importancia de este parámetro evaluado, y en el caso de pérdida de datos numéricos, poder recuperarlos con esta ecuación matemática.

El mismo proceso se realizó para el evento 3, donde se elaboró el análisis tomando el valor estimado de evento 2, como el valor real para el evento 3, y así poder obtener el valor estimado para el evento 3, con la función matemática.

tica. Se observó que a medida que se realicen análisis de eventos, los valores estimados, son lo más semejantes a los alores considerados como alores reales, en cada evento realizado, indicando que la ecuación matemática es confiable.

La figura 2 ilustra al valor real y los tres eventos evaluados, donde se observa que a medida que se elabora el análisis de los eventos, la representación de los datos numéricos que se ilustran como líneas punteadas en el valor real y los tres eventos, las líneas se asemejan con mayor relevancia conforme se realizan más análisis de eventos con datos considerados como reales y los valores estimados obtenidos en cada evento. En el gráfico se observan como las líneas que representan al valor real y cada evento van similares, esto se explicó en el análisis de la tabla 1.

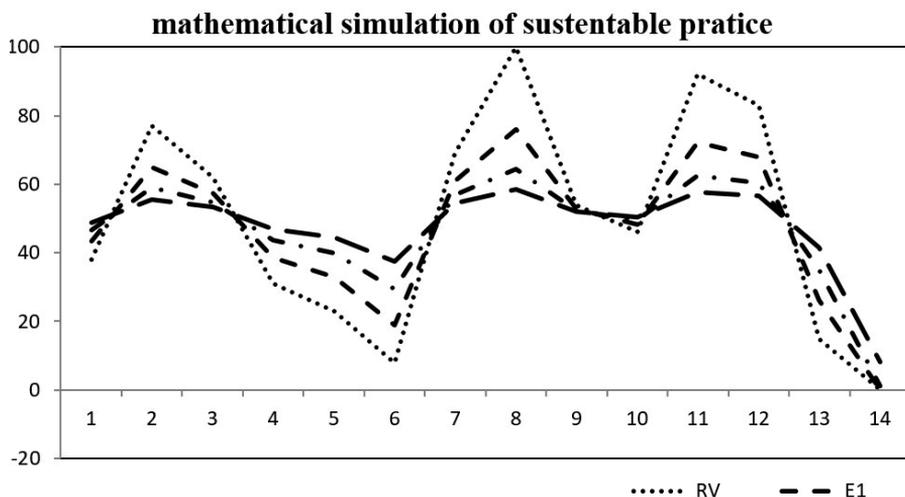


Figura 2. Análisis del valor real y eventos de la simulación matemática.

Conclusiones

A través de esta investigación, se observó que el modelo matemático resultado del análisis de correlación y regresión estadística, fue de gran utilidad para estimar a un futuro corto el comportamiento del parámetro de práctica sustentable, con los datos numéricos de la evaluación inicial y estimar en tres eventos, indicando tres años de análisis.

Con este trabajo se apoyó a las industrias evaluadas, a mejorar sus estrategias especializadas de una manera más eficaz para mejorar la sustentabilidad

de sus operaciones industriales, promoviendo la mejora continua de sus procesos enfocados en la aplicación de práctica sustentable. La implementación de la práctica sustentable es más beneficiosa cuando las empresas industriales están involucradas y comprometidas en entornos competitivos ya que pueden utilizar estrategias para su crecimiento.

Con la aplicación del modelo matemático, se demostró que es posible lograr aumentos de la productividad en el área donde fue implementado, fue posible concretar que la evaluación de la práctica sustentable apoyó para generar un sistema de mejora continua y eliminación de todo tipo de residuos en los eslabones de las cadenas de producción lo que conlleva a mejorar la calidad, reducir costos y agregar valor para los clientes.

Con la información obtenida se podrá establecer como base para seguir evaluando y demostrando los impactos favorables que las prácticas sostenibles tienen sobre la productividad de las empresas, que es posible apoyar a través de modelos matemáticos la simulación de posibles eventos cuando hay cambios en las variables de respuesta de los modelos.

La estrategia de una producción sustentable es un paradigma que se centra en el impacto que esta tiene en la eliminación de residuos relacionados con el agua, energía, aire, así como en los residuos sólidos peligrosos. La práctica sustentable funciona bien cuando se enfoca en identificar y eliminar las actividades sin valor agregado y los esfuerzos de mejora ambiental van de la mano con la identificación de oportunidades de mejora, las prácticas permite identificar fácilmente dichas oportunidades.

El tema de manufactura sustentable en la industria ha sido muy relevante a nivel mundial y con mayor auge desde principios del siglo XXI, pero en algunas regiones de la República Mexicana, como el noroeste de nuestro país, donde está ubicada la ciudad de Mexicali, todavía existen algunas empresas industriales del sector manufacturero, que no han aplicado ningún tipo de evaluación de manufactura sustentable.

Es por esto, que este análisis, resalta la importancia de esta investigación como prueba piloto para el parámetro de práctica sustentable, se aplica el mismo proceso de análisis para los otros parámetros mencionados en esta evaluación, una etapa posterior y reforzar la relación entre la manufactura esbelta y la manufactura sustentable.

Es importante resaltar que las prácticas sostenibles son aquellas que buscan reducir el impacto ambiental y social de la producción, así como el

transporte y el consumo de bienes y servicios. Algunos beneficios de implementar estas prácticas para las industrias manufactureras encontrados durante esta investigación son el mejorar la eficiencia energética, ahorrar recursos naturales, aumentar la competitividad, generar valor agregado, fomentar la innovación y fortalecer la responsabilidad social.

Algo importante de mencionar es que, en México, existen empresas que han adoptado prácticas sustentables exitosas en su cadena de suministro, sin embargo, también hay desafíos que enfrenta las industrias para lograr una mayor sostenibilidad ambiental, como lo es la falta de regulación, incentivos, capacitación y conciencia. Por lo tanto, se requiere de un compromiso colectivo y una visión a largo plazo para impulsar el desarrollo sustentable en el sector industrial mexicano.

Referencias

- Abraham, L., Alturria, L., Fonzar, A., Ceresa, A., & Arnes, E. (2014). Sustainability indicators proposal for vine production in Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 46(1), 161–180.
- Badii, M., Guillen, A., & Abreu, J. (2017). La industria y el desarrollo sostenible. *International Journal of Good Conscience*, 12(1), 105-126.
- Carbajal Asin, G. K. (2019). *Modelo Lean-Green en el proceso de producción dentro de la industria de confecciones textiles de lencería* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Carro, J., Sarmiento, S., & Rosano, G. (2017). La cultura organizacional y su influencia en la sustentabilidad empresarial. La importancia de la cultura en la sustentabilidad empresarial. *Estudios Gerenciales*. 33(145), 352–365.
- Costa, F., Lispi, L., Staudacher, A., Rossini, M., & Kundu, K. (2019). How to foster Sustainable Continuous Improvement: A cause-effect relations map of Lean soft practices. *Operations Research Perspectives*. 6(19). <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100091>
- Díaz, N., Jondral, A., Greinacher, S., & Dornfeld, D. (2013). Assessment of lean and green strategies by simulation of manufacturing systems in discrete production environments. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 62(1), 475–478.
- Ibarra, M. G. (2017). Competitividad empresarial de las pequeñas y medianas empresas manufactureras de Baja California. *Estudios Fronterizos*. 18(35), 107–130.

- Juárez, S., & Brid, J. (2016). The challenge of economic growth in Mexico. Manufacturing industries and industrial policy. *Revista Finanzas y Política Económica*. 8(2), 271–299.
- Leong, W., Lam, H., Ng, W., Lim, C., Tan, C., & Ponnambalam, S. (2019). Lean and Green Manufacturing – a Review on its Applications and Impacts. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. 3(1), 5–23.
- Norman G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in health sciences education: theory and practice*, 15(5), 625–632. <https://doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y>
- Pampanelli, A., Found, P., & Bernardes, A. (2014). A Lean & Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*. 85, 19–30.
- Sánchez Corona, A. L. (2016). *Evaluación de madurez lean en organizaciones de la ciudad de la ciudad de Mexicali B.C.* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad Autónoma de Baja California. México. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12930/2501>
- Sánchez, A., Medina, S., López, A., & Navarro, C. (2015). Obstáculos en la implementación del pensamiento lean en industrias de Mexicali, B.C. *Academia Journals Celaya*, 28(4), 5247–5446.
- Von Geibler, J., Kristof, K., & Bienge, K. . (2010). Sustainability assessment of entire forest value chains: Integrating stakeholder perspectives and indicators in decision support tools. *Ecological Modelling*. 221(18), 2206–2214.
- Zhan, Y., Tan, K., Ji, G., Chung, L., & Chiu, A. . (2018). Green and lean sustainable development path in China: Guanxi, practices and performance. *Resources, Conservation and Recycling*. 128, 240–249.

Aplicación del diseño de experimentos en la selección de factores para corte de laminados cerámicos

Jesús Iván Alaniz Muñoz, Gladys Carlota Figueroa Valdez ¹,
Arelly Murillo Silva, Ismael Hernández Capuchin

Resumen

El presente trabajo se centra en mejorar un proceso industrial en el sector aeroespacial, con la intención de optimizar la producción y reducir las fallas de corte irregular o deficiente, lo que ocasiona pérdida de metalización en el producto terminado. El objeto de estudio es el proceso de corte de laminados cerámicos en capacitores usando láser de fibra de estado sólido. Las fallas más comunes son cortes irregulares o deficientes que ocasionan problemas en el desempeño del producto final. Se utilizó la metodología estadística de diseño de experimentos para solucionar las fallas del proceso y determinar los parámetros óptimos de operación. A través de las etapas de planeación del experimento, análisis, interpretación y resultados, y usando un software se obtuvieron resultados que demuestran las condiciones en las cuales se disminuye el desprendimiento de metalización y se obtiene un corte regular en laminados cerámicos, beneficiando a la empresa en su producción.

Palabras clave: Experimentación, corte, láser, parámetros.

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Ensenada.
Autora para correspondencia contactar en gfigueroa@ite.edu.mx

Introducción

Ryan (2007) menciona que las personas realizan experimentos frecuentemente; los trabajadores de una ciudad buscan el camino más corto o rápido para llegar a trabajar, en cada casa se experimenta con las recetas de cocina para mejorar el sabor de los platos servidos o se analizan distintas alternativas para mejorar el estado físico. En la industria, la experimentación suele utilizarse básicamente en dos áreas: el diseño y la mejora de procesos y productos. La experimentación proporciona en estos casos la descripción aproximada de cómo se comportan los procesos o productos, restringida a una región de interés. La mejora de los procesos es generalmente el objetivo hasta que este alcanza el nivel deseado (Montgomery, 2006).

La mayoría de los problemas industriales están condicionados por el tiempo y el presupuesto, lo que supone una limitación importante a la hora de experimentar. Debido a lo anterior, antes de realizar experimentos que ayuden a mejorar un proceso, las empresas tendrían que responder la siguiente pregunta: ¿Cómo se puede obtener de la manera más eficiente, la mayor información posible de los experimentos a realizar? Este trabajo de investigación se centra en la aplicación del diseño de experimentos (DoE, por sus siglas en inglés) para determinar los factores principales que contribuyen a realizar un corte casi perfecto de laminados de cerámica de alúmina (óxido de aluminio - Al_2O_3) usando un láser de fibra de estado sólido.

Realizar un corte mediante la tecnología láser es un proceso térmico sin contacto, en donde se separa en dos un material utilizando un láser focalizado. Esta tecnología ha evolucionado enormemente desde su primera aplicación en los años setenta (Vilumsone, 2018). En la actualidad esta tecnología se utiliza con gran éxito para realizar cortes en casi todos los materiales como: cerámica, metal, vidrio, madera, papel, polímeros, cuero y textiles, entre otros materiales (Badoniya, 2018; Genna, 2020; Atwee, Swidan y Zahra, 2023). El corte por láser emplea varios mecanismos de eliminación de material que difieren según el tipo de material que se corta (Khatak, 2022). Cuando se utiliza un láser de fibra de estado sólido, este basa su funcionalidad en diversos minerales. Debido a que este tipo de dispositivos son de gran potencia de láser por unidad de volumen, es posible utilizar un resonador pequeño al realizar cortes precisos. Este mecanismo funciona bien para la mayoría de los materiales. Otras ventajas destacadas de utilizar un cortador sin contacto (láser) son: el corte con pequeñas deformaciones y la alta precisión (Zoghi y Jafarian, 2023).

La tecnología utilizada en las empresas de componentes electrónicos es cada día más compleja, debido a que los productos cada vez son más pequeños, y por lo mismo se requiere mayor precisión en su transformación (Minguez, 2021). El capacitor es un componente utilizado en el diseño y manufactura de filtros electrónicos analógicos. Los capacitores tienen una amplia gama de aplicaciones en circuitos y sistemas de alta frecuencia. Algunas de las aplicaciones más comunes incluyen el filtrado de señales de radiofrecuencia. En el diseño de filtros electrónicos para radiofrecuencia, se requiere hacer cortes de laminados cerámicos en diferentes dimensiones que abarcan desde 0.010 hasta 0.020 pulgadas de espesor con diversas dimensiones de largo y ancho. Cada corte representa un valor de capacitancia diferente, que primero se analiza en una fase de prototipo antes de liberar órdenes a manufactura y producción. La operación de corte con láser es crítica debido a las dimensiones que se requieren y aunque el dispositivo láser utilizado tiene parámetros ajustables, si no son definidos correctamente pueden causar variaciones en el corte de laminados y por consecuencia defectos en el producto final, afectando el resultado de rendimiento y calidad.

Este trabajo se centra en la aplicación del método DoE para encontrar los parámetros óptimos del corte con láser, con el propósito de que el corte resulte homogéneo y con la mínima variación posible. De acuerdo con Gutiérrez (2008), un aspecto fundamental del diseño de experimentos es decidir cuáles pruebas o tratamientos se van a realizar y cuantas repeticiones de cada uno se requieren, por tal motivo debido al tiempo que se tiene para utilizar el equipo de producción al correr un experimento con varios tratamientos, se decidió optar por el método Taguchi, el cual se considera como un diseño robusto y que permite reducir los factores de ruido.

El objetivo principal de esta investigación es la reducción de rechazos de corte de laminados cerámicos con láser de estado sólido aplicando el DoE. Ya que se considera como una herramienta fuera de línea y aplicado a los procesos industriales contribuiría a la eliminación o reducción de los problemas relacionados con corte homogéneo de laminados como se mencionó en párrafos anteriores. Por lo tanto, se pretende reducir las variaciones en el corte, lo que conlleva una mejora en los procesos internos de la empresa y un mejor cumplimiento de metas con los clientes, con el beneficio económico que eso implica.

El método Taguchi se utiliza con un diseño ortogonal L8 matriz de Taguchi para siete variables y ocho experimentos, el cual fue seleccionado debido

a que no requiere corridas numerosas, ya que el proceso de corte tiene un costo significativo. Este método es un diseño robusto que considera la variación por lo que no es necesaria una cantidad elevada de experimentos para obtener resultados significativos (Melo, López y Melo, 2008).

A través de las diferentes fases del DoE y utilizando un software comercial (MINITAB) (Lee, 2022) se logró determinar los factores y los parámetros que causan un efecto significativo para la precisión de corte con láser, obteniendo una mejora en la calidad de un 90% de aceptación y satisfacción del cliente, y a su vez se logró la reducción de costos al generar una menor cantidad de material de desperdicio.

Metodología

Descripción del proceso de corte con láser de estado sólido

A continuación, se observa en la Tabla 1 las operaciones que integran el proceso completo de corte de laminados cerámicos con láser YAG (Yttrium Aluminium Garnet o láser de granate de itrio y aluminio). Incluyendo cantidades y tiempo en minutos.

Tabla 1. Descripción del proceso de corte de Láser.

Descripción	Dimensión	Cantidad	Tiempo (minutos)
Configuración del corte de laminado cerámico.	0.010 x 3.0 x 3.0 pulgadas	1	5
Corte de laminado cerámico.	0.010 x 3.0 x 3.0 pulgadas	18	33
Lavado de laminado.	0.010 x 1.0 x 0.5 pulgadas	18	8
Configuración corte de capacitores.	0.010 x 0.040 x 0.045 in	1	3
Corte de capacitores.	0.010 x 0.040 x 0.045 in	220	65
Lavado de capacitores.	0.010 x 0.040 x 0.045 in	220	8
Revisión y separado.	0.010 x 0.040 x 0.045 in	220	30
Inspección de calidad.	0.010 x 0.040 x 0.045 in	220	15

Fuente: Elaboración y recolección de datos propios.

Descripción de filtros de radiofrecuencia

Un filtro es, en general, un dispositivo formado por componentes como resistencias, bobinas, capacitores, y dispositivos activos interconectados entre sí para producir cambios específicos a una señal de entrada y obtener una señal de salida con las características deseadas.

Reconocimiento del problema

El problema de estudio deriva de una pérdida de señal en un filtro que se atribuyó a problemas con los cortes de los laminados cerámicos, afectando el desempeño final del filtro. Este problema generó una pérdida del 30% de niveles de calidad e incrementó los costos. El incremento de los costos fue debido al retrabajo de las piezas que fueron rechazadas, además, como medida de corrección, se removieron y soldaron de nuevo los capacitores de alúmina ya instalados.

Debido a lo anterior, los capacitores que se removieron del ensamble sirvieron para revisión de medición de las variaciones de corte en los laminados cerámicos de alúmina. Demostrando un corte irregular, originado en el proceso de corte con la máquina "Micro Automation", demostrado los datos estadísticos a continuación:

Especificación de corte: $0.010 \times 0.040 \times 0.045$ pulgadas
Tolerancia: ± 0.005

Como se observa en la Figura 1, estadísticamente se analizaron 220 muestras de corte del capacitor (variable C1) el cual se obtuvo una media de 0.0399 y una desviación estándar de 0.0052 lo que, representa una distribución normal, y a su vez podemos observar que el intervalo de confianza de las medias esta dentro de los rangos de corte, pero con puntos fuera de las especificaciones. Lo que indica que el proceso está controlado, sin embargo, no permite reducir la desviación estándar a un valor de 0.005.

Una vez observado el problema anterior, se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿Con la ayuda de un diseño experimental, se pueden definir los parámetros de control que nos permitan lograr menos de 0.005 pulgadas de variación entre cortes? ¿Podemos definir una correlación entre la tolerancia del corte y la respuesta eléctrica deseada, de forma tal que, ajustando el proceso de corte, se mejore el proceso de producción?

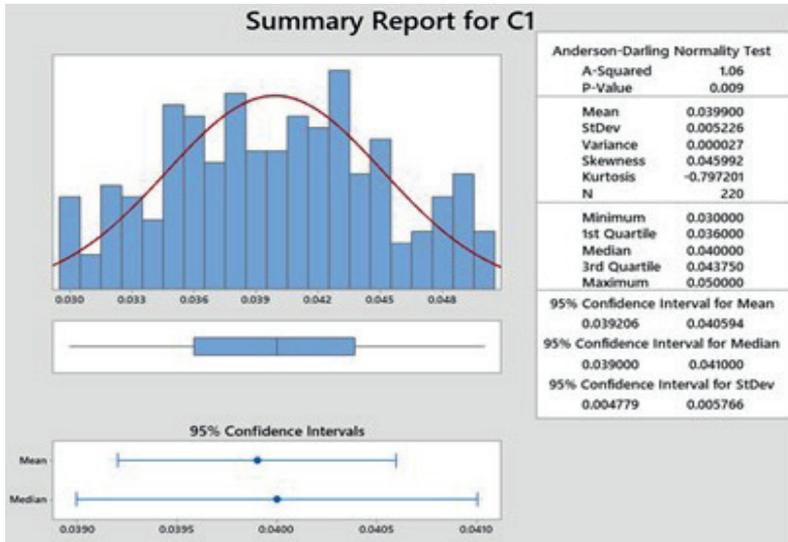


Figura 1. Desempeño del proceso de corte con máquina Micro Automation.
Fuente: Elaboración directa por programa MINITAB.

Elección de factores y niveles

Los factores que fueron considerados como aquellos que pueden beneficiar la optimización del corte con láser se listan a continuación, además, se presenta su descripción.

Potencia del láser en Watts: Proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico, es decir, la cantidad de energía eléctrica entregada o absorbida por un elemento en un momento determinado. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio o watt (W).

- Profundidad de corte: El láser focalizado erosiona el material y, de este modo, se produce una hendidura. Se realiza mediante la combinación de una abrasión de fusión y una de evaporación.
- Velocidad de corte: Velocidad de corte: ≤ 12000 mm/s. Al emplear luz láser de alto rendimiento, los marcadores láser son capaces de marcar a alta velocidad para una producción eficiente.
- Cantidad de ciclos de corte: Si se debe aplicar un corte por láser de mayor profundidad con una precisión milimétrica. Para lograr la profundidad requerida, a menudo se debe realizar un mecanizado de varias capas.

- D. Espesor o grosor de corte: En este proceso, la intensidad de la radiación es tan elevada que el material se funde y evapora parcialmente durante el mecanizado. En el material se genera una hendidura, el corte por láser.
- E. Tiempo de enfriado por pasada: Tiempo requerido entre cada pasada para permitir el enfriamiento de la pieza de corte, minimizando el estrés ocasionado por el calor del láser sobre la cerámica.
- F. Tipo de material: En microelectrónica, una oblea o lámina es una placa fina de un material semiconductor, como el silicio, con la que construyen microcircuitos mediante técnicas de dopado, grabado químico y deposición de varios materiales. Las obleas tienen una importancia clave en la fabricación de dispositivos semiconductores tales como los circuitos integrados o las celdas solares. Se fabrican diferentes tamaños que abarcan desde 1 pulgada (25,4 mm) hasta 11,8 pulgadas (300 mm) y calibres del orden de medio milímetro.

Selección de variables respuesta

Las variables respuesta fueron seleccionadas tomando como base la hipótesis a comprobar y la especificación eléctrica requerida por el cliente, por consecuencia se definen las variables respuesta como:

X: Rango de lecturas de corte con láser de tolerancia +/-0.005 pulgadas

Y: Respuesta eléctrica (pérdida de inserción y atenuación)

Selección de diseño experimental

La decisión de usar un diseño ortogonal L8 matriz de Taguchi para siete variables y ocho experimentos fue definida por el costo de la experimentación. Cada corrida experimental representa un costo significativo aún para una empresa de este ámbito, y debido a que el corte del material laminado cerámico es el objetivo a optimizar, entonces, el método Taguchi con sus ventajas al ser un diseño robusto, que considera la variación y no es necesaria la experimentación en gran cantidad, resultó ser el ideal para este proceso, con el propósito de obtener resultados significativos. Ver la Tabla 2 en donde se muestran los factores y niveles del experimento.

Tabla 2. Factores y Niveles de experimento.

Factores	Descripción	Nivel (+)	Nivel (-)
A	Potencia de Láser.	50 watt	20 watt
B	Profundidad de corte.	0.4 mm	0.2 mm
C	Velocidad de corte.	90 mm/s	50 mm/s
D	Cantidad de ciclos de corte.	20 ciclos	15 ciclos
E	Espesor o grosor de corte.	0.15 mm	0.10 mm
F	Tiempo de enfriado por pasada.	4 minutos	2 minutos
G	Tipo de Material.	0.508 mm (0.020 in)	0.254 mm (0.010 in)

Fuente: Elaboración y recolección de datos propios.

Tabla 3. Lista de corridas y sus niveles.

Corrida	A	B	C	D	E	F	G
1	20 watt	0.2 mm	50 mm/s	15 ciclos	0.10 mm	2 min	0.254 mm
2	20 watt	0.2 mm	50 mm/s	20 ciclos	0.15 mm	4 min	0.508 mm
3	20 watt	0.4 mm	90 mm/s	15 ciclos	0.10 mm	4 min	0.508 mm
4	20 watt	0.4 mm	90 mm/s	20 ciclos	0.15 mm	2 min	0.254 mm
5	50 watt	0.2 mm	90 mm/s	15 ciclos	0.15 mm	2 min	0.508 mm
6	50 watt	0.2 mm	90 mm/s	20 ciclos	0.10 mm	4 min	0.254 mm
7	50 watt	0.4 mm	50 mm/s	15 ciclos	0.15 mm	4 min	0.254 mm
8	50 watt	0.4 mm	50 mm/s	20 ciclos	0.10 mm	2 min	0.508 mm

Fuente: Elaboración y recolección de datos propios.

Realización de experimento

Para un control óptimo se definió cada uno de los experimentos, asignando valores a los niveles. En la Tabla 3 se muestra la lista de los ocho experimentos con sus respectivos valores de nivel. Debido al costo implícito en cada experimento, solo se usó una corrida de 30 capacitores por cada experimento, y se promediaron las medidas de los cortes. Sumando un total de 240 capacitores cerámicos cortados para el experimento.

Análisis de datos

Los resultados demuestran una correlación entre la pérdida de inserción y el corte irregular de las cerámicas. Hay un efecto negativo: si el corte es uniforme entonces es menor la pérdida de inserción. Para resolver el problema de falla de pérdida de inserción, es necesario mantener la distribución del corte de los capacitores de forma uniforme, como se observa en la Figura 2, donde la variable Y es la Respuesta Eléctrica (pérdida de inserción y atenuación) y X es el Rango de Lecturas de Corte con láser y una tolerancia +/- .005 pulgadas y en la cual podemos observar una correlación positiva entre ambas variables.

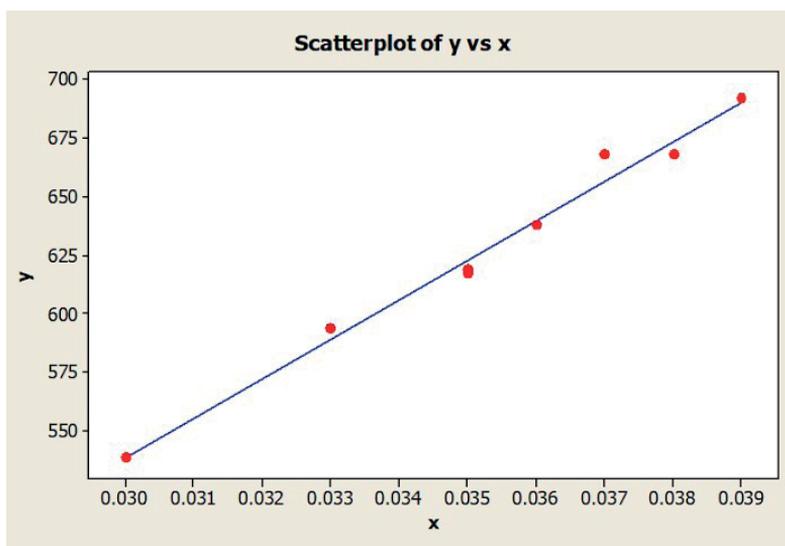


Figura 2. Gráfica de dispersión.

Fuente: Elaboración directa por programa MINITAB.

En la Figura 3 se muestran los efectos principales de la respuesta al medir los cortes de capacitores y su pertinente análisis. Se muestra como al usar el láser a una mayor potencia (50 Watts), manteniendo la cantidad de 20 ciclos de corte y dejando un tiempo de enfriamiento de 4 minutos entre cada ciclo, dará como resultado una mejor distribución de corte en los laminados cerámicos.

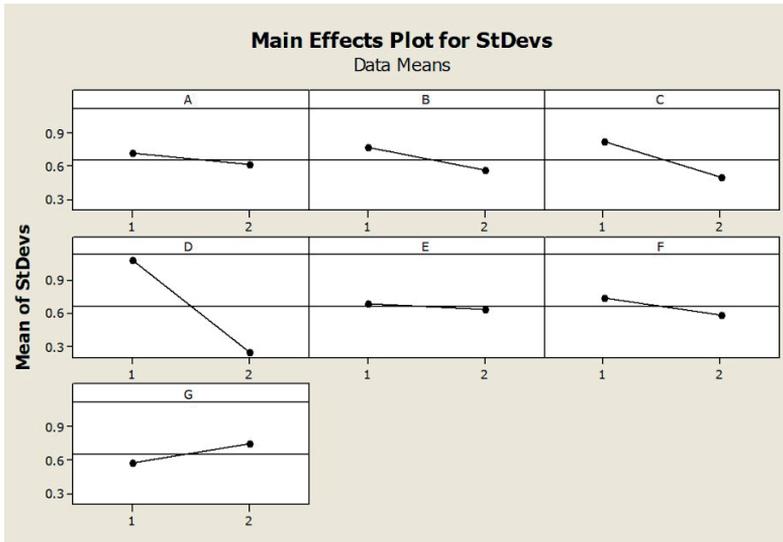


Figura 3. Gráfica de efectos respuesta, mediciones de corte.

Fuente: Elaboración directa por programa MINITAB.

Resultados y discusión

De acuerdo al análisis en los experimentos realizados, se seleccionaron los factores involucrados en el proceso de corte, además, se analizó una combinación entre ellos, midiendo el resultado de cada experimento para finalmente seleccionar aquellos parámetros con el mejor resultado. Con la implementación de los parámetros seleccionados, obtenidos como resultado del DoE, se logró que el nivel de calidad aumentará a un 90% de aceptación, lo que implica una reducción de costos por desperdicio del 20% (ver Figura 4 y Figura 5). Por lo tanto, se cumplió el objetivo principal de este proyecto, se analizaron por medio de un diseño de experimentos (DoE) los parámetros importantes para mejorar la distribución del corte de capacitores y se mejoró el nivel de calidad en su manufactura y producción, definiendo una correlación entre la tolerancia del corte y la respuesta eléctrica deseada, de forma tal que, ajustando el proceso de corte, se mejoró el proceso de producción.

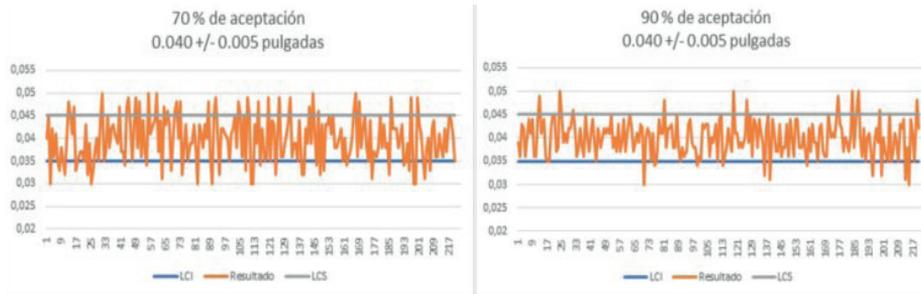


Figura 4. Resultados de calidad antes y después de cambios en el proceso en dimensión 0.040 +/- 0.005 pulgadas.

Fuente: Elaboración directa por programa MINITAB.

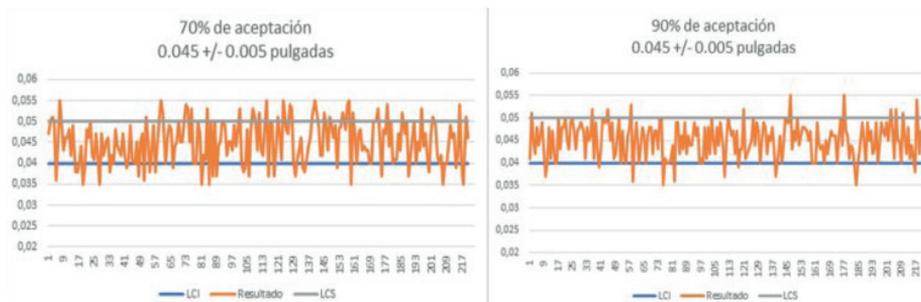


Figura 5. Resultados de calidad antes y después de cambios en el proceso en dimensión 0.045 +/- 0.005 pulgadas.

Fuente: Elaboración directa por programa MINITAB.

En la Tabla 4 se muestra una comparación entre los parámetros anteriores a la aplicación del DoE contra los parámetros establecidos una vez aplicado el DoE. Mantener la potencia del láser de corte a 50 Watts y realizar ciclos de corte de 20 cruces, demostró dar mejores resultados, mejorando los niveles de calidad. Incluso los parámetros de tiempo de enfriamiento también se modificaron al demostraron también que son un factor con efecto positivo. Por otra parte, los factores A y E no mostraron un efecto significativo en los resultados, por lo tanto, no se contemplan para los nuevos parámetros.

Tabla 4. *Parámetros anteriores contra los establecidos por Diseño de Experimentos*

Factores	Descripción	Parámetros antes de DoE	Parámetros después de DoE
B	Profundidad de corte	0.4 mm	0.2 mm
C	Velocidad de corte	90 mm/s	50 mm/s
D	Cantidad de ciclos de corte	15 ciclos	20 ciclos
F	Tiempo de enfriado por ciclos	2 minutos	4 minutos
G	Tipo de Material	0.508 mm (0.020 in)	0.254 mm (0.010 in)

Fuente: Elaboración y recolección de datos propios.

Conclusiones

En este estudio se comprueba que el diseño de experimentos es una herramienta eficiente para este caso específico, donde se encontraron con base a variables de entrada cuáles afectan más el proceso de corte con láser. En este caso existen muchos factores que pueden afectar el proceso de corte de mini capacitores con láser YAG. El diseño de experimentos es una herramienta estadística útil, ya que se logró comprobar cuál es la mejor combinación de factores que afectan el proceso de corte.

Se logró comprender que los datos obtenidos en el diseño de experimentos son confiables, porque tanto en el experimento como en el análisis de los datos se demostró que con nuevos parámetros se puede obtener una mejor distribución de corte con láser.

Con el DoE (método Taguchi) se lograron establecer parámetros respaldados por un análisis estadístico. Uno de los puntos importantes que la empresa componentes electrónicos requería era tener establecidos los parámetros para el proceso de corte de mini capacitores con láser, y a través de los resultados arrojados por el diseño de experimentos se obtuvieron y quedaron estandarizados en una instrucción de trabajo para el proceso de corte.

Referencias

Atwee, T. Swidan, A. and Zahra, N., (2023). An overview study on laser technology and conventional technology's effect on wood and sheet metal manufacturing for the furniture industry. *International Design Journal*. 13(2), 287-299.

- Badoniya, P. (2018). CO₂ laser cutting of different materials - a review. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 5(6), 2103–2115.
- Genna, S., Menna, E., Rubino, G., & Tagliaferri, V. (2020). Experimental Investigation of Industrial Laser Cutting: The Effect of the Material Selection and the Process Parameters on the Kerf Quality. *Applied Sciences*, 10(14), 4956. <http://dx.doi.org/10.3390/app10144956>
- Gutiérrez H. & De la Vara R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. México: Mc Graw-Hill: p 10-11.
- Khatak P. N., (2022). Laser cutting technique: a literature review. *Materials Today: Proceedings*. 56(5), 2484–2489.
- Lee, S.G., (2022). Minitab Statistical Analysis Handbook: A Handbook for Lean Six Sigma Professionals. Estados Unidos: Soarent Publishing.
- Melo Martínez, O., López Pérez, L. y Melo Martínez, S. (2008). Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia.
- Minguez, C., (2021). Innovaciones en la fabricación y montaje de circuitos impresos. *Eurofach electronica: Actualidad y tecnología de la industria electrónica*, 481, 36-38.
- Montgomery, D.C. (2005). Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc.
- Ryan, T.P. (2007). Modern Experimental Design. John Wiley & Sons, Inc.
- Vilumsone-Nemes, (2018). I. Industrial Cutting of Textile Materials. 2nd ed., Woodhead Publishing, pp. 151–177.
- Zoghi, M., Jafarian, A., (2023). CW CO₂ laser cutting of multiple-layer blended fabric. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*. Volume 287. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171168>.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Ensenada del Tecnológico Nacional de México, en particular a la especialidad en Industria Aeroespacial por el apoyo durante la investigación.

Valoración logística multinomial entre las barreras de entrada y el éxito en los centros cambiarios

María José Nozato López, Mirna Dávila Vásquez ¹,
Mariana Yarisdi Sital Torres, Roxana Bustamante Aispuro

Resumen

La imperiosa necesidad de estructurar directrices efectivas que den como resultado negocios exitosos, es un elemento esencial para lograr niveles de productividad y sostenibilidad que demanda la competitividad nacional. En este sentido, es importante establecer una valoración logística multinomial, con el objetivo de identificar la influencia que se tiene entre lo que se ha definido como barreras de entrada y una valoración cuantitativa de lo denominado negocio exitoso. Bajo esta lógica, se enmarca la investigación como transversal descriptiva del tipo cuantitativa. Donde se fundamenta la descripción general de las barreras de entrada, una jerarquización cuantitativa de los principales aspectos a considerar en los negocios exitosos y la aplicación de herramientas estadísticas que permitan establecer la correlación entre las variables múltiples definidas. Para ello, se establece como objeto de estudio las empresas denominadas casas de cambio, localizadas en el noreste de Sonora. Aunado a ello, es necesario establecer una particularización del objeto de estudio en lo que se ha denominado centros cambiarios debido a que, en la región de influencia, la

1 Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Agua Prieta.
Autora de correspondencia contactar en vazquez@aguaprieta.tecnm.mx

actividad principal de estas entidades se enfoca al intercambio de divisas solo entre las monedas representativas de dos países, en este caso México, país anfitrión y Estados Unidos, país extranjero. Los principales aspectos concluyentes de la investigación establecen una jerarquización de las variables consideradas en el estudio, esto en función a la contribución de la barrera de entrada como potenciador del éxito del centro cambiario. En este sentido el resultado investigativo nos muestra que la variable recursos financieros para la operabilidad es la que mayor impacto tiene en la variable dependiente denominada rotación de capital. Aunado a ello, se presenta una secuencia de variables: accesibilidad a los clientes, sistema de seguridad eficiente, competitividad en precio, regulaciones del sector y monto de la inversión. Que en ese orden mantiene un impacto sobre la rotación de capital. Es importante establecer que la investigación se desarrolló en la zona fronteriza noreste de Sonora, sin embargo, es de imperiosa necesidad que se realice una mayor profundidad en el estudio, considerando las principales ciudades que conforman la franja fronteriza del Norte de México.

Palabras clave: Barreras de entrada, negocios exitosos, correlación multivariante.

Introducción

Las tendencias competitivas en los mercados globales de la actualidad, caracterizados principalmente por aspectos como: la transformación digital; sostenibilidad y responsabilidad social; cambio demográfico, globalización e innovación, han generado un conjunto sofisticado de requisitos, demandas, exigencias y requerimientos que las empresas deben cumplir, hoy en día, para mantener su estadia en el mercado.

Para ello, las empresas actuales establecen políticas de dirección, crecimiento, potencialización del mercado, imagen de marca y sobre todo, aprovechan cada uno de los aspectos de la estructura social y competitiva en la que se desempeñan (Bordonaba Juste et al., 2009). En este ámbito, una de las características que enmarcan un diferencial competitivo de la organización, son las denominadas barreras de entrada y salida.

Las barreras de entrada y salida son conceptos clave en la estrategia comercial que pueden hacer o deshacer el éxito de una corporación (Diez De Castro *et al.*, s/f). Las barreras de entrada se refieren a factores que dificultan

la entrada de nuevas empresas en un mercado o sector, limitando así la competencia. Las barreras de salida, por otro lado, se refieren a los obstáculos que enfrenta una empresa cuando intenta abandonar un mercado o sector en particular.

Las empresas exitosas a menudo tienen fuertes barreras de entrada que les permiten mantener una ventaja competitiva en su mercado o industria (Gil Osorio & Ibarra Lopedierra, 2014). Estos obstáculos pueden ser naturales, como patentes o tecnología patentada, o pueden ser creados por la propia empresa, como una marca sólida o una red de distribución establecida. En algunos casos, las barreras de entrada pueden ser tan altas que se impide que nuevas empresas ingresen al mercado, lo que permite que las empresas existentes mantengan su posición dominante.

En una conceptualización explícita del cómo las barreras de entrada impactan en la estructura de un negocio, se hace necesario analizar cuál es la forma en la que se desempeñan competitivamente las empresas, en términos pragmáticos, la mencionada estructura se le conoce como mercado. En el campo de la economía, un mercado es un conjunto de procesos de transacciones o intercambios de bienes o servicios entre individuos, empresas, cooperativas, etc. Este intercambio no está necesariamente relacionado con la adquisición de utilidades o participación en la empresa, sino que es un acuerdo mutuo en el marco de la transacción (Vela Meléndez *et al.*, 2017a). Es importante destacar que el mercado contiene usuarios que buscan una escasez de recursos en relación con una demanda infinita.

Ahora bien, el mercado es un proceso complejo dinámico que tiene lugar en un entorno donde compradores y vendedores intercambian bienes y servicios para satisfacer necesidades y está regulado por diferentes factores económicos. Existen diferentes formas de clasificar los mercados (Andrés & Muñoz, s/f), dependiendo de los criterios que se utilicen. Para el caso de la presente investigación se considera necesario analizar la clasificación según el tipo de competencia:

Mercado de Competencia Perfecta: En el que hay un gran número de vendedores y compradores, donde ningún agente tiene el poder de fijar los precios (Aboytes, 2023).

Mercados de Competencia Imperfecta: Son aquellos mercados donde uno o más agentes tienen el poder de fijar los precios, como el monopolio o el oligopolio (Peragón Montoro, 2019).

Las barreras de entrada impactan de diferente forma a los dos tipos de mercado definidos anteriormente: En un mercado perfecto, las barreras de

entrada son muy bajas o nulas, lo que significa que cualquier empresa puede entrar y salir del mercado con facilidad. Por lo tanto, las empresas no tienen el poder de fijar el precio de los bienes o servicios que producen, ya que están sujetas a las fuerzas del mercado, como la oferta y la demanda. En tales mercados, las barreras de entrada no tienen mucho impacto porque no afectan la competencia ni el precio de los bienes o servicios (Vela Meléndez *et al.*, 2017b).

Por otro lado, en un mercado imperfecto, las barreras de entrada pueden ser muy altas, lo que significa que es difícil para las empresas ingresar y competir en ese mercado. En tales mercados, las empresas pueden tener cierto control sobre los precios de los bienes o servicios que producen y pueden utilizar barreras de entrada para limitar la competencia. Por ejemplo, una empresa puede tener tecnología patentada que impide que otras empresas produzcan bienes o servicios similares. De esta manera, una empresa puede fijar el precio de su producto más alto de lo que sería posible en un mercado perfectamente competitivo (Vela Meléndez *et al.*, 2017b).

Al establecer la idea de un mercado como la estructura de intercambio entre los demandantes y los oferentes, estos últimos son los que están estrechamente relacionados con las barreras de entrada, ya que el que ofrece su producto lo enmarca en una organización que planifica, organiza, dirige y controla, un proceso que oferta un bien o servicio, lo que socialmente se ha denominado negocio (Coello-Montecel, 2017).

En su sentido más simple, los negocios son una actividad que surge entre al menos dos personas que comparten un interés común en intercambiar algo que creen que les puede ser de utilidad. Un negocio es una actividad económica que obtiene utilidades principalmente por la venta de productos y servicios que satisfacen las necesidades y expectativas de los potenciales consumidores (Diez De Castro *et al.*, s/f).

La presente investigación enmarca como objeto de estudio un tipo de negocio dedicado al cambio de divisas, en específico, al cambio de pesos mexicanos por dólares estadounidenses y viceversa. A este tipo de negocio se le conoce como casas de cambio y se ha limitado la investigación a las localizadas en la zona fronteriza del noreste del Estado de Sonora.

El modelo de negocio de las casas de cambio consiste en comprar moneda y luego venderla a un precio mayor. La diferencia entre el precio de compra y el precio al que venden, debe ser suficiente para pagar los costos asociados a la actividad, como salario de los empleados, los servicios públicos, el arrendamiento del local, impuestos, entre otros.

La situación problemática que se puede observar en el negocio de las casas de cambio es la mínima cantidad de estrategias y herramientas que permitan a estas entidades establecer las principales barreras de entrada que impactan en el éxito del negocio.

El objeto de estudio de la investigación se considera como las casas de cambio localizadas en el noreste de Sonora. Sin embargo, se toma una particularización del objeto de estudio denominado centros cambiarios, debido a que, en la localidad de influencia, en estos negocios solo se presenta el intercambio entre divisas de México y Estados Unidos, lo equivalente a pesos mexicanos y dólares estadounidenses.

Objetivos

General: Establecer la correlación multivariante entre las barreras de entrada y el éxito en la operabilidad de los centros cambiarios localizados en el noreste de Sonora.

Objetivos específicos:

1. Fundamentar desde el punto de vista teórico los aspectos relacionados con las barreras de entrada, negocios exitosos y la correlación multivariante.
2. Diseñar el procedimiento que permita establecer la correlación multivariante entre las barreras de entrada y los negocios exitosos.
3. Aplicar el procedimiento diseñado en las empresas localizadas en el noreste de Sonora.

Metodología

El procedimiento investigativo desarrollado se presenta de manera esquemática en la figura 1. Donde se establecen cinco pasos que conllevan: el diseño del instrumento investigativo, validación del instrumento, aplicación del instrumento, análisis estadístico de datos obtenidos en la aplicación del instrumento y la determinación de la correlación multivariante entre las dos variables de interés reflejadas, en el objetivo de la investigación.

Diseño del instrumento investigativo. Los referentes teóricos-empíricos con los cuales se diseñó el instrumento de investigación, utilizado en el campo

de estudio, para la obtención de los datos necesarios en la determinación de la correlación multivariante de las variables de interés, estuvieron relacionados principalmente con las barreras de entrada y el éxito de los centros cambiarios (Abascal & Esteban, 2005; Ramírez Gonzáles, 2019). Para ello se define como instrumento una encuesta que contempla el objetivo de conocer el impacto que tienen las barreras de entrada en el éxito de estos negocios, en el noroeste del estado de Sonora. Dicha encuesta se estructura en dos ámbitos: el primero donde se estudia la importancia del ítem analizado y la segunda el grado en acuerdo de este ítem. El primer ámbito valora el nivel de importancia que el entrevistado considera que ese ítem tiene con referencia al impacto de la barrera de entrada con el éxito del centro cambiario. El segundo ámbito establece el grado en que el ítem se aplica en el proceso operativo del centro cambiario y que ha potencializado el éxito del negocio.



Figura 1. Procedimiento utilizado para la investigación.

Fuente: elaboración propia

El instrumento se divide en dos partes, donde se valoran 6 ítems enmarcadas como variables independientes y un ítem que se considera como variable dependiente. En total son 7 ítems que llevan consigo una valoración definida con escala Likert considerando 5 niveles de respuesta, en una escala de 1 (nivel más bajo) a 5 (nivel más alto), referenciado al grado de importancia de la barrera de entrada (a la izquierda) y grado de impacto o aplicación (a la derecha).

A partir del análisis de la literatura especializada (Mancera, 2003), así como la consulta a especialistas, gerentes y/o dueños de los centros cambiarios localizados en el noreste de Sonora, se determinan las barreras de entrada que se consideran propias de esta actividad empresarial. En la tabla 1 se presenta la barrera de entrada y su descripción referenciada a las entidades objeto de estudio.

Tabla 1. Barreras de entradas y descripción referenciadas a los centros cambiarios

Barreras de Entradas	Descripción
Monto de la inversión.	Se incluye en esta partida los montos de inversión fija necesarios para poder realizar o materializar la propuesta de negocio. Los costos asociados a las instalaciones, el equipamiento, medios de transporte, mobiliario, etc.
Accesibilidad de los clientes.	Este apartado analiza la localización del centro cambiario a demandantes del servicio.
Recursos financieros para la operabilidad.	Representa el monto de recursos financieros que se necesitan para desarrollar o cubrir las operaciones diarias que desarrolla el negocio.
Sistema de seguridad eficiente.	Entendido como la existencia de cámaras de observación, circuitos cerrados y la contratación de personal para la garantía de la seguridad, tanto de clientes como de la propia empresa.
Competitividad en el precio.	Este punto valora la capacidad de la empresa para lograr vender más barato y comprar a un precio mayor o más atractivo para los clientes, que la competencia a la que se enfrenta el centro cambiario.
Regulaciones del sector.	Las regulaciones del sector están asociadas con las normativas que se establecen legalmente para poder abrir y mantener un negocio de este tipo. Esto se enfoca principalmente a: inscripción y cumplimiento de obligaciones del SAT, transparencia de los fondos para iniciar esta actividad, reconocimiento social como individuo, registro, etc.

Fuente: Elaboración propia con información de Mancera (2003).

Una vez designadas las barreras de entrada a las que se enfrentan los centros cambiarios localizados en el noreste de Sonora, se hace necesario establecer un parámetro de evaluación que represente la efectividad o éxito en la operabilidad de la entidad ofercedora del servicio de cambio. Para ello y con el proceso metodológico utilizado en la determinación de las barreras de entrada, se logra establecer los siguientes indicadores financieros que cumplen con la medición del éxito en un centro cambiario (Bordonaba Juste *et al.*, 2009).

Indicadores financieros que pueden evidenciar éxito en un centro cambiario:

1. Rotación del efectivo.
2. Relación: Recursos líquidos / Activos de la organización.
3. Rentabilidad en operaciones: Utilidad antes de impuesto / Activo Total Neto Promedio.
4. Ingresos por activos fijos invertidos: ROA= Utilidad neta / Activo Total Neto Promedio.
5. Rentabilidad del patrimonio (rentabilidad financiera): ROE= Utilidad Neta / Fondos propios promedio.
6. Incrementar el número de clientes atendidos de un año con relación al anterior.

En acuerdo a la percepción de los expertos, la mayor afinidad de los dueños y/o gerentes de los centros cambiarios, la mayor profundidad teórica encontrada en la literatura especializada, se ha definido para la presente investigación a la variable rotación del efectivo, como la que represente el éxito de este tipo de negocios.

La rotación del efectivo se refiere o está referenciada a la cantidad de capital operativo que los centros cambiarios utilizan en su proceso normal de trabajo (Agustia *et al.*, 2020), en este caso el cambio de divisa de dólares estadounidenses a pesos mexicanos y en su contraparte, de pesos mexicanos a dólares estadounidenses. Se ha considerado que esta variable representa el éxito en un centro cambiario, debido principalmente a que entre mayor sea esta rotación de efectivo, implica que una mayor cantidad de clientes acuden al centro cambiario y a su vez, la utilidad generada en el proceso propio de cambio se ve incrementada a lo largo de la operabilidad diaria del centro cambiario.

Con la información estructurada en el proceso anterior, se está en posibilidad de generar un instrumento que apoye en la obtención de datos relacionados con la planeación, operación, dirección y control de los centros cambiarios localizados en el noreste de Sonora. Es de suma importancia establecer que las seis variables definidas como barreras de entrada, son las que se van a considerar como variables independientes, ya que éstas serán evaluadas a partir del grado en que los gerentes y/o dueños de los centros cambiarios están en acuerdo con el impacto que tiene cada una de estas barreras en la operación diaria de su negocio y la variable dependiente está definida como la rotación de efectivo que mantiene el centro cambiario.

Validación del instrumento: El instrumento fue aplicado en los centros cambiarios localizados en la zona noreste del estado de Sonora, a través de un proceso que convergía de las ventajas de la encuesta y las ventajas de la entrevista, en este punto es importante señalar que la persona encargada de aplicar la encuesta la llevaba en el instrumento en físico y desarrollaba su aplicación a partir de la entrevista con el dueño y/o gerente del centro cambiario, situación que posibilitó mejorar en ciertos puntos la calidad y cantidad de información requerida por la encuesta.

Para validar la consistencia interna del instrumento, se utilizó la técnica estadística denominada Alfa de Cronbach (Oviedo *et al.*, s/f), calculado en función a una muestra piloto aleatoria, que se realizó a partir del mismo procedimiento descrito anteriormente. Presentando los siguientes resultados.

Tabla 2. Resultados de la validación interna con Alfa de Cronbach

Estadística de fiabilidad	N de elementos 13
Alfa de Cronbach	0.860

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS

Como puede observarse en la tabla 2, el resultado de la validación interna con el estadístico Alfa de Cronbach es 0.86, un valor cercano a 1 y que, en acuerdo con la teoría estadística de fiabilidad, es un valor que enmarca un instrumento que lleva consigo una fiabilidad interna, generando con ello resultados confiables, al llevar a cabo la aplicación de la encuesta.

Aplicación de la encuesta: La encuesta se aplicó en la totalidad de los centros cambiarios localizados en el noroeste de Sonora, principalmente en las ciudades fronterizas que pertenecen a esta región geográfica. En la tabla 3 se muestra la distribución de los centros cambiarios por ciudad donde fueron aplicadas las encuestas.

Resultados

Análisis de los datos obtenidos: Como se observa en la tabla 3, el número total de aplicaciones fue de 32 instrumentos investigativos: para el caso de la ciudad de Agua Prieta se aplicaron 28 encuestas y para la ciudad de Naco se aplicaron 4 encuestas. Es importante señalar que el número de encuestas aplicadas en cada ciudad, corresponde al número total de centros cambiarios, que se encuentran localizados en las respectivas ciudades.

Tabla 3. *Aplicación de la encuesta en las ciudades fronterizas del noreste de Sonora*

Ciudad	Cantidad de centros cambiarios
Agua Prieta	28
Naco	4

Fuente: Elaboración propia

Como primer paso en el procedimiento estadístico se verifica si la variable dependiente y las variables independientes mantienen una distribución normal. En la tabla 4 se muestran los resultados del estudio de la normalidad de los datos de las dos variables. Como se puede observar la significancia estadística de las variables independientes muestra que no existe un comportamiento normal en su distribución y la variable dependiente sí conlleva un comportamiento normal en sus datos.

Tabla 4. *Pruebas de Normalidad de las variables dependiente e independientes*

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Unoacuer	.308	32	<.001	.749	32	<.001
Dosacuer	.293	32	<.001	.749	32	<.001
Tresacuer	.455	32	<.001	.409	32	<.001
Cuatroacuerd	.490	32	<.001	.483	32	<.001
Cincoacuer	.402	32	<.001	.653	32	<.001
Seisacuer	.408	32	<.001	.610	32	<.001
Rotacapital	.122	32	.200*	.960	32	.267

Nota: *. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS

La segunda parte del análisis estadístico es el cálculo de la regresión logística multinomial a los datos que se obtuvieron en la aplicación del instrumento. La selección específica de esta herramienta estadística, se debe principalmente a que se tiene un conjunto de variables predictoras que mantienen una clasificación múltiple de categoría (Fernández *et al.*, 2004). Además de lo anterior, la variable dependiente es nominal y tiene 5 categorías exclusivas.

Tabla 5. Información de ajuste de los modelos

Criterios de ajuste de modelo				Pruebas de la razón de verosimilitud		
Modelo	A/C	Normalizado	Logaritmo de la verosimilitud	Chi-cuadrada	gl	sig
Sólo intersección	113.590	119.812	105.590			
Final	153.386	271.593	1.386	104.204	72	.008

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS

Como primera instancia se verifica la significatividad global del modelo planteando la hipótesis nula de que no existe efecto de las variables regresoras, sobre la variable dependiente (Pando & San Martín, 2004). Para ello en la tabla 5 se presentan los estadísticos que valoran esta significancia y podemos observar que el valor P es igual a .008 menor que el valor de referencia .05, por lo que rechazamos la hipótesis nula y se establece que estadísticamente existe un efecto de las variables regresoras sobre la variable dependiente.

Otro punto importante para valorar es la calidad de ajuste. Para ello en la investigación se calcularon los coeficientes de determinación conocidos como Pseudo-R² (Pando & San Martín, 2004), en el paquete estadístico SPSS en su versión 29. En la tabla 6 se muestran los resultados del cálculo, donde se puede observar que los valores obtenidos son muy cercanos a 1, en cada uno los métodos estadísticos para la estimación de coeficiente R cuadrada. Por lo que la calidad de ajuste se considera muy buena.

En la tabla 7 se muestran los resultados obtenidos por la regresión logística multinomial, aplicada a los datos obtenidos en la encuesta y los valores establecidos en la columna criterios de ajuste de modelo Logaritmo de la verosimilitud-2 de modelo reducido (Fernández *et al.*, 2004), la contribución que enmarca cada una de las variables independientes a la variable depen-

diente, que en este caso mantiene 5 categorías, donde se califica el grado de operabilidad diaria en cuanto a la rotación del efectivo en los centros de cambio estudiados.

Tabla 6. Resultados del cálculo

Pseudo R cuadrado	
Cox y Snell	.949
Nagelkerke	.996
McFadden	.974

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS

Tabla 7. Pruebas de la razón de verosimilitud

Efecto	Crterios de ajuste de modelo	Pruebas de la razón de verosimilitud		
	Logaritmo de la verosimilitud -2 de modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
<i>Intersección</i>	80.166	.000	0	-
<i>Unoacuer</i>	76.461	-	19	-
<i>Dosacuer</i>	80.166	.000	0	-
<i>Tresacuer</i>	81.341	1.175	19	1.000
<i>Cuatroacuerd</i>	80.166	.000	0	-
<i>Cincoacuer</i>	80.166	.000	0	-
<i>seisacuer</i>	77.299	-	19	-

Nota: Resultados obtenidos de la regresión logística multinomial

Fuente: Elaboración propia con base en SPSS

Conclusiones

La investigación desarrollada enmarca la conformación de un procedimiento que permite desarrollar una correlación multivariante entre lo denominado barreras de entrada y el nivel de éxito en la operabilidad que desempeña una entidad de negocio, específicamente a lo que se conoce como centros cambiarios, localizados en el noreste de Sonora.

La literatura muestra que las barreras de entrada son un conjunto de limitantes, dificultades u obstáculos que no permiten a nuevos emprendedores

iniciar con una empresa en un determinado sector de negocios. A su vez, existen un conjunto de indicadores financieros, de crecimiento y rentabilidad que valoran la operabilidad de un negocio y lo enmarcan como exitoso, cuando se cumplen los criterios específicos para ello. El planteamiento del problema investigativo hace referencia en encontrar un procedimiento que correlacione estas dos variables.

El procedimiento desarrollado estipula la aplicación estadística donde se correlacionan las barreras de entrada y los criterios de éxito en las empresas. Todo ello aplicado a las empresas dedicadas al cambio de divisas, específicamente dólares estadounidenses a pesos mexicanos y viceversa, de pesos mexicanos a dólares estadounidenses, a estas empresas se les llama centros cambiarios y el estudio se aplicó en los centros cambiarios distribuidos en la zona fronteriza del noreste de Sonora.

La herramienta estadística utilizada para establecer la correlación entre las variables de interés, fue la regresión logística multinomial, presentando los resultados en la tabla 5. En donde se observa la contribución de las 6 variables independientes de interés y la variable categórica dependiente, que mantiene 5 categorías.

La variable 3, los recursos financieros para la operabilidad son de alto impacto, en la apertura de la casa de cambio, es la que tiene una mayor contribución a la variable dependiente. Esto conlleva a establecer que los recursos financieros que los centros cambiarios mantengan en su operación diaria, generarán un cambio sustancial en la rotación de los recursos financieros de la entidad, generando con ello una mayor movilidad del capital y una mejora en la utilidad de este tipo de negocios.

Cada variable independiente muestra una contribución a la variable dependiente y en función del peso de la contribución es la importancia de la variable. Como se vio con la variable 3, se puede establecer el orden de las demás variables: las variables 2, 4 y 5 mantienen el mismo valor en la contribución, le continúa la variable 6 y por último la variable 1.

Para tal situación, si un centro cambiario inicia con un proceso de mejora en sus servicios, la planeación y aplicación de las mejoras deberá seguir las prioridades enmarcadas en las variables independientes en la siguiente secuencia: 3, 2, 4, 5, 6 y 1. Con esta estrategia de mejora se pronostica un mayor éxito en la operabilidad de los negocios denominados centros cambiarios.

Una limitante que se observa en el estudio, es que el procedimiento diseñado se aplicó a los centros cambiarios localizados en la zona fronteriza del

noreste de Sonora. Sin embargo, la experiencia nos indica que el comportamiento en este tipo de negocios es similar en toda la zona fronteriza. Por lo que es de suma importancia plantear una investigación donde se lleve a cabo la aplicación del procedimiento a lo largo de toda la zona fronteriza, obtener resultados por ciudad y en global. Esto permitirá generar estrategias de mejora a estas empresas en cada ciudad y establecer un conocimiento de mayor globalización en cuanto a la relación existente entre las barreras de entrada y el nivel de éxito en los centros cambiarios.

Referencias

- Abascal, E., & Esteban, I. G. (2005). *Análisis de encuestas*. Esic editorial.
- Aboytes, L. M. M. (2023). *Optimización de costos en una empresa de auto partes en un mercado de competencia perfecta*.
- Agustia, D., Soetedjo, S., & Septiarini, D. F. (2020). El efecto de la rotación de efectivo y la rotación de cuentas por cobrar en la rentabilidad. *Opcion*, 36(Special Edition 26), 1417-1432.
- Andrés, G., & Muñoz, S. (s/f). Barreras de entrada en el mercado electoral colombiano. *repository.javeriana.edu.co*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/42545>
- Bordonaba Juste, M. V., Lucia Palacios, L., & Polo Redondo, Y. (2009). Análisis de la salida del mercado. Fracaso vs. abandono en la franquicia. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 39, 33-57. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=80711712002>
- Coello-Montecel, D. (2017). ¿Poder de Mercado o Eficiencia?: Determinantes de la Rentabilidad del Sector Manufacturero Ecuatoriano Durante el Período Post Dolarización (Market Power of Efficiency? Determinants of Ecuadorian Manufacturing Industry Profitability in Post-Dollarization Period). *Determinantes de la Rentabilidad del Sector Manufacturero Ecuatoriano Durante el Período Post Dolarización (Market Power of Efficiency)*, 56-77.
- Diez De Castro, E. P., Leal, A., Rafael, M., & López, S. (s/f). Barreras de entrada en sectores industriales. *idus.us.es*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/40325/barreras%20de%20entrada%20en%20sectores%20industriales.pdf?sequence=1>
- Fernández, V., Sociedad, R. F.-C. de la, & 2004, undefined. (2004). Regresión logística multinomial. *dialnet.unirioja.es*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2981898>

- Gil Osorio, I. M., & Ibarra Lopesierra, S. (2014). Incidencia del liderazgo en los factores críticos del éxito como estrategia competitiva empresarial. *Dimensión Empresarial*, 12, 117-126.
- Mancera, A. C. (2003). Algunas precisiones sobre el mercado cambiario, el bursátil y la Banca en México. *El Cotidiano*, 19(120), 0.
- Oviedo, H., psiquiatría, A. C.-A.-R. colombiana de, & 2005, undefined. (s/f). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *scielo.org.co*. Recuperado el 25 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74502005000400009
- Pando, V., & San Martín, R. (2004). Regresión logística multinomial. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, ISSN 1575-2410, N°. 18, 2004 (Ejemplar dedicado a: Actas de la I Reunión de Palencia de Modelización Forestal), pags. 323-327.
- Peragón Montoro, C. (2019). *Tipos de mercado: la competencia imperfecta*.
- Ramírez González, K. P. (2019). *Oferta turística y barreras de entrada al mercado de turismo rural comunitario en operadores turísticos del distrito de Tarapoto*, 2018.
- Vela Meléndez, L., Abanto Rodríguez, M., Banda Coronel, E., Fernández Vásquez, K., Gálvez Cerna, P., Guerrero Sausa, J., Hurtado Uriarte, L., & Spelucín Neira, P. (2017a). *Poder de mercado y barreras de entrada*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/63428>
- Vela Meléndez, L., Abanto Rodríguez, M., Banda Coronel, E., Fernández Vásquez, K., Gálvez Cerna, P., Guerrero Sausa, J., Hurtado Uriarte, L., & Spelucín Neira, P. (2017b). *Poder de mercado y barreras de entrada*.

Herramientas digitales en línea basadas en inteligencia artificial para los procesos de enseñanza-aprendizaje

Ana Laura Mastache González, Julio César Medina Aguirre,
Yidanes Alejandra Ibáñez Acevedo ¹, Roxana Michele Rodríguez Loo

Resumen

El ámbito de la educación superior enfrenta desafíos cada vez más complejo y en evolución, en el que con la irrupción de las nuevas tecnologías digitales basadas en Inteligencia Artificial se tiene la oportunidad de acelerar el avance, la calidad y la equidad de los procesos de enseñanza - aprendizaje. Entre los llamados modelos de lenguaje a gran escala se tienen a disposición, entre otros, Bing chat, ChatGPT y Bard. Estas herramientas muestran la capacidad de generar y comprender textos naturales con un alto grado de precisión y fluidez, dando la posibilidad de generar, crear y elaborar material en lenguaje natural mediante sus mecanismos automatizados que permiten el acceso y la difusión del conocimiento, así como para la interacción y la personalización del aprendizaje. Por otra parte, estas herramientas también presentan importantes desafíos y riesgos éticos, por lo que se requiere seguir capacitando y actualizando adecuadamente a los maestros que trabajan en la educación superior como línea de seguimiento.

1 Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Mexicali.
Autora de correspondencia contactar en yidanesibanez@itmexicali.edu.mx

El objetivo de este artículo es analizar la utilización de herramientas de Inteligencia Artificial, a partir del seguimiento del progreso de los docentes a lo largo de la capacitación impartida dando como resultado datos de conocimiento actual y la proyección de uso en el entorno académico.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, ChatGPT, procesos enseñanza-aprendizaje

Introducción

La educación superior es uno de los motores del crecimiento incluyente. Las inversiones en la educación superior se traducen en beneficios directos para la sociedad, para la economía, para los países especialmente en esta era de la economía del conocimiento, tan competitiva y compleja. Las Instituciones de Educación Superior accesibles y de alta calidad implican enormes beneficios para las naciones ya que entre otras cosas reducen la desigualdad y elevan los niveles de innovación y productividad. Asimismo, las IES enfrentan constantes desafíos y demandas derivados de los cambios globales y locales que afectan a todos los ámbitos de la vida y el quehacer académico, en particular las nuevas tecnologías, como la robótica y la inteligencia artificial, están cambiando los empleos a escala global afectando los mercados laborales impactando por consecuencia a nuestra nación (Gurria, 2020).

La inteligencia artificial (IA) por medio de los modelos de lenguaje a gran escala (LLM, Long Language Models) como ChatGPT, Bard y Bing Chat tiene la capacidad de enfrentar los mayores desafíos del ámbito de la educación, desarrollando incluso prácticas de enseñanza-aprendizaje innovadoras y acelerando el progreso y avances tecnológicos. Sin embargo, también existen numerosos riesgos y retos, por lo que se debe buscar las formas de garantizar que la utilización de las tecnologías de la IA en el contexto educativo esté regida por los principios fundamentales de inclusión y equidad (UNESCO, s.f.).

La utilización de los LLM en la educación puede mejorar la calidad y la equidad de los procesos de enseñanza-aprendizaje ya que facilitan la creación, acceso y difusión del conocimiento e incluso logran personalizar, a medida del usuario, dicho aprendizaje acotando la elaboración del material a la especificación de la entrada del requerimiento que se introduzca. Por ello se hace necesario que los maestros y estudiantes desarrollen la competencia digital necesaria para comprender esta tecnología en un marco ético que confirma el requerimiento de la formación y actualización adecuada que tanto maestros como estudiantes deben tener (Kasneci *et al*, 2023).

Recientes investigaciones indican que los estudiantes tienen percepciones positivas acerca del uso de las herramientas IA generativas reconociendo el potencial que se tiene para poder personalizar el aprendizaje, la asistencia para la escritura y la generación de ideas, y capacidades de investigación y análisis e incluso también mantienen preocupaciones sobre la precisión de la información, la privacidad, los problemas éticos y el impacto en el desarrollo personal y profesional. De allí que se hace necesario considerar el repensar políticas, planes de estudio y los enfoques para preparar mejor a los estudiantes en un futuro en donde de manera cotidiana prevalecerá la IA en los ambientes profesionales. Maestros y directivos deben conocer y adaptar las tecnologías IA para atender las necesidades y las inquietudes de los estudiantes al mismo tiempo que se promueven aprendizajes significativos (Chan & Hu, 2021).

Ante este escenario se tiene varias situaciones que van desde la poca atención hasta la verificación de estrategias para manejar el advenimiento de esta tecnología. Por ejemplo con respecto a las tareas, exámenes y trabajos escolarizados que los docentes encargan a sus estudiantes, algunas universidades han optado por volver a los viejos métodos de lápiz y papel, otras han invertido en las posibilidades de revisión de plagio con nuevas herramientas y otras han optado por adoptarlo y adaptarlo a sus procesos educativos verificando las implicaciones pedagógicas y educativas que se derivan de, por ejemplo, la falta de práctica de escritura académica que propicia, entre otras cosas, los medios de aprendizaje y puesta en práctica del pensamiento crítico y la argumentación (Milano, 2023).

Se han propuesto estrategias para implementar rápidamente la IA en los procesos de enseñanza-aprendizaje y que los docentes pueden llevar a cabo: Proporcionar ejemplos y explicaciones numerosas generadas por IA, realizar exámenes básicos, y evaluar el aprendizaje de los estudiantes, generar prácticas y ejercicios de repaso que ayuden en el aprendizaje. Enfatizan que la IA puede actuar como un “multiplicador de fuerza” para los docentes si se implementa con cautela y reflexión, siendo que se puede incrementar el aprendizaje efectivo. Sin embargo, esto solo puede ocurrir cuando los docentes trabajan arduamente en la generación de estas estrategias y hacen de la IA una herramienta útil en “el avance de la enseñanza-aprendizaje cuando se implementa de forma cuidadosa y reflexiva en las aulas (Mollick, E & Mollick, L, 2023).

Existen algunas recomendaciones para lograr aprovechar la rápida expansión que las herramientas de IA como ChatGPT, Bing Chat, Bard, entre otras

están teniendo y que permitan garantizar que se fundamentan en principios éticos, existiendo de acuerdo con la UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) siete ámbitos: 1. Establecer una visión y prioridades estratégicas para todo el sistema 2. Establecer un principio general para el uso de la IA en las políticas educativas, basándose en la necesidad de asegurar que la IA se utilice de manera que beneficie a todos los alumnos y atienda los aspectos éticos. 3. Una planificación interdisciplinar acudiendo a expertos 4. Generar Normas para el uso equitativo, ético e incluyente de la IA 5. Realizar la planeación que permita adaptar y adoptar la IA en la gestión de la educación, los procesos de enseñanza–aprendizaje y su evaluación, 6. Pruebas de monitoreo, su seguimiento y su evaluación, valorando los beneficios alcanzados por el uso de la IA 7. Promover y fomentar estructuras locales para la innovación y uso de la IA en la educación (Sabzalieva & Valentini, 2023).

Algunas propuestas que atienden específicamente a nuestro país con objeto de que no se llegue tarde a esa transformación educativa que está en marcha en el mundo serían: 1. Diseñar la estrategia, apoyada por expertos nacionales e internacionales, para incorporar de manera adecuada la IA y con políticas educativas oportunas. 2. Incluir la IA en un nuevo modelo educativo con objeto de facilitar y mejorar la docencia. Familiarizar a los estudiantes con el manejo de la herramienta de manera responsable y ética, elevando el acceso a la educación y la calidad de la dicha herramienta. Muy importante es desarrollar competencias digitales mediante programas de capacitación a docentes y alumnos. 3. Fortalecer el acceso a esta tecnología por medio de infraestructura de internet y cómputo al alcance de todos (IMCO, s.f.).

Dentro del punto de vista de la investigación y los productos académicos las empresas e instituciones están actualmente ajustando sus políticas para los autores acerca del uso de la IA y su contribución moderada y normada en virtud de que incluso no es aún posible distinguir para las personas que texto es generado por estas herramientas versus los generados por las personas. Pero si bien es cierto que existen estos dilemas éticos también hay razones para la adopción de la herramienta con propósitos, por ejemplo, de mejorar la calidad de la escritura, refinar su longitud, facilitar búsquedas bibliográficas, etc. Si además se considera que la IA está en constante evolución y mejoramiento entonces lo que se requiere es poder generar esas políticas y determinar adecuadamente que significa la originalidad de un escrito. Por otro lado, el permitir que la IA elabore textos permitiría liberar

tiempo a los investigadores para concentrar el trabajo en las metodologías, experimentos y procesos de lo que esté trabajando (Dwivedi *et al*, 2023).

Considerando este marco, el objetivo es la obtención de un análisis sobre la situación actual y de proyección con base en el uso de las herramientas digitales de IA.

Metodología

Para la obtención de resultados y análisis de proyección de esta investigación empírica, con base en el uso de las herramientas digitales de IA basadas en modelos de lenguaje de gran escala dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, se trabajó un curso-taller para los docentes del Instituto Tecnológico de Mexicali y la metodología a seguir fue la siguiente:

- Elaborar un programa piloto de las principales herramientas digitales de IA, en presentación y bajo las diferentes aplicaciones de IA.
- Adaptar diversas actividades y ejercicios para el uso de las herramientas digitales sobre las clases impartidas por el docente, en el lapso de una semana completa con un total de 30 horas.
- Determinar y caracterizar las categorías a evaluar, según los medios de aprendizaje académico, que más adelante se mencionan.
- Diseñar una herramienta de medición y obtención de datos, por medio de una escala de observación, con las categorías que enseguida se describen.
- Los datos se van capturando en una tabla que contiene los reactivos a evaluar y presentados en formato de Escala Likert.
- Día a día se captura los reactivos desde el protocolo inicial establecido para entrar a las plataformas de IA hasta la conclusión de los ejercicios.
- Operar los resultados de manera gráfica para registrar y analizar la tendencia y la proyección de dicho análisis.
- Evaluación de estrategias y acciones para la planeación eficiente en cuestión del uso de herramientas digitales de IA.

Es importante puntualizar que los modelos de lenguaje a gran escala que se tienen a disposición para esta investigación están: Bing chat, ChatGPT y Bard, entre otros que se abordaron para la evaluación y para analizar la actualización docente y el desempeño académico. Estas herramientas de inteligencia artificial se están utilizando cada vez más en la educación superior para analizar los datos de rendimiento y preferencias de los alumnos

para crear planes de clases y evaluaciones personalizados que se ajusten a los puntos fuertes y débiles de cada estudiante.

Las categorías que se estuvieron observando y analizando fueron las siguientes:

1. Accesa correctamente a la plataforma de IA.
2. Genera contenidos relevantes y creativos con las herramientas.
3. Integra las herramientas a sus clases o trabajos de investigación.
4. Reflexiona sobre las ventajas y limitaciones de las herramientas.
5. Utiliza diálogos de entrada (llamadas prompts en inglés) que permitan establecer una comunicación eficiente con la plataforma de IA.
6. El participante demuestra habilidad para aplicar conceptos de IA en los ejercicios planteados.
7. El participante comparte sus experiencias y conocimientos sobre las herramientas con el grupo.
8. Propuestas originales de implementación de las herramientas en el ámbito de la ingeniería industrial.

La escala Likert utilizada para la valoración de las categorías propuestas fue la siguiente:

Muy alto	Excelente	5
Alto	Bueno	4
Medio	Regular	3
Bajo	Deficiente	2
Muy bajo	Muy deficiente	1

A partir de estos registros se realizaron gráficos que describieran los progresos por rubro evaluado, de los participantes en los cursos de IA.

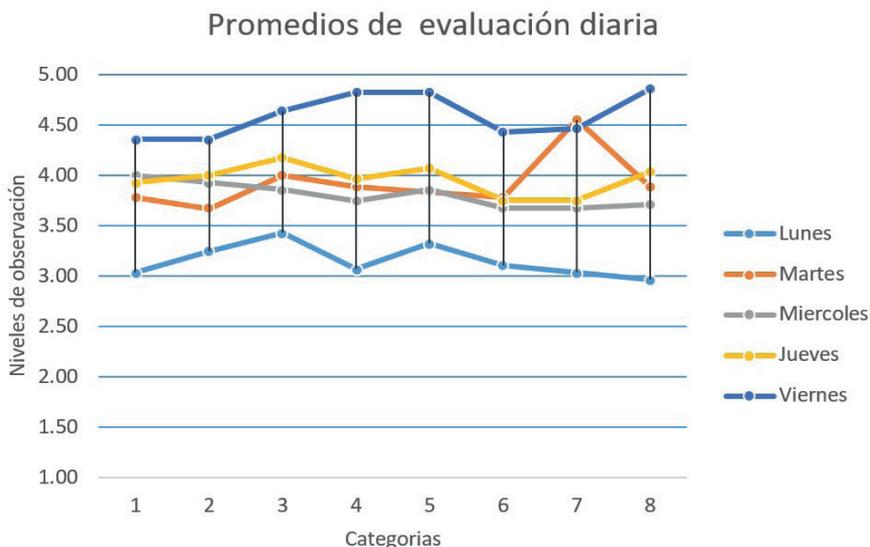
Resultados

La inteligencia artificial (IA) en el área académica de nivel universitario ya estaba experimentando un crecimiento significativo y se espera que esta tendencia continúe en el futuro. Por ello la importancia de realizar y documentar un curso de herramientas de inteligencia artificial puede empoderar

a los docentes de universidad para que estén a la vanguardia de la educación y se adapten a un mundo en constante cambio tecnológico. Además, les ofrece la oportunidad de mejorar su enseñanza, investigar de manera más efectiva y contribuir positivamente al futuro de la educación y la sociedad.

Y es esto precisamente lo que se pudo analizar al procesar los datos de la herramienta de medición, ya que durante los días de observación se obtuvieron promedios arriba de la media en cuantos a los niveles de conocimiento y actualización de las categorías que se evaluaron con respecto al uso de las herramientas digitales, pues esto demuestra que hay una aceptación positiva de dichas herramientas digitales más sin embargo se puede observar en la Figura 1, que los niveles van en orden ascendente de lunes a viernes ya que el primer día se comienza a conocer contextualmente todo lo que respecta a la inteligencia artificial y sus herramienta y conforme se avanza en el desarrollo de las actividades y manejo de dichas herramientas, el aprendizaje y la actualización van en aumento.

Figura 1. Promedios de evaluación por día según el nivel de observación y la categoría respectivamente

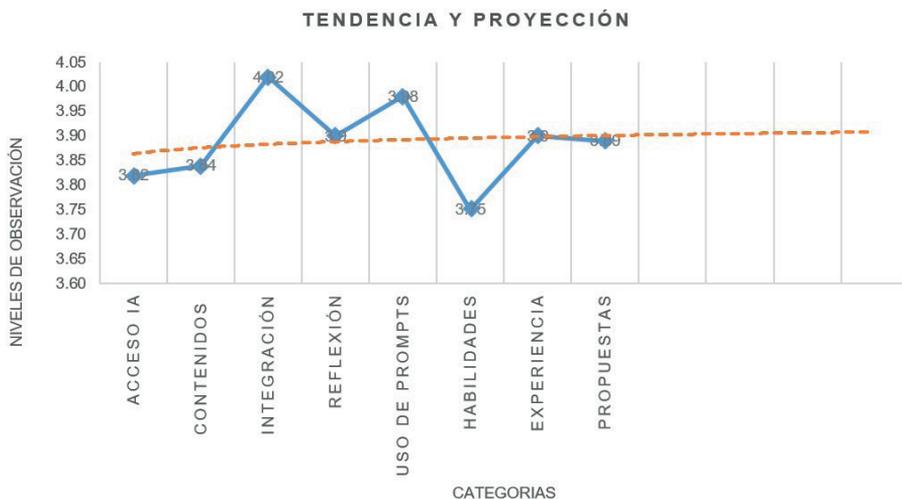


Ahora es importante visualizar cual es el desempeño y la aceptación de las herramientas digitales, así como la tendencia y proyección que se observa para la actualización con base en la IA, como se puede observar en la figura

2, existe una variabilidad muy marcada entre los promedios totales de las categorías, ya que comenzando con la categoría 1 con el acceso a la IA, hay un promedio arriba de la media que marca que al menos el 50% de los docentes evaluados ya tenían conocimiento de sobre la IA, así como también se resalta de manera positiva la categoría 3, en cuanto a la integración de dichas herramientas a sus clases o trabajos de investigación pues entienden la importancia de estar actualizados en beneficio de los estudiantes y del mismo docente; más sin embargo en la categoría 6 en cuanto a la habilidad para aplicar el concepto de IA en las actividades que se plantearon, hubo una pequeña disminución puesto que es importante conocer muy bien y saber usar correctamente las herramientas digitales de IA.

Tomando en cuenta que las categorías están evaluadas en orden de aprendizaje acumulado, se puede observar una tendencia ascendente sobre el conocimiento y uso correcto de las herramientas digitales, por lo que es importante seguir actualizando y capacitando al cuerpo académico en el avance y los cambios continuos de la inteligencia artificial.

Figura 2. Promedios por categorías y su proyección



Conclusiones

Los resultados de la Figura 1, mostraron que los docentes tuvieron una

percepción positiva de las herramientas, y que lograron integrarlas a las actividades propuestas como serían el trabajar material para sus asignaturas y hacer investigación documental (como marco teórico) de propuestas para artículos de investigación. Igualmente, analizaron los beneficios, desafíos y riesgos éticos de la utilización de la inteligencia artificial en el contexto educativo, y ofrecieron algunas recomendaciones para su uso equitativo, ético e inclusivo. La propuesta del curso-taller y la implementación de una metodología de registro y evaluación de los progresos en la implementación de la IA en las clases de los docentes participantes arrojó una serie de beneficios que, de inicio, no se pudieran haber previsto por la propia novedad de la herramienta digital. Esos beneficios se refieren a las habilidades que adquieren los docentes y su aplicación en los procesos de enseñanza-aprendizaje, la posibilidad de generar nuevas metodologías para el aprovechamiento del tiempo en clase, así como el manejo de grandes conjuntos de datos y resúmenes, la búsqueda y apoyo con material actualizado y pertinente, el fortalecimiento de la utilización ética de la información, etc.

Si se mantiene una actualización constante para los maestros sobre las herramientas digitales de IA, tendrá una serie de beneficios. Los maestros adquirirán habilidades en el campo de la IA que les permitirá comprender mejor los conceptos clave y aplicar técnicas avanzadas en su enseñanza e investigación. Además, se tendrá innovación educativa para que los maestros integren nuevas metodologías de enseñanza, mejoren sus técnicas de enseñanza con actividades más creativas y significativas; así como tener una investigación avanzada en sus academias y colaboración interdisciplinaria con otras carreras o especialidades. Todo esto finalmente nos brinda una ventaja competitiva para destacar en el ámbito académico. Por ello, es necesario dar seguimiento a la implementación de las herramientas de Inteligencia Artificial Generativa para aumentar el rendimiento de las actividades del docente. Adicional a ello se hace necesario establecer un marco ético de seguimiento de las actividades de los alumnos al momento de acceder a la herramienta IA para las actividades de clase.

Referencias

Gurría, A. (2020). Los desafíos y oportunidades de la Educación Superior en México. OECD. Recuperado de <https://www.oecd.org/about/secretary-general/challenges-and-opportunities-of-higher-education-in-mexico-january-2020-sp.htm>

- UNESCO. (s.f.). Inteligencia artificial. Recuperado el 25 de junio de 2023 de <https://es.unesco.org/themes/tic-educacion/inteligencia-artificial>
- Kasneci, E., Seßler, K., Kuechemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2021). Students' Voices on Generative AI: Perceptions, Benefits, and Challenges in Higher Education. En Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies: Industry Papers (pp. 1-9). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/2021.naacl-industry.1>
- Milano, S., McGrane, J. A., & Leonelli, S. (2023). Large language models challenge the future of higher education. *Nature Machine Intelligence*, 5(4), 333-334. <https://doi.org/10.1038/s42256-023-00644-2>
- Mollick, E. R., & Mollick, L. (2023). Using AI to Implement Effective Teaching Strategies in Classrooms: Five Strategies, Including Prompts. SSRN. Recuperado de <https://ssrn.com/abstract=4391243>
- Sabzalieva, E., & Valentini, A. (2023). ChatGPT e inteligencia artificial en la educación superior: Guía de inicio rápido. UNESCO International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385146_spa
- IMCO (2023). La inteligencia artificial (IA) revolucionará la educación. México no puede quedarse atrás. Recuperado de <https://imco.org.mx/la-inteligencia-artificial-ia-revolucionara-la-educacion-mexico-no-puede-quedarse-atras/>
- Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., ... & Wright, R. (2023). Opinion Paper: "So what if ChatGPT wrote it?" Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.ijin-fomgt.2023.102642>

Análisis del índice de reprobación en matemáticas pre, durante y postpandemia de COVID-19

Martha Eugenia Maldonado Rodríguez,
Perla Rocío Hernández Navarro¹, Eurydice Carolina Arroyo Sahagún

Resumen

En el ámbito educativo, las matemáticas fundamentan habilidades analíticas y críticas cruciales para las carreras de ingeniería. La problemática del bajo rendimiento en matemáticas es reconocida globalmente. Esta investigación aborda esta cuestión en el contexto del TecNM/ITE en Baja California. Se recolectaron calificaciones de cuatro asignaturas matemáticas en Ingeniería Industrial, Electrónica, Electromecánica y Gestión Empresarial durante tres periodos: antes (2018-2020), durante (2020-2021) y después de la pandemia (2021-2022). Se aplicó análisis de variación y coeficiente r en Microsoft Excel para evaluar datos históricos de índices de reprobación. El objetivo fue determinar cómo variaron estos índices en distintos momentos, considerando la preparación tecnológica de docentes y la modalidad remota. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los índices de reprobación entre periodos o carreras. La asignatura de Álgebra Lineal presentó la mayor reprobación en todas las etapas, atribuida a su

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Ensenada.
Autora de correspondencia contactar en phernandez@ite.edu.mx

complejidad. La investigación contribuye a la comprensión cuantitativa de los resultados de los estudiantes, destacando la importancia de factores sociales, económicos y personales en la reprobación. Los hallazgos permiten orientar estrategias de enseñanza y refuerzo académico. A pesar de los desafíos impuestos por la pandemia, los índices de reprobación no mostraron un aumento significativo.

Palabras clave: matemáticas, ingeniería, índice de reprobación, análisis estadístico, COVID-19.

Introducción

Las matemáticas desempeñan un papel fundamental en la educación superior, fomentando habilidades analíticas críticas de vital importancia para las carreras de ingeniería y su aplicación a lo largo de la vida. El problema global del rendimiento insuficiente en matemáticas es ampliamente reconocido. Esta investigación se realizó en el Instituto Tecnológico de Ensenada. Donde, se recopilaron calificaciones de 4 asignaturas matemáticas en Ingeniería Industrial, Electrónica, Electromecánica y Gestión Empresarial, en 3 períodos: prepandemia (2018-2020), pandemia (2020-2021) y postpandemia (2021-2022).

En medio de la pandemia COVID-19, surgió un impacto significativo en el rendimiento y la competitividad, particularmente en el ámbito de las Matemáticas en las Ciencias Básicas de los programas de ingeniería mencionados (Reveles, 2022). Vale la pena señalar que la transición de la educación secundaria a la educación superior conlleva un mayor rigor académico, exigiendo la adaptación a nuevos compañeros, profesores y la búsqueda de la excelencia.

La adaptación a los sistemas universitarios, junto con posibles lagunas en la información sobre planes de estudio, carencias en conocimientos previos y el cambio educativo, pueden predisponer a los estudiantes a obtener calificaciones bajas, fracasos y lamentablemente, tasas de abandono. Este proyecto tiene como objetivo discernir la tasa de reprobación y sus tendencias en diferentes programas de ingeniería en el área de Ciencias Básicas en el Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California, México.

Las universidades tienen la responsabilidad de formar individuos que eventualmente se enfrentarán al mercado laboral y a un entorno global en constante cambio. El concepto de reprobación en la educación superior, es un indicador que sirve como una medida de eficiencia académica e invita a

considerar los factores contextuales que afectan los resultados de los estudiantes (Meza *et al.*, 2021). El objetivo es evaluar y comparar los índices de reprobación en las asignaturas de Matemáticas del Instituto Tecnológico de Ensenada durante los periodos de prepandemia, pandemia y postpandemia de COVID-19 en las carreras de ingeniería.

Antecedentes del problema

La relevancia de las matemáticas en las carreras universitarias es innegable, ya que proporcionan una base sólida para el desarrollo de habilidades analíticas y críticas esenciales en campos como la ingeniería (Hawes, *et al.* 2019). Sin embargo, a nivel global, persiste la problemática del bajo rendimiento en esta materia (Casanova *et al.*, 2018). La crisis generada por la pandemia COVID-19 exacerbó esta situación al afectar significativamente el desempeño y la competitividad académica (Haro-Lara *et al.*, 2020; García *et al.*, 2022). Esta etapa conlleva la aspiración de alcanzar calificaciones sobresalientes para destacar entre sus pares. Sin embargo, diversos desafíos, como la falta de información sobre el plan de estudios, carencias en conocimientos previos y la naturaleza del sistema universitario, pueden predisponer a los estudiantes a obtener bajas calificaciones, lo que en casos extremos resulta en reprobación y abandono de sus estudios (Serna & Martínez, 2019; Navarro & Segundo, 2016).

En esta línea, el índice de reprobación se convierte en un indicador crucial que refleja el rendimiento académico y la eficiencia del proceso educativo. La Secretaría de Educación Pública (SEP, 2006) define este indicador como el número o porcentaje de alumnos que no logran los conocimientos establecidos en los planes y programas de estudio y, por ende, deben repetir grados o cursos. Esta perspectiva permite identificar la influencia de factores contextuales, tanto sociales como económicos, en los resultados de los estudiantes (Béjar, 2023). Con el propósito de abordar esta problemática y contribuir a la mejora de la educación superior, esta investigación se propone analizar el índice de reprobación en las asignaturas de Matemáticas (Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Cálculo Vectorial y Álgebra Lineal) en el área de Ciencias Básicas de las carreras de Ingenierías en el Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California. El estudio busca comprender las tendencias de reprobación a lo largo de diferentes etapas, pre, durante y post pandemia, y contribuir así a la reducción de la deserción universitaria.

Objetivo general y específicos

Objetivo General:

Determinar el índice de reprobación en las asignaturas de Matemáticas (Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Cálculo Vectorial y Álgebra Lineal) en el área de Ciencias Básicas de las carreras de Ingenierías en el Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California, a lo largo de tres períodos: antes de la pandemia, durante la pandemia y después de la pandemia de COVID-19.

El propósito es comprender la evolución de los índices de reprobación y su relación con los cambios educativos inducidos por la pandemia.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar las tendencias del índice de reprobación en las asignaturas de Matemáticas en cada una de las carreras de Ingenierías (Industrial, Electrónica, Electromecánica y Gestión Empresarial) antes, durante y después de la pandemia de COVID-19.
2. Analizar las diferencias estadísticas significativas en los índices de reprobación entre los tres períodos mencionados, a fin de identificar si la pandemia tuvo un impacto significativo en los resultados académicos.
3. Identificar la asignatura que presenta el índice de reprobación más alto durante los tres períodos estudiados y explorar los posibles factores que contribuyen a esta tendencia.

Metodología

La presente investigación se apoya en una metodología cuantitativa e inferencial, para analizar el índice de reprobación en las asignaturas de Matemáticas (Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Cálculo Vectorial y Álgebra Lineal) en el área de Ciencias Básicas de las carreras de Ingenierías en el Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California.

La población de estudio incluye a todos los estudiantes inscritos en las asignaturas de Matemáticas mencionadas en el área de Ciencias Básicas de las carreras de Ingenierías (Electrónica, Electromecánica, Gestión Empresarial, Industrial, Mecatrónica y Sistemas Computacionales) en el Instituto Tecnológico de Ensenada, de enero 2018 a diciembre de 2022.

Se empleó diseño de investigación no experimental, puesto que se recomendaron los datos observados sin manipulación de variables. El enfoque será

transversal, dado que se analizaron los datos de diferentes momentos en el tiempo. Instrumentos empleados fueron una computadora con software de Microsoft Excel® con la función “Análisis de varianza de dos factores para una sola muestra por grupo”.

Procedimiento:

1. Se recopilarán los datos de Actas de Calificaciones aprobadas y reprobadas desde enero de 2018 hasta diciembre de 2022 para todas las asignaturas de Matemáticas.
2. Los datos se capturarán en una base de datos en Microsoft Excel, separando por grupo y asignatura.
3. Se elaborarán tablas dinámicas en Microsoft Excel para resumir y agrupar los datos, obteniendo totales por carrera y asignatura, así como porcentajes de aprobados y no aprobados.
4. Se aplicarán fórmulas matemáticas para calcular los porcentajes de aprobación y reprobación.
5. Se realizará un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra por grupo utilizando el software Excel estadístico, considerando un nivel de confianza del 95% y una significancia del 5%.
6. Se verificarán los supuestos del ANOVA, incluyendo la normalidad de las variables y la homogeneidad de varianzas.
7. Se construirá el modelo y las hipótesis para el ANOVA, calculando las Sumas de Cuadrados de los tratamientos, bloques y error.
8. Se elaborarán tablas con los porcentajes de reprobación tomados de los concentrados de asignaturas para realizar la prueba estadística ANOVA de forma manual.

El análisis de los datos se llevará a cabo siguiendo las técnicas de análisis inferencial y descriptivo, utilizando herramientas estadísticas como pruebas de hipótesis y análisis de varianza. Los resultados obtenidos permitirán comprender la relación entre los índices de reprobación y los cambios educativos durante la pandemia, así como proponer estrategias para mejorar el rendimiento académico y reducir la deserción universitaria en las asignaturas de Matemáticas.

Resultados

Prueba Estadística de ANOVA

En virtud de que se ha verificado que se satisfacen los supuestos de Independencia, Normalidad y Homocedasticidad entonces se procede a la ejecución de la Prueba de Análisis de Varianza (ANOVA) con dos factores con una sola muestra por grupo.

ANOVA de dos factores con una sola muestra por grupo

Se procedió a realizar la Prueba Estadística de Análisis de Varianza (ANOVA) de dos factores con una sola muestra por grupo, con la hipótesis de que durante la pandemia de COVID-19, los índices de reprobación en las asignaturas de Matemáticas en el Instituto Tecnológico de Ensenada, Baja California, se vieron afectados negativamente en comparación con los períodos de pre-pandemia y postpandemia. La transición abrupta a la educación en línea y otros desafíos relacionados con la pandemia contribuyeron a un aumento significativo en los índices de reprobación en estas asignaturas. Esta prueba se llevó a cabo para analizar si existían diferencias significativas en los porcentajes de reprobación entre las diferentes asignaturas y las épocas de estudio (véase Tabla 1) pre-pandemia, pandemia y postpandemia.

Tabla 1. Porcentajes de Reprobación en Asignaturas de Matemáticas (2018-2022) en el TecNM/ITE.

		Instituto Tecnológico de Enseñada												
		Prepandemia					Pandemia COVID-19				Postpandemia		Xi	Promedio
		2018_1	2018_2	2019_1	2019_2	2020_1	2020_2	2021_1	2021_2	2022_1	2022_2			
Matemáticas	Asignatura	0.43	0.39	0.32	0.53	0.34	0.44	0.50	0.41	0.34	0.37	4.07	0.4070	
	Cálculo Diferencial	0.34	0.56	0.31	0.25	0.32	0.44	0.20	0.44	0.18	0.39	3.43	0.3430	
	Cálculo Integral	0.38	0.23	0.55	0.38	0.26	0.35	0.22	0.15	0.34	0.17	3.02	0.3020	
	Cálculo Vectorial	0.41	0.34	0.57	0.39	0.47	0.48	0.46	0.34	0.43	0.32	4.21	0.4210	
	Álgebra Lineal	1.55	1.52	1.75	1.55	1.39	1.71	1.38	1.34	1.29	1.25	14.73		
	Yj	0.3875	0.3800	0.4375	0.3875	0.3475	0.4275	0.3450	0.3350	0.3225	0.3125			
Promedio														

Nota: Elaborada mediante Tablas Dinámicas en Microsoft Excel®

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el ANOVA, se consideraron dos factores principales: las asignaturas de estudio (Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Cálculo Vectorial y Álgebra Lineal) y las épocas de estudio (prepandemia, pandemia y postpandemia). Se aplicaron niveles de significancia y se estableció un intervalo de confianza del 95% para evaluar la significancia de las diferencias observadas (véase Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Cálculos para tabla de Diseño de Bloque Completos al Azar (DBCA)

Estadísticos ANOVA		Gran Total	GT ²	ST ² /N
Corrección	C=GT ² /U	14.73	216.9729	5.4243225
Factor de Corrección		5.4243		
Suma de cuadrados	Totales	5.8707		0.4463775
Suma cuadrados	Reprobación (%)	21.9607	5.4902	0.0658525
Suma de cuadrados	Asignaturas	55.1743	5.5174	0.0931075
Suma de cuadrados	Error			0.2874175

Nota: donde N: 40 (Número total de observaciones), k: 10 (Número de tratamientos o grupos) y b: 4 (Número de bloques o factores adicionales)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Cálculos análisis de varianza para verificación de la prueba estadística ANOVA con dos factores con una sola muestra por grupo.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F ₀	Valor p	Tablas F
Asignaturas	0.0931075	3	0.031035833	2.915506189	0.052365099	2.960351318
Porcentajes	0.0658525	9	0.007316944	0.687353762	0.713859185	2.250131477
Error	0.2874175	27	0.010645093			
Total	0.4463775	39				

Nota: No existe suficiente evidencia estadística para rechazar para asegurar que alguno de los tres períodos estudiados fue mejor o peor.

Fuente: Elaboración propia

Para poder realizar la Prueba de Análisis de Varianza ANOVA con dos factores con una sola muestra por grupo, se requiere el cumplimiento de los siguientes supuestos:

- Prueba de Normalidad de las variables dependientes que corresponden a cada factor, sean normales con la Prueba de Distribución Normal
- Las k muestras sobre las que se aplican los tratamientos son independientes con la Prueba de Ji-Cuadrado.
- Todos los grupos para analizar poseen la misma varianza (homocedasticidad) con Prueba de Bartlett.

Se realizó la Prueba de Normalidad para las variables dependientes que corresponden a cada factor, con el propósito de verificar su conformidad con la Distribución Normal. Esta prueba se enfoca en determinar si la distribución de estas variables se ajusta a una distribución normal, cuya probabilidad se encuentra en el rango de 0 a 1.

La función de densidad de la distribución normal varía en función de sus parámetros (μ , σ), que representan la media y la desviación estándar de la distribución, respectivamente (Cervantes-Hernández, 2008). Estos parámetros juegan un papel fundamental en la forma en que se distribuyen los datos en la curva normal.

Los resultados reflejan una relación coherente con los objetivos planteados y la metodología aplicada en este estudio. Se observan patrones notables en los porcentajes de reprobación en las asignaturas de Matemáticas en relación con las diferentes fases: Pre-Pandemia, Pandemia COVID-19 y Post-pandemia. Estos resultados se comparan con estudios previos y se examina su coherencia con la hipótesis planteada. En primer lugar, se constata que en el semestre previo a la pandemia (2019-2), los porcentajes de reprobación en las asignaturas de Matemáticas son más elevados en comparación con el período de pandemia (2020-2021-1), durante el cual las clases se impartieron en línea. A medida que las clases volvieron a ser presenciales en el semestre 2021-2 y 2022-2, se observa una disminución en los porcentajes de reprobación. Estos hallazgos coinciden con la hipótesis de que la modalidad de enseñanza impacta en los resultados académicos, y también son consistentes con investigaciones anteriores que han relacionado la educación en línea con desafíos en el rendimiento estudiantil.

Específicamente, se observa en la asignatura de Cálculo Integral (cursada en el segundo semestre) una tendencia similar. Antes de la pandemia (2018-2), el porcentaje de reprobación es más alto en comparación con el período de pandemia (2020-2021-1), y se registra una reducción en los porcentajes de reprobación cuando las clases vuelven a ser presenciales en los semestres 2021-2 y 2022-2. En la asignatura de Cálculo Integral cursada en el tercer semestre, se detecta una dinámica análoga. El porcentaje de reprobación antes de la pandemia (2019-1) es más alto que durante la pandemia (2020-2021-1), y se experimenta una disminución posterior al retorno a las clases presenciales en los semestres 2021-2 y 2022-2. En el caso de la asignatura de Álgebra Lineal (cursada en el cuarto semestre), se identifica un patrón

particular. El período previo a la pandemia (2019-1) exhibe el porcentaje de reprobación más alto, alcanzando el 57%. Durante la pandemia (2020-1) se observa una disminución a un 47%, y en el semestre 2021-2 se mantiene en un 48%. Estos resultados sugieren una mayor adaptación de los estudiantes a las circunstancias de aprendizaje en línea en comparación con la enseñanza presencial.

En conjunto, estos resultados respaldan la hipótesis planteada y se alinean con investigaciones previas que destacan la influencia de la modalidad de enseñanza en el rendimiento estudiantil. Además, las variaciones en los porcentajes de reprobación a lo largo de las distintas etapas proporcionan información valiosa para la toma de decisiones pedagógicas y el diseño de estrategias educativas más efectivas.

La Figura 1 se muestra el diagrama de cajas y bigotes que permite comparar de manera visual la distribución de los porcentajes de reprobación en distintas etapas: prepandemia, pandemia y postpandemia COVID-19.

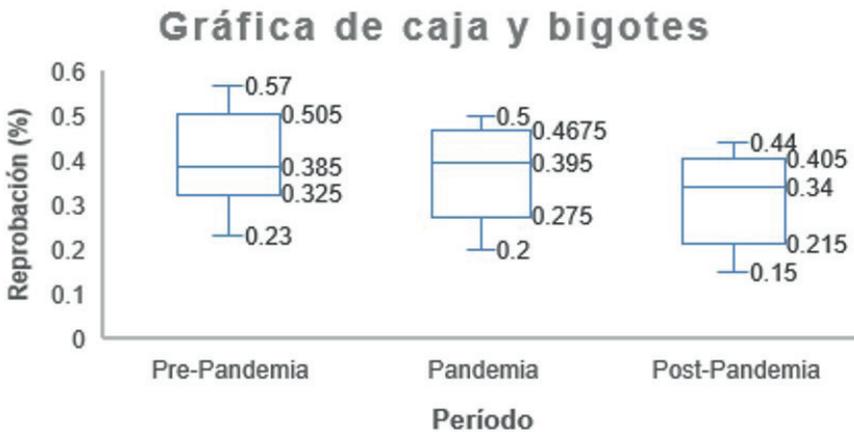


Figura 1. Comparación de Distribuciones mediante Gráfica de Cajas y Bigotes en los periodos Prepandemia, Pandemia y Postpandemia.

En el periodo de prepandemia (2018-2019), se observa una mediana de reprobación del 0.385, con la mayoría de las reprobaciones concentradas entre 0.325 y 0.505. Los bigotes representan el rango de porcentajes de reprobación, con un mínimo de 23 % y un máximo del 57 %. Durante la pandemia (2020 a 2021-1), la mediana de reprobación es de 0.395, y la mayoría de las reprobaciones se encuentran en el rango de 0.275 a 0.4675. Los bigotes reflejan los

porcentajes de reprobación en este periodo, con un mínimo de 20 % y un máximo de 50 %. En el periodo de postpandemia (2021-2 a 2022), la mediana de reprobación es de 0.34, y la mayoría de reprobados se encuentran entre 0.215 y 0.405. Los bigotes ilustran el rango de porcentajes de reprobación en la etapa de postpandemia, con un mínimo de 15 % y un máximo de 44 %.

Estos resultados concuerdan con la metodología realizada por Flores & Flores (2017), respaldando la tendencia observada en las variaciones de los porcentajes de reprobación en las diferentes épocas.

Prueba de independencia

Se verificó la independencia entre las k muestras en las que se aplicaron los tratamientos (asignaturas) y los bloques (porcentajes de reprobación) con un nivel de significancia del 0.05 %. Se empleó un nivel de Confianza 95 % y un nivel de significancia del 5%. Para realizar esta evaluación, se utilizó la prueba de Chi-Cuadrado de Independencia, cuyos resultados se presentan en la tabla 4. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k = \mu$
Los promedios de los porcentajes de reprobación de las asignaturas son iguales.
- $H_1 = \mu_i \neq \mu_j$, para cualquier $i \neq j$ = Matemáticas I, Matemáticas II, Matemáticas III y Matemáticas IV.
- Los promedios de los porcentajes de reprobación de las asignaturas no son iguales.

Clasificación de las Asignaturas

Cálculo Diferencial	Matemáticas I
Cálculo Integral	Matemáticas II
Cálculo Vectorial	Matemáticas III
Álgebra Lineal	Matemáticas IV

H0: Existe alguna diferencia significativa en el promedio de los porcentajes de reprobación en Matemáticas, en las diferentes etapas de antes, durante y después de pandemia COVID-19.

H1: No existe alguna diferencia significativa en el promedio de los porcentajes de reprobación en Matemáticas, en las diferentes etapas de antes, durante y después de pandemia COVID-19.

Tabla 4. Valores medios cuadrados.

Valores Medios Cuadrados											
Asignaturas	2018-1	2018-2	2019-1	2019-2	2020-1	2020-2	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	
Cálculo Diferencial	0.00000	0.00210	0.05513	0.02432	0.00500	0.00219	0.03714	0.00432	0.00074	0.00179	0.13272
Cálculo Integral	0.00146	0.12032	0.02321	0.03397	0.00004	0.00445	0.04569	0.05269	0.04812	0.03378	0.36372
Cálculo Vectorial	0.01097	0.02176	0.10063	0.01182	0.00232	0.00001	0.01429	0.05714	0.02111	0.02943	0.26948
Álgebra Lineal	0.00284	0.02041	0.00985	0.00628	0.01342	0.00014	0.01100	0.00477	0.01028	0.00384	0.08284
Acumulado	0.01527	0.16460	0.18882	0.07638	0.02077	0.00679	0.10812	0.11892	0.08025	0.06883	0.84876

Nota: los variables cuentan con los siguientes valores:

$$X2 = 0.84876, k1 = 4, k2 = 10, \text{grados de libertad } 27, \text{Valor } p 1.0000 > 0.05$$

Tras llevar a cabo el análisis, se determinó que se debe aceptar la hipótesis nula. Esto indica que existe independencia entre los porcentajes de reprobación y las asignaturas investigadas. Los resultados de la prueba de Chi-Cuadrado, presentados en la Tabla 4, respaldan la noción de que las variaciones en los porcentajes de reprobación no se ven significativamente afectadas por las asignaturas en consideración (Obando, 2023).

Normalidad y curtosis

La normalidad y la curtosis son dos conceptos estadísticos que se utilizan para describir la forma de una distribución de datos. La normalidad se refiere a la simetría de la distribución, mientras que la curtosis se refiere a la forma de las colas de la distribución. (Freedman, 2007). La curtosis, en el contexto de las estadísticas, se refiere a la medida de qué tan picuda o achatada es la distribución de datos en una gráfica. En otras palabras, la curtosis se utiliza para describir qué tan concentrados o dispersos están los datos alrededor de la media. La curtosis negativa, también llamada platicúrtica o mesocúrtica, estamos describiendo una distribución de datos que es más achatada (o aplanada) que una distribución normal (Aguilar, 2019).

En una distribución platicúrtica, los valores de los datos se dispersan más ampliamente alrededor de la media, lo que significa que hay menos valores en la región cercana a la media y más valores en las colas de la distribución. En la figura 2 se observa una curtosis negativa lo que indica que los porcentajes de reprobación están más dispersos o variados en comparación con una distribución normal. En otras palabras, habría más variabilidad en los porcentajes de reprobación, lo que podría indicar que algunos estudiantes tienen un desempeño muy bajo mientras que otros tienen un desempeño muy alto en una asignatura o conjunto de asignaturas.

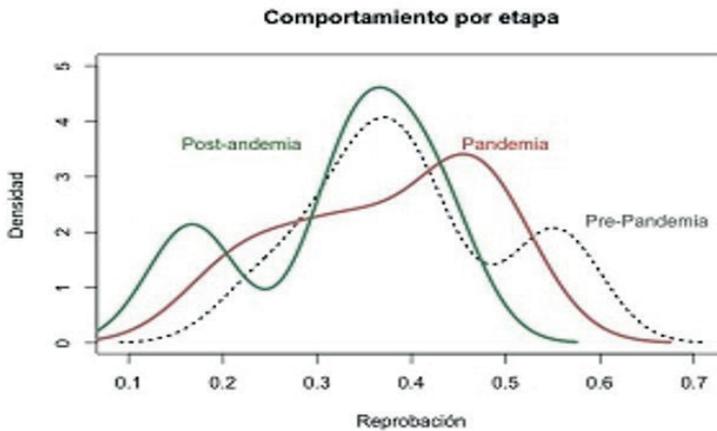


Figura 2. Comportamiento por Períodos con Curtosis Platicúrtica durante la Pandemia.

Utilizando el software estadístico Microsoft Excel y sus herramientas de análisis de datos, específicamente en Estadística Descriptiva, procedimos a verificar y comparar los resultados (véase tabla 1). Durante la etapa de pandemia, se observa que la curtosis presenta un valor negativo de -0.364442512 (véase tabla 5). Este valor sugiere que los datos muestran una distribución menos concentrada alrededor de la media, lo que se traduce en una mayor presencia de valores atípicos en la muestra (Aguilar, 2019).

Tabla 5. Datos estadísticos de la curtosis durante el periodo de pandemia.

Datos Estadísticos	
Media	0.36825
Error típico	0.016915656
Mediana	0.37
Moda	0.34
Desviación estándar	0.10698
Varianza de la muestra	0.011445577
Curtosis	-0.364442512
Coficiente de asimetría	-0.140129063
Rango	0.42
Mínimo- Máximo	0.15 - 0.57
Suma	14.73
Cuenta	40

Prueba de Homocedasticidad (Prueba de Bartlett)

La prueba de Bartlett es ampliamente utilizada para verificar si múltiples muestras exhiben homocedasticidad, lo que significa que comparten una cantidad similar de variabilidad. En casos de muestras no homocedásticas, se plantea la dificultad inicial para llevar a cabo un análisis de varianza. Prueba de Bartlett va a verificar si sus varianzas son iguales, para probar la no normalidad. Esta prueba se utiliza para probar si k muestras provienen de poblaciones con la misma varianza, en otras palabras, es lo que se llama homocedasticidad u homogeneidad de varianzas (Gutiérrez & De la Vara, 2008, pág. 87).

Contrastar la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H_0 = Las varianzas de todas las muestras son iguales.

H_1 = Al menos una muestra representa una varianza distinta de las demás muestras.

Se definen las hipótesis en términos matemáticos.

$$H_0 = \sigma_1^2 \dots \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_A = \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

H_1 al menos un σ_j^2 es diferente al resto.

$1-\alpha = 0.95$ nivel de confianza y $\alpha = 0.05$ nivel de significancia

Fórmula para calcular de Bartlett

$$b < b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k),$$

$$b < b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k) \approx \frac{n_1 b_k(\alpha; n_1) + n_2 b_k(\alpha; n_2) + \dots + n_k b_k(\alpha; n_k)}{N}$$

Calculamos sus varianzas, con los datos de la Tabla 1 y 4.

Tabla 6. Cálculos de varianza.

Varianzas	0.011265	0.011278788	0.010369697
n	16	12	12
$n-1$	15	11	11

Nota: $N = 40$, $k = 3$, grados de libertad 3.

$$S_p^2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2$$

$$S_p^2 = \frac{1}{40-3} \sum_{i=1}^k (15)(0.011265) + (11)(0.011278788) + (11)(0.010369697)$$

$$S_p^2 = \frac{1}{37} (0.44052182)$$

$$S_p^2 = 0.011002928$$

Calculamos la de Bartlett para compararlo con las tablas de valores críticos de Bartlett (Dyer & Keating, 1980).

$$b = \frac{[(S_1^2)^{n_1-1} (S_2^2)^{n_1-1} \dots (S_k^2)^{n_1-1}]^{\frac{1}{N-k}}}{S_p^2}$$

$$b = \frac{[(0.011265)^{15} * (0.011278788)^{11} * (0.010369697)^{11}]^{\frac{1}{37}}}{0.011002928}$$

$$b = \frac{[(3.34412E - 73)]^{\frac{1}{37}}}{0.011002928}$$

$$b = \frac{0.01099504}{0.011002928}$$

$$b = 0.999283061$$

Una vez que obtuvimos el estadístico , lo comparamos con la tabla de valores críticos de Bartlett (Dyer & Keating, 1980).

$$b < b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k)$$

$$b < b_3(0.05; 16, 12, 12)$$

$$b_k(\alpha; n_1, n_2, \dots, n_k) = b_3(0.05; 16, 12, 12)$$

$$b_3(0.05; 16, 12, 12) \approx \frac{(16)(0.8101) + (12)(0.7483) + (12)(0.7483)}{40}$$

$$b_3 \approx \frac{30.9208}{40} = 0.77302$$

$$b = 0.999283061 > b_3 \approx 0.77302$$

Se determina que las varianzas de los tres grupos (Prepandemia, Pandemia COVID-19 y Postpandemia) no presentan diferencias significativas. Por lo tanto, no se puede descartar la posibilidad de que la pandemia COVID-19 no haya tenido un impacto relevante en los resultados de las calificaciones reprobatorias.

El presente trabajo de investigación representa una contribución significativa al conocimiento en el campo educativo y académico, al abordar de manera integral y detallada la dinámica de los índices de reprobación en asignaturas de matemáticas durante diferentes etapas: prepandemia, pandemia y postpandemia de COVID-19. Esta perspectiva temporal y temática es novedosa y ofrece una comprensión más profunda de cómo factores externos, como la crisis de salud global, pueden influir en el rendimiento académico de los estudiantes en un área fundamental como las matemáticas. La metodología elegida implicó la aplicación del Análisis de Varianza (ANOVA) de Dos Vías con diseño de muestra única por grupo para comparar las varianzas en los promedios de los porcentajes de reprobación.

Los hallazgos de este estudio revelaron conocimientos interesantes sobre las variaciones observadas en las tasas de reprobación en diferentes períodos y disciplinas. Los resultados fueron congruentes con los objetivos de investigación y la metodología, y proporcionan información valiosa para las instituciones educativas para abordar posibles desafíos e implementar estrategias para mejorar el desempeño de los estudiantes.

Al analizar los datos, se observó que los valores F calculados para ambos factores (asignaturas y años) fueron menores que los valores F críticos de las tablas de distribución. Esto indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, lo que sugiere que no hubo diferencias significativas en las tasas de reprobación entre los diferentes períodos de prepandemia, pandemia y postpandemia COVID-19. Por lo tanto, se puede inferir que los cambios en los métodos educativos causados por la pandemia no condujeron a alteraciones sustanciales en el desempeño de los estudiantes (Lampropoulos & Admiraal, 2023).

Los resultados del estudio actual sugieren que los índices de reprobación en matemáticas en ingeniería son relativamente similares en los 3 periodos, incluso en el contexto de la pandemia de COVID-19. Una posible explicación para esta diferencia es que los estudiantes de ingeniería pueden estar mejor preparados para el aprendizaje remoto que otros estudiantes. Esto puede deberse a que los estudiantes de ingeniería suelen tener un mayor nivel de

competencia digital, y que están más acostumbrados a trabajar de forma independiente (Sandoval & Hermida, 2022).

Estos resultados pueden contrastarse con estudios previos que examinaron el impacto de la pandemia en los resultados académicos. Béjar *et al.* (2023) reveló que la pandemia tuvo un impacto adverso en el rendimiento académico de los estudiantes en matemáticas, resultando en un mayor déficit en la comprensión de los conceptos fundamentales de esta disciplina. Este fenómeno podría atribuirse a las repercusiones negativas de la COVID-19, ya que la mayoría de los estudiantes no pudo experimentar una educación presencial normal, lo que, a su vez, afectó negativamente su capacidad para alcanzar los objetivos de aprendizaje.

Aunque algunas investigaciones anteriores señalaron posibles interrupciones en los procesos educativos debido al aprendizaje remoto y otros desafíos relacionados con la pandemia (Albano *et al.* 2021), los hallazgos del estudio actual sugieren un grado de resiliencia en el desempeño en cursos de matemáticas en las disciplinas de ingeniería seleccionadas.

En cuanto al enfoque metodológico, la utilización del ANOVA de Dos Vías permitió una evaluación integral de los efectos principales tanto de las asignaturas como de los años de estudio, así como de su interacción. Este enfoque no solo permitió una comprensión matizada de las variaciones, sino que también proporcionó una base estadísticamente rigurosa para sacar conclusiones.

Conclusiones

En conclusión, este proyecto de investigación tuvo como objetivo principal analizar los índices de reprobación en las asignaturas de matemáticas en el Instituto Tecnológico de Ensenada durante las etapas de prepandemia, pandemia y postpandemia de COVID-19 en diversas carreras de ingeniería. Los resultados y conclusiones derivadas de este análisis son las siguientes:

En relación con la estimación de los índices de reprobación en cada carrera y asignatura antes, durante y después de la pandemia, los resultados estadísticos no arrojaron diferencias significativas que permitan concluir que uno de los períodos analizados fue notablemente superior o inferior en términos de reprobación. En otras palabras, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los índices de reprobación en los tres momentos evaluados, lo que sugiere que la pandemia no tuvo un impacto drástico en estos índices.

Es importante señalar que durante la pandemia de COVID-19, el cierre de las escuelas y la transición al aprendizaje en línea presentaron desafíos significativos para estudiantes y docentes. La falta de preparación tecnológica de algunos profesores pudo haber influido en la experiencia de aprendizaje de los estudiantes, especialmente en materias como las matemáticas. Este proyecto de investigación ha proporcionado una visión cuantitativa de los resultados del desempeño académico en las asignaturas de matemáticas en diferentes momentos, permitiendo observar posibles tendencias y patrones en los índices de reprobación. Sin embargo, es importante reconocer que la reprobación es un fenómeno multifacético que puede verse influenciado por factores sociales, económicos y personales.

A pesar de sus contribuciones, este estudio tiene algunas limitaciones. Se enfocó exclusivamente en las calificaciones finales registradas en las Actas de calificaciones proporcionadas por los docentes al departamento de Servicios Escolares, y se centró en las asignaturas de Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Cálculo Vectorial y Álgebra Lineal. Además, la muestra se limitó a un período específico y a un instituto en particular, lo que puede limitar la generalización de los resultados a otros contextos educativos.

Para abordar estas limitaciones y obtener una comprensión más completa de los factores que influyen en los índices de reprobación, se recomienda realizar investigaciones futuras que consideren un enfoque cualitativo para explorar las percepciones y experiencias de los estudiantes y docentes en relación con el aprendizaje en línea y la reprobación. Además, implementar estrategias de apoyo académico y orientación podría ser un recurso de acción para reducir los índices de reprobación y mejorar la calidad del aprendizaje en matemáticas en situaciones similares.

Referencias

- Aguilar, L. E. B. (2019). Diferencias en la estimación del coeficiente de curtosis en diferentes softwares estadísticos. *e-Agronegocios*, 5(2).
- Albano, G., Antonini, S., Coppola, C., Dello Iacono, U., & Pierri, A. (2021). "Tell me about": a logbook of teachers' changes from face-to-face to distance mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1-2), 15-34.
- Béjar, J. D., Aguilar, R. C. D., & Reynoso, M. R. G. (2023). Desempeño académico en matemática en estudiantes universitarios antes y después de la suspensión de clases presenciales por la COVID-19. *Tierra Nuestra*, 17(1), 32-42.

- Casanova, J. R., Cervero Fernández-Castañón, A., Núñez Pérez, J. C., Almeida, L. S., & Bernardo Gutiérrez, A. B. (2018). Factors that determine the persistence and dropout of university students. *Psicothema*, 30.
- Cervantes-Hernández, P. (2008). Media, varianza y desviación estándar. *Ciencia y Mar*, 12(34), 29-36.
- Dyer, D. D., & Keating, J. P. (1980). On the determination of critical values for Bartlett's test. *Journal of the American Statistical Association*, 75(370), 313-319.
- Flores, J., & Flores, R. (2018). La Enseñanza del Diagrama de Caja y Bigotes para Mejorar su Interpretación: The Teaching of Box and Whiskers Plot to Improve their Interpretation. *Revista Bases de la Ciencia*, 3(1), 69-75.
- Freedman, D., Pisani, R., Purves, R., & *Statistics: Fourth International Student Edition*. (2007). WW Norton & Company. New York.
- García, M. J., Miranda, P. G., & Romero, J. A. (2022). Análisis de tecnologías de información y estrategias en el rendimiento académico durante la pandemia por COVID-19. *Formación universitaria*, 15(2), 139-150.
- Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2008), *Análisis y diseño de experimentos*, segunda edición, McGraw-Hill, México, pp 87.
- Haro-Lara, A. P., Tite, S. R., & Caisaguano-Ramos, J. M. (2020). COVID-19 y rendimiento académico: retos y oportunidades de los estudiantes de educación básica del sector rural. *Revista Científica y Arbitrada de Ciencias Sociales y Trabajo Social: Tejedora*. ISSN: 2697-3626, 3(6 Ed. esp.), 42-51.
- Hawes, Z., Moss, J., Caswell, B., Seo, J., & Ansari, D. (2019). Relations between numerical, spatial, and executive function skills and mathematics achievement: A latent-variable approach. *Cognitive psychology*, 109, 68-90.
- Lampropoulos, G., & Admiraal, W. (2023). The impact of COVID-19 pandemic on primary, secondary, and K-12 education: A systematic review. *International Journal on Studies in Education (IJonSE)*, 5(4), 348-440.
- Meza Muñoz, I., Muñoz, D., & Salinas Gutiérrez, R. (2021). *Factores asociados con la reprobación de estudiantes de ingeniería en las materias de matemáticas*. Fecha de recuperación: 8 de agosto de 2022. Obtenido de Congreso Nacional de Investigación Educativa: <https://comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v16/doc/0478.pdf>
- Navarro, P., & Segundo, M. (2006). Preparatory Summer Courses for First-year Engineering Students. *Widening Participation and Lifelong Learning*, 8(2), 14-21.
- Obando, M. A. H. (2023). ¿Debería ser tan pequeño el nivel de significancia en una prueba de hipótesis? *Revista Torreón Universitario*, 12(33), 31-41.

- Reveles, S., Núñez, M. D. L. L., & Villegas, H. G. (2022). La relación entre el uso de tecnologías de la información, el aprendizaje del cálculo diferencial y el liderazgo: un análisis realizado en Jerez, Zacatecas. *El cálculo y su enseñanza*, 18, 1-12.
- Sandoval, O. I. A., & Hermida, R. D. A. (2022). Influencia del aislamiento por COVID-19 en el rendimiento académico en estudiantes universitarios de ingenierías. *Espacio I+D, Innovación más desarrollo*, 11(29).
- SEP. (2019) Lineamientos para la formulación de indicadores educativos. Fecha de recuperación: 4 de enero de 2021. Obtenido de https://www.planeacion.sep.gob.mx/Doc/estadistica_e_indicadores/lineamientos_formulacion_de_indicadores.pdf
- Serna, C., & Martinez, I. (2019). Parental involvement as a protective factor in school adjustment among retained and promoted secondary students. *Sustainability*, 11(24), 7080.

Perspectiva de inserción laboral de egresados de ingeniería industrial del TecNM campus Mexicali

Ana Laura Mastache González, Julio César Medina Aguirre, Yidanes Alejandra Ibáñez Acevedo ¹, Roxana Michele Rodríguez Loo

Resumen

El panorama laboral existente en México hace que la inserción laboral sea un tema de interés para los egresados de las carreras de Ingeniería. En particular, es importante identificar desafíos, así como el grado de inserción que los egresados de ingeniería industrial del TecNM campus Mexicali enfrentan y toma mayor relevancia en época de postpandemia que ha propiciado cambios en el mercado laboral de manera irregular. Es necesario observar cómo los egresados perciben la inserción laboral y que dificultades han enfrentado, identificando las tendencias del mercado, el grado de adecuación entre la formación académica y las demandas del campo laboral, así como su opinión acerca de lo que la Institución les ha proporcionado. En México, el sector de la ingeniería es uno de los más importantes para el desarrollo económico y tecnológico del país, ya que contribuye a la innovación, la competitividad y la solución de problemas sociales y ambientales. Sin embargo, enfrenta retos y desafíos para lograr una inserción laboral exitosa de sus egresados, tales como la saturación del mercado, la escasez de empleos, la falta de correspondencia entre la oferta y la demanda educativa, y las brechas de género. Los resultados

¹ Profesores del Tecnológico Nacional de México/I. T. de Mexicali.
Autora de correspondencia contactar en: yidanesibanez@itmexicali.edu.mx

de los análisis de la información vertida por las encuestas de egresados demuestran que el número de egresados que tienen opiniones desfavorables acerca de su permanencia en la institución, así como los progresos obtenidos en el programa académico tienen relación con la posibilidad de emplearse e insertarse en un mercado que, de acuerdo con lo documentado, es favorable para profesionistas talentosos. Por lo tanto, es necesario ahondar en el estudio no solo de la inserción laboral sino de la empleabilidad para poder observar las características y competencias que le permitan acceder e incluso retener el empleo y cuáles de ellas se derivan del programa académico de Ingeniería Industrial.

Palabras clave: Inserción Laboral, Ingeniería Industrial, Desempleo.

Introducción

La inserción laboral es un concepto amplio e impactante. Esto debido a que la expectativa de los estudiantes tiene que ver con las condiciones laborales en términos de salario, estabilidad laboral y puestos ocupados, así como que tan rápido pueden acceder al trabajo, por ejemplo, en comparación con otras Instituciones públicas o privadas. Asimismo, la percepción de que tan largas son las jornadas laborales y el nivel de desempeño en el trabajo (por ejemplo, técnicos de nivel medio y empleados de oficina versus puestos del tipo directivo y de empleado de oficina). De allí que se pueda definir a la inserción laboral como un proceso mediante el cual una persona se incorpora en actividades laborales de diversos tipos, en función de sus intereses, conocimientos, habilidades y competencias, y de las oportunidades que ofrece el mercado de trabajo (Murillo y Montaña, 2018).

La inserción laboral está referida a la capacidad de un egresado universitario para obtener y mantener un empleo o trabajo. Para ello el egresado debe desplegar un conjunto de habilidades y actitudes para obtener y retener un empleo (empleabilidad). Es necesario que para que este proceso sea exitoso también se conjugue con el equilibrio entre la formación académica y los requisitos que marca el mercado laboral, así como la capacidad de este mercado para poder absorber a los egresados dentro de las condiciones laborales marcadas de acuerdo con su perfil de carrera es decir que existan las plazas laborales producto de las condiciones económicas y sociales en armonía con la cantidad de postulantes a cada plaza o necesidad existente (Pérez & Pinto, 2020).

Existen evidencias que muestran que las condiciones laborales en términos de salarios, situación profesional y condición de empleo antes de la pandemia por COVID-19 era mejor con respecto a los egresados durante la crisis sanitaria. Lo anterior es en parte comprensible por que los egresados antes de pandemia tienen experiencia mayor que los que egresaron posteriormente, pero las condiciones existentes en los mercados laborales condicionan y pone en desventaja a los egresados postpandemia. Por ello debe haber una convergencia entre los sectores educativos, empresarial y gubernamental (Valadez & Álvarez, 2023).

Aunado a lo anterior existen condiciones donde las ocupaciones con respecto al trabajo impiden que el profesionista estar en puestos de trabajo que solo parcialmente (si es que de ninguna manera) está relacionado con el campo de su profesión. Esta precarización salarial y profesional tiene un costo para las familias, el Estado y para la sociedad en su conjunto dejando no solo consecuencias económicas si no un costo social y psicológico derivado de la sensación de frustración con respecto a los desequilibrios entre el mercado laboral y educativo (Rodríguez, Padilla, & Alfaro, 2012).

El mercado laboral presenta datos interesantes siendo que a nivel mundial la ingeniería es el 2do puesto más demandado y a nivel nacional es el quinto. Los empleadores están teniendo problemas en cuanto a la captación de talento (69% en México), a pesar de ello las tendencias netas de empleo es de 36% (5% menor que el año anterior). Los empleadores de 41 países prevén una tendencia neta de empleo positiva. En particular en México esta tendencia es del 29%. Esta tendencia no se ha visto afectada a pesar de los temores de recesión e inflación constante (Manpower Group, 2023).

Algunos datos demuestran que con respecto a la experiencia laboral el 16.4% de los profesionistas no cuentan con experiencia laboral, es decir nunca han tenido trabajo, siendo que esto es más crítico en las mujeres (71%). En áreas de ingeniería, manufactura y construcción 17.8 % empezaron a trabajar antes de iniciar los estudios universitarios, el 27.5 % mientras estudiaba, 12.6 % a un mes de egreso, 11.5 % a menos de 3 meses, 12.8 % entre 3 - 6 meses, 9.2 % entre 6 - 12 meses y existe un 8.5% que tarda más de un año en obtener empleo. Igualmente existe un 7.8 % de egresados que consideran que conseguir un empleo es muy difícil. Las principales causas para ello es la falta de experiencia/ practica (46.8 %), falta de vacantes en el área de estudio (17.6 %) y bajo salario (16 %) (Centro de Opinión Pública UVM, 2021).

Con respecto al mercado laboral, para 40% de las empresas afiliadas a Coparmex el principal obstáculo que enfrentan es la dificultad de cubrir vacantes contrastando esto con la existencia de alrededor de 2 millones de personas desempleadas (y disponibles para trabajar) y 5.8 millones que, aunque no buscan empleo, estarían de acuerdo en trabajar de encontrar una oportunidad que se adapte a sus necesidades (Moy, 2023).

El 87% de las empresas lo reconoció como uno de los tres desafíos laborales más apremiantes. La insuficiente mano de obra calificada también es una preocupación importante, ya que el 25% de las empresas encuestadas la identificaron como el principal desafío. De hecho 75% de todas las empresas de Coparmex encuestadas consideró que su reto principal en materia laboral radica en la insuficiencia de personal que 1) cubra las vacantes, 2) cuente con la preparación necesaria o 3) se mantenga en el puesto. El 30% de la Población No Económicamente Activa Disponible tiene, como mínimo, estudios de preparatoria terminados. La importancia de la formación técnica especializada se manifiesta en que seis de las diez principales ocupaciones con el mayor número de vacantes en México lo requieren y la dificultad para cubrir vacantes es el mayor reto reportado por las empresas encuestadas, ya que 40% de ellas lo definió como su principal problema en materia laboral (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2023).

Considerando estos datos el objetivo del presente estudio es analizar aspectos de carácter académico y laboral que tengan relación con la posibilidad de obtener empleo y con la inserción laboral, desde el análisis de las respuestas dadas a la Encuesta de Seguimiento de Egresados de 2022 correspondientes a la carrera de Ingeniería Industrial.

Marco Teórico

Las relaciones entre las Instituciones de Educación Superior y el mercado de trabajo son claves ya que es necesario reconocer la importancia de la educación académica para el trabajo. La perspectiva del trabajo está siempre presente en la educación, tanto en las instituciones como en los esquemas de aprendizaje dual. Las nuevas generaciones deben vivir su vida académica adquiriendo las herramientas e instrumentos necesarios para conseguir un buen trabajo y vivir dignamente con él. Un reto que permanece actualmente es si esa educación y aprendizajes se adaptan a las necesidades de las personas que quieren conseguir empleos en el futuro (Organización Internacional del Trabajo, 2019).

Incluso el objetivo 8 de la Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU se refiere a promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. Este objetivo busca mejorar las condiciones laborales y económicas de las personas, especialmente de las más pobres y vulnerables, mediante la creación de empleos de calidad, el fomento del emprendimiento, la innovación y la diversificación productiva, el aumento de la productividad y la competitividad, la reducción de las desigualdades, el respeto a los derechos laborales y la protección social, y la promoción de un consumo y una producción responsables (Organización de las Naciones Unidas, s. f.).

En consecuencia es necesario analizar los diferentes aspectos que forman la realidad laboral de los egresados para implementar acciones que optimicen la inserción laboral, y con ello que la transición de la escuela al empleo cumpla un proceso en el cual no existan los desequilibrios entre los ámbitos de estudio y la demanda de profesionistas, es decir que los estudios se adapten a la profesión permitiendo que los conocimientos y destrezas cultivados en la escuela se adapten lo más posible a la evolución de los requerimientos del mercado laboral y con ello evitar que exista el subempleo. De allí que las Instituciones de Educación Superior deben dar respuestas a las exigencias de los mercados laborales cumpliendo expectativas y demandas de la sociedad preparando a los profesionistas (García & Cárdenas, 2018).

Algunas herramientas para medir la inserción consisten en la aplicación de instrumentos validados como son las encuestas a egresados universitarios, con la finalidad de determinar cuál es su situación laboral y si el empleo coincide con la disciplina y formación académica, cuáles son las condiciones y situaciones del trabajo y el procesos de inserción laboral así como los niveles de satisfacción con el empleo actual todo ello con el objetivo de verificar todos los aspectos que inciden en el proceso de incorporación del egresado al mercado del trabajo para poder emprender las acciones necesarias por parte de los diferentes ámbitos y con ello generar políticas y procedimientos que puedan solucionar la problemática que aqueja a los egresados (Pineda & Moreno, 2019).

Los egresados tienen diferentes características que permiten incidir en la posibilidad de una rápida inserción laboral y por ende dentro de los instrumentos (Encuesta de Egresados) deben ser aspectos clave como serían por ejemplo los titulados universitarios tienen más posibilidad de trabajar que otros niveles formativos inferiores y son considerados grupos privilegiados, con menores tasas de desempleo y empleos mejor remunerados y estables por lo que la transición a la vida laboral suele ser de mayor calidad y con mejores resultados (Jiménez, 2009).

Metodología

La metodología que se propone para el documento es la siguiente:

El tipo de investigación es cuantitativo, ya que se basa en el análisis de datos numéricos emergidos del análisis de la Encuesta de Egresados de Ingeniería Industrial del TECNM campus Mexicali, 2022. Igualmente es descriptivo en virtud de que pretende analizar las características principales de dicha encuesta que se relacionen con el empleo y la formación académica. Su alcance se limita a los egresados de Ingeniería Industrial y se refiere a las respuestas que se hayan realizado a los cuestionamientos de dicho instrumento.

La muestra fue de 138 egresados de la carrera de Ingeniería Industrial del TECNM Campus Mexicali, donde los reactivos que se consideraron para el análisis estadístico fueron los siguientes:

1. Situación Laboral
2. Tiempo Transcurrido para obtener el primer empleo.
3. Medida que la formación de licenciatura lo preparó para integrarse con alguna institución o empresa en particular.
4. Si usted tuviera que cursar nuevamente su licenciatura elegiría inscribirse en la misma institución
5. Cómo considera usted su preparación académica que recibió en el Instituto Tecnológico de Mexicali (TECNM Campus Mexicali) en comparación de egresados de otras universidades.

La estadística recopilada permite tener una perspectiva de la situación laboral de egresados de una institución pública de nivel superior, así como identificar posibles causas de rezago laboral en egresados desempleados de la carrera de Ingeniería Industrial.

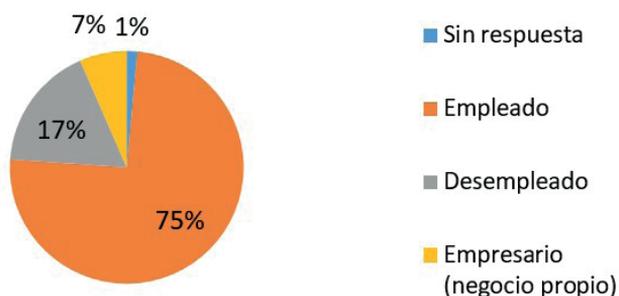
Resultados

A partir de los datos puede decirse que la mayoría de los egresados (82%) ha logrado insertarse en el mercado laboral dado que 75% se encontraba empleado y 7% tenía su propio negocio, sin embargo, tener un 17% en situación de desempleo invita a un análisis mayor que identifique las causas y las acciones que puede emprender el Tecnológico a fin de disminuir esta estadística (ver figura 1).

Los datos analizados demuestran que, con respecto a la obtención del primer empleo, el 57% de los egresados ya estaban previamente laborando desde su época escolarizada y un 20% adicional pudo conseguir empleo antes de los 6 meses de haber egresado. Sin embargo, el restante 23% obtuvo su primer empleo después de los 6 meses de egreso, lo cual indica la necesidad de verificar las causas de ello y las posibles acciones para abatir este índice (ver figura 2).

Figura 1. Situación Laboral

SITUACION LABORAL



Nota. Elaboración Propia

Figura 2 Primer Empleo

1ER. EMPLEO



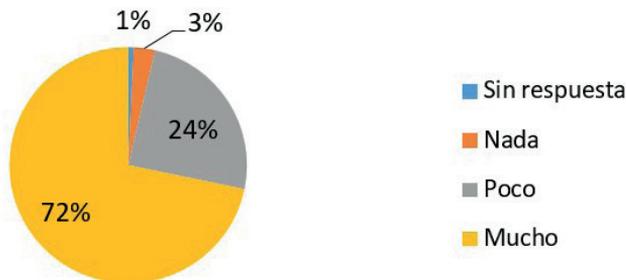
Nota. Elaboración Propia

Asimismo, en la figura 3 se observa que con respecto al aspecto de si el egresado considera que la formación de licenciatura lo preparó para integrarse con alguna institución o empresa en particular se observa que el 72

% considera que la su mucha su preparación durante la licenciatura siendo que preocupantemente existe el 27 % que considero que su preparación fue poco o nada, por lo que se observa la necesidad de realizar investigaciones adicionales que permitan dilucidar las causas y soluciones de este aspecto.

Figura 3 Preparación para el trabajo

Preparación para el trabajo

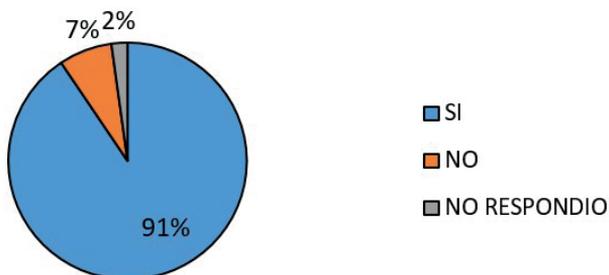


Nota. Elaboración Propia

La figura 4 muestra aspectos preocupantes porque si bien se observa un alto grado de aceptación de los egresados para con su Institución, existe una cantidad que es pequeña pero significativa, 7%, de egresados que consideran que no elegirían a la institución en caso de cursar nuevamente la licenciatura por lo que se observa la necesidad de analizar las causas de esta respuesta y ver si esto inhibe su posibilidad de insertarse en el ámbito laboral.

Figura 4 Elegir la institución

Elegir la Institución

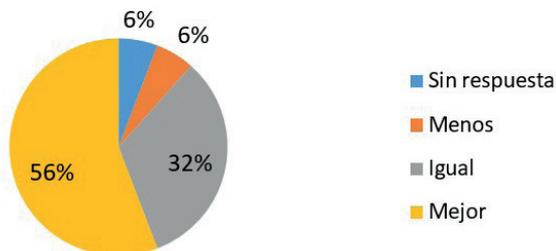


Nota. Elaboración Propia

Y para el ultimo reactivo donde el egresado cree o no si fue mejor su preparación académica en comparación de otras universidades, el 6 % considero que no fue mejor.

Figura 5 Comparación de preparación

Comparación de preparación con respecto a otras Universidades



Nota. Elaboración Propia

Se realizan también gráficas comparativas de egresados desempleados donde se muestra su situación laboral actual contra el tiempo que duraron para encontrar su primer empleo y medida en la que ellos consideran que la institución educativa los preparó para el campo laboral. Por ejemplo, en la figura 6 se observa que en el caso de aquellos que al momento de la encuesta estaban desempleados tienen un porcentaje menor de haber tenido un empleo desde antes de egresar.

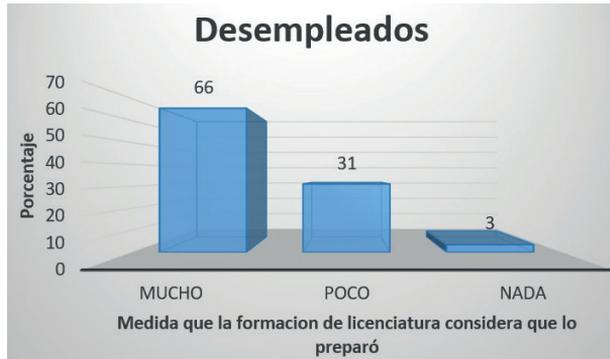
Figura 6 Relación desempleados versus primer empleo



Nota. Elaboración Propia

Asimismo, en la figura 7 se observa que la respuesta acerca de cómo consideró la preparación en la licenciatura aquellas personas que están desempleadas solo respondieron de manera favorable el 66%.

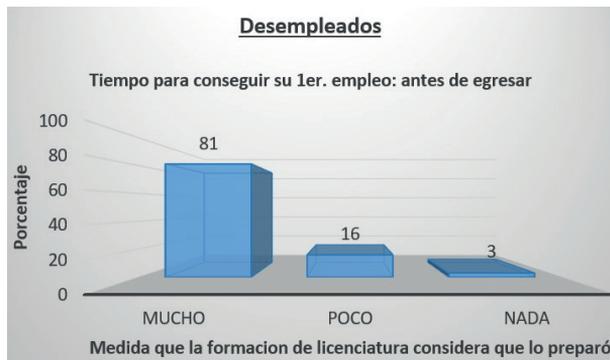
Figura 7 *Relación desempleados versus consideración de preparación*



Nota. Elaboración Propia

Además, se compararon las respuestas de los 4 lapsos de tiempo para encontrar su primer empleo (sobre egresados que actualmente se encuentran desempleados) contra la consideración de formación de dichos egresados en los que la institución educativa los preparó para el mundo laboral. Por ejemplo, se puede observar que mientras antes se pudiera emplear, la percepción de que la licenciatura lo preparó adecuadamente es más alta, como se puede observar en la figura 8.

Figura 8 *Relación tiempo para primer empleo versus situación laboral*



Nota. Elaboración Propia

En el caso de la figura 9, se demuestra que la percepción de los desempleados al momento de la encuesta es que para obtener su primer empleo fue hasta en 6 meses después del egreso, entonces la respuesta es que el 66% considera que su licenciatura no los preparó adecuadamente.

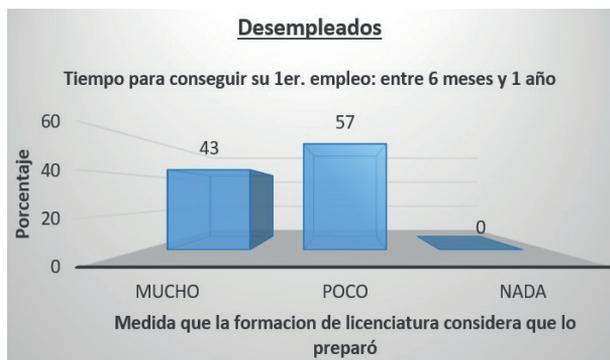
Figura 9 Relación de 1er empleo 6 meses versus medida de formación



Nota. Elaboración Propia

En el caso de la figura 10, se demuestra que la percepción de los desempleados al momento de la encuesta es que para obtener su primer empleo entre 6 meses y un año después del egreso, el porcentaje que opina que la licenciatura lo preparó poco es muy alto (57%), por lo que puede inferirse que es necesario ampliar los horizontes de la investigación de manera que se observen las causas de estos hechos.

Figura 10 Relación de 1er empleo 6 meses - 1 año versus medida de formación



Nota. Elaboración Propia

Conclusiones

Se observa que existe una población de egresados que tienen la percepción de que la situación laboral adversa se asocia con una insuficiente preparación y que se percibe que no se tienen una idea positiva de sus estudios y por ende de su institución. Si bien la cantidad de personas que coinciden en estos aspectos es baja, no es menos importante, y por ello la Institución está ante una oportunidad de ampliar estos análisis y encontrar aspectos de competencias laborales y empleabilidad para tener una respuesta hacia los egresados que se encuentran marginados del ejercicio profesional.

El análisis adicional de la encuesta de egresados de la carrera de Ingeniería Industrial demostró el detrimento de la opinión que con respecto a los estudios de licenciatura tienen si están en posición de desempleo. Existen diferentes causales por los cuales, a pesar de existir las vacantes, las personas no se insertan al mercado de trabajo, por ello es necesario realizar otras etapas de investigación que determinen las competencias laborales, personales y profesionales que permitan escalar los conceptos hacia lo que se conoce como empleabilidad, para poder determinar qué aspectos generales y personales en la promoción profesional hacia el empleo debe generar cada egresado identificando cuáles son los que están afectando e incidiendo fuertemente.

Referencias

- Universidad UVM (2021). Encuesta nacional de egresados 2021. Disponible en https://opinionpublica.uvm.mx/sites/default/files/presentaciones/ENE_VF_0.pdf
- García-Blanco, M. y Cárdenas-Sempértegui, E.B. (2018). La inserción laboral en la Educación Superior. La perspectiva latinoamericana. *Educación XX1*, 21(2), 323-347, doi: 10.5944/educXX1.16209
- Instituto Mexicano para la Competitividad (20 de junio 2023). El panorama de las vacantes y la población disponible en México. Disponible en https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2023/07/PanoramaVacantes-en-MX_Documento_20230713.pdf
- Jiménez Vivas, A., (2009). Contexto actual y determinantes de la inserción laboral de los titulados universitarios. Directrices para el análisis. *EDUCAR*, 44(),47-58.

- Manpower Group (2023). Tendencias de empleo ManpowerGroup. Informe de la Encuesta de Expectativas de Empleo de ManpowerGroup Q2 2023. Recuperado de https://manpower.com.do/wps/wcm/connect/manpowergroup/ee11ece1-a3ea-4b79-8bdc-0f72082ba3e4/MPG_MEOS_Report_Q2_2023%C2%B1+Global+V3.pdf?MOD=AJPERES
- Moy, V. (2023, 7 de octubre). Hay vacantes. El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/valeria-moy/hay-vacantes>
- Murillo García, F., & Montaña Ulloa, P. Y. (2018). Condiciones laborales de egresados de Instituciones de Educación Superior en México. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(3), 56-68. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.3.1644>
- Salazar-Xirinachs, J. M. y Vargas Zúñiga, F. (2017). *El futuro de la formación profesional en América Latina y el Caribe: desafíos y lineamientos para su fortalecimiento*. OIT/Cinterfor.
- Organización de las Naciones Unidas (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Pérez Cruz, Omar Alejandro, & Pinto Pérez, Rogelio. (2020). Determinantes de la inserción laboral en egresados universitarios en México. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21), e027. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.732>
- Pineda López, R. D. C., & Moreno Bastidas, G. R. (2019). Instrumentos para la Determinación de los Factores de la Inserción Laboral en Estudiantes Universitarios. *Revista Científica Hallazgos*21, 4(2), 173-189. Recuperado a partir de <https://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/article/view/345>
- Rodríguez Solera, C. R., Padilla Mendoza, E. D. P., & Alfaro Ponce, B. (18 a 22 de noviembre 2013). *Inserción laboral de la población con estudios universitarios en el estado de Hidalgo* [Ponencia]. Congreso Nacional de Investigación Educativa, Guanajuato, Guanajuato.
- Valadez García, A. & Álvarez Molina, M. E. (2023). Impacto del Covid-19 en la inserción laboral de los egresados de CETYS Universidad, México. *Diálogos sobre Educación. Temas Actuales en Investigación Educativa*, 14(27), 1-18. <https://doi.org/10.32870/dse.v0i27.1273>

Intención emprendedora en estudiantes de ingeniería

Virginia Guadalupe López Torres ¹,
Diego Alfredo Pérez Rivas,
Luis Ramón Moreno Moreno

Resumen

La ocurrencia de algunos problemas económicos que actualmente afectan a México, fortalece la premisa que plantea al emprendimiento como una solución. Por ende, es pertinente identificar los factores que inciden en motivar y desarrollar la intención por emprender principalmente en jóvenes universitarios, los cuales la mayoría de las veces no encuentran espacio para su desarrollo en el mercado laboral, en consecuencia, es pertinente evaluar si poseen los conocimientos y competencias necesarias para emprender. El objetivo de este estudio es analizar la intención hacia el emprendimiento, así como los principales factores que la impulsan o inhiben. Los resultados muestran que la gran mayoría de los encuestados no tienen intención por emprender. También se encontró que la intención emprendedora depende del semestre y carrera en la que se forma el estudiante.

Palabras clave: Intención Emprendedora, Estudiantes Universitarios de Ingeniería, Contexto Educativo, Contexto Local.

¹ Profesores investigadores en la Universidad Autónoma de Baja California. Autora de correspondencia, contactar en virginia.lopez@uabc.edu.mx

Introducción

Global Entrepreneurship Monitor (2023) ubica a México en la posición número 44 entre los países con mejor ecosistema emprendedor, pasó de la posición 23 en 2019 a la 44 en 2022, una caída de 21 posiciones a consecuencia de la falta de políticas públicas, la inflación y el difícil acceso a crédito mermaron el ecosistema emprendedor, escenario negativo que se potenció durante Covid-19, por ello se destaca que emprender es más difícil en México respecto a 2020, en tal sentido se presenta una tendencia a la baja en el índice de creación de negocios.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) que realiza el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023), con datos al cierre del segundo trimestre de 2023 señala que los jóvenes con estudios de niveles medio superior y superior fueron los que más padecieron desempleo en México, se destaca que 54.3% de las personas desocupadas tienen ese nivel de preparación académica. Para Sánchez (2014), la población juvenil integra el bono demográfico del país, pero se encuentra el problema del desempleo o de un empleo de mala calidad, ya sea por su precariedad, su temporalidad o la falta de protección social. Ortiz y Rodríguez (2022), argumentan que el desempeño económico de México pone de manifiesto problemas estructurales en el mercado de trabajo.

Según Herrera (2014) en México, las universidades públicas no fueron diseñadas para formar empresarios. Con la Revolución Mexicana, el Estado fundó escuelas para formar a los cuadros técnicos que harían realidad el proyecto estatal. De esta manera se dejó ver la forma en que se habría de orientar a la educación en México, formando burócratas o empleados o funcionarios. Por lo anterior se considera de suma importancia poner mayor atención en temas relacionados con la capacitación y actualización docente. Los docentes han de ser capacitados para formar, y encarnar ellos mismos el espíritu emprendedor. Este aspecto es crítico para cualquier país. No se puede seguir cometiendo los errores del pasado formando a nuestros alumnos y universitarios como funcionarios o trabajadores por cuenta ajena, pues la primera alternativa profesional es el emprendimiento (Casco & Barrera, 2011).

De acuerdo con el Marco de Referencia para la Universidad Emprendedora, publicado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2012), la internacionalización es una de las principales

características que debe poseer una universidad emprendedora. A medida que la internacionalización se integra cada vez más en los procesos estratégicos, se convierte en esencial para que las universidades sean capaces de tomar decisiones informadas sobre la dirección institucional, así como evaluar y mejorar el rendimiento de acuerdo con diferentes objetivos en una amplia gama de actividades internacionales. No es posible que una universidad sea emprendedora sin ser internacional, pero la universidad puede ser internacional sin ser emprendedora. Considerando este escenario el objetivo del presente estudio es analizar los factores que inciden en la intención emprendedora en los estudiantes de Ingeniería Industrial, Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico de Ensenada.

Justificación

Un factor determinante en la calidad de vida de los mexicanos es el salario mínimo. De acuerdo con datos de la ENOE la población ocupada que gana menos del salario mínimo se redujo de 40.4 a 36.3% entre 2018 y 2023, mientras la población que gana entre uno y dos salarios mínimos mensuales aumentó de 28.9 a 32.9% de la población ocupada entre 2018 y 2023, en estos cinco años el salario mínimo pasó de 88.40 a 207.44 pesos diarios, pero en los 43 municipios que conforman la Zona Libre de la Frontera Norte es de 312.41 pesos por día (INEGI, 2023).

Para analizar estos aumentos y poder comparar pasamos las cantidades a dólares por tratarse de una moneda más estable, se tiene que 1 dólar en 2018 se compraba con 19.65 pesos, por lo que el salario mínimo era equivalente a 4.49 dólares (González, 2018), 1 dólar en 2023 se compra con 18.15 pesos, por lo que el salario mínimo equivale a 11.42 dólares (Banco de México, 2023), se tiene un crecimiento de 6.93 dólares. Sin embargo, la inflación es una variable económica que impacta el poder adquisitivo, en 2018 la inflación medida por medio del índice nacional de precios al consumidor (índice general) era de 4.83 anual, en este 2023 (datos a octubre) es de 4.45. Pero en el trayecto ha tenido un comportamiento caótico, al 1 de enero de 2018 era de 5.55, alcanzó un nivel máximo de 8.70 en agosto de 2022 (Banco de México, 2023), lo que ha incrementado el precio de la canasta básica.

En 2018 la canasta básica costaba 245 pesos en promedio (aproximadamente 12.46 dólares), mientras en este 2023 cuesta 475 pesos (aproximadamente

26.17 dólares), un incremento de 230 pesos (13.71 dólares), estos datos ilustran que la mayoría de los mexicanos tenemos problemas de calidad de vida, el aumento del salario mínimo se ha desvanecido con la inflación.

De ahí la pertinencia y relevancia de la Educación en Emprendimiento (EE), la cual puede contribuir a mejorar la calidad de vida futura de la población, creando conciencia en los estudiantes universitarios sobre la importancia de poder crear una empresa que coadyuve no solo a una mejora en su entorno personal y familiar, sino también a una mejora en el desarrollo económico del país mediante la oferta de un producto o servicio, así como en la generación de empleos.

Marco Teórico

Newman *et al.* (2018) establecen que el emprendimiento no solo implica asumir riesgos, incertidumbre, creatividad, liderazgo y proactividad, sino que también requiere persistencia y pasión. Además, argumentan desde la teoría cognitiva social, la presencia de factores ambientales clave que influyen en la motivación y el comportamiento a través del aprendizaje, la persuasión social y el juicio de los propios estados psicológicos.

Es decir, describen la necesidad de un escenario con presencia de varios factores que coadyuven en detonar la motivación del estudiante universitario para que se visualice como empresario, donde su entorno cercano puede persuadirlo para que tome la decisión de emprender y durante su proceso de formación profesional desarrolle competencias que en el futuro le permitan desempeñarse como empresario exitoso.

Esfandiara *et al.* (2017) plantean la necesidad de garantizar un suministro continuo de empresarios, en consecuencia, académicos y profesionales necesitan saber cómo se originan las intenciones de los empresarios potenciales en la etapa inicial, e identificar los factores que estimulan la iniciativa empresarial. Para Santos y García (2016), la motivación es un factor interno del individuo que dirige sus acciones hacia determinados fines. Así, la motivación explica en este caso, por que un individuo decide ser emprendedor.

Miranda, Chamorro y Rubio (2017) señalan a la intención emprendedora (IE) como la clave para comprender el proceso de decisión, la califican como el pronosticador más sólido del comportamiento emprendedor, por ello su estudio y determinantes han adquirido gran relevancia en los últimos años. Siguiendo a Karabulut (2016), la IE ilustra la pretensión de una persona de elegir

como carrera el desempeñarse como empresario, en específico es la intención de un individuo de comenzar un nuevo negocio (Newman, *et. al.*, 2018).

Durán y Arias (2015, p. 322-323) definen intención emprendedora “como una conducta planificada, orientada a la creación de una nueva empresa, donde se identifican oportunidades de negocio y se asumen riesgos con la idea de generar ganancias”. Para los propósitos de este estudio, la IE es la decisión de emprender un negocio y/o crear una empresa, y para ello, es imprescindible tomar el riesgo de invertir, preferentemente soportado en un plan de negocio que define paso a paso las acciones a realizar para reunir los recursos necesarios, aplicarlos y gestionarlos de forma efectiva.

Para efectos del presente trabajo, la Intención de Emprendimiento será aquella que tiene como posible resultado la creación de una empresa.

El Modelo Talento Emprendedor del Tecnológico Nacional de México consiste en actividades y estrategias para establecer el ambiente emprendedor dentro de la comunidad estudiantil en los Institutos Tecnológicos, insertando la cultura desde los primeros semestres en la actividad académica y de formación en los estudiantes, generando entre los jóvenes el sentido de emprendimiento y generación de ideas creativas viables, que posteriormente se conviertan en una realidad, a través de este modelo se pretende la generación de empresas y del sentido de competitividad, trabajo en equipo al reunir grupos multidisciplinarios en la formación de equipos creativos, utilizando técnicas, que determinen viabilidad técnica y comercial, ofreciendo las bases previas para el desarrollo de un plan de negocio.

El Modelo Talento Emprendedor del Tecnológico Nacional de México está integrado por 3 fases a desarrollarse en modalidad presencial. La primera fase se denomina Descubriéndome, fase de introspección, tiene la intención de concientizar al participante de sus habilidades, capacidades, actitudes y valores, además de motivarlo a emprender consciente de su entorno. La segunda fase titulada Creando e Innovando, es formativa, en su transitar el participante tendrá acceso a técnicas y herramientas para despertar la creatividad, además de las nuevas metodologías para la creación de Modelos de Negocio basados en la innovación; y la tercera fase Emprendiendo el Vuelo es vivencial, pues está integrada con la participación en conferencias con actores clave del ecosistema emprendedor, y alberga además un reto (elaboración de un Pitch) que llevará al estudiante a aplicar los aprendizajes de las fases anteriores (TECNM, 2017).

Alcaraz (2011) propuso una clasificación del emprendedor según la razón por la que emprende: para aprovechar una oportunidad o al tener una necesidad. En la primera el emprendedor encuentra una necesidad insatisfecha o un nicho de mercado desatendido, o porque tienen una buena idea y desean desarrollarla por el gusto de verla hecha realidad. Mientras en la segunda, el emprendedor se encuentra en una situación desfavorable, es el caso si está desempleado, ya sea porque acaba de ser despedido o porque ha decidido independizarse y requiere procurarse algún ingreso económico.

Para Valencia (2011) los ingenieros de gran éxito no son sólo académicamente astutos, sino que también poseen habilidades empresariales; sin embargo, se observa que las escuelas de ingeniería han sido lentas para incorporar cursos de carácter empresarial en sus programas curriculares. Lo anterior, se debe a que tradicionalmente los ingenieros en las diversas disciplinas han sido entrenados para resolver los problemas explícitos, como la búsqueda de las soluciones de n-ecuaciones con n-incógnitas.

Gómez y Satizábal (2007) identifican como competencias emprendedoras, la conformación de redes; la resolución de problemas; asumir riesgos; orientación al logro y a las oportunidades; trabajo en equipo; autonomía; creatividad e iniciativa.

El estado del arte muestra que el emprendimiento es un constructo de interés de la comunidad académica, en 2009 Liñán *et al.* estudiaron la actitud hacia el emprendimiento a partir de la norma subjetiva y el control percibido en 549 estudiantes universitarios, encontraron relaciones positivas y directas entre las. Las percepciones de la sociedad en general y el contexto cercano tienen una influencia en los factores motivacionales que determinan la intención emprendedora. En 2011 Correa, conde y Delgado presentaron su estudio de atributos personales relacionados con comportamientos y actitudes realizado con 13 profesores e investigadores en el área de emprendimiento logrando identificar las competencias emprendedoras a desarrollar en los estudiantes de administración de empresas que para su formación solicitan de la universidad, la generación de ambientes favorables.

Manolova *et al.* (2012), con una muestra de 442 emprendedores nacientes valoraron las expectativas emprendedoras, desempeño y resultados obtenidos, sus resultados indican que las distintas formas de socialización y experiencias de aprendizaje social conforman distintos enfoques a la creación de empresas, y difieren en intenciones de crecimiento entre emprendedores y emprendedoras nacientes. Shinnar *et al.* (2012) estudiaron las barreras hacia el emprendimiento, percepción de falta de apoyo, percepción de miedo al

fracaso y percepción de carencia de capacidad en 761 estudiantes universitarios en tres países, encontraron evidencia de que la cultura y el género moderan la relación entre la importancia de algunas de las barreras percibidas y la intención emprendedora. En los países incluidos en el estudio, las mujeres perciben la falta de apoyo como una barrera significativamente más importante que los hombres. Específicamente en Estados Unidos se encontró que la percepción de carencia de capacidad tiene un mayor efecto negativo para las mujeres en relación a las intenciones emprendedoras.

Fini *et al.* (2012), analizaron la actitud hacia el comportamiento emprendedor a través del control percibido y la norma subjetiva en una muestra de 200 emprendedores de nuevas empresas de base tecnológica, ellos encontraron que tanto la actitud como el control percibido sobre el comportamiento están relacionados con la intención emprendedora, sin embargo, la relación entre la norma subjetiva y la intención emprendedora resultó no significativa e incluso con una influencia negativa.

Flores *et al.* (2020) valoraron el comportamiento ante el emprendimiento, la relación entre el semestre cursado y el espíritu emprendedor, factores que intervienen en el emprendimiento en una muestra de estudiantes, demostraron que la mayoría de los estudiantes tienen interés en emprender, pero consideran necesaria la formación, además encontró que el factor económico resulta determinante en la intención de emprendimiento de los estudiantes.

Metodología

Se ha diseñado un estudio cuantitativo, no experimental, transversal. Los sujetos de análisis son estudiantes de primero y noveno semestre de Ingeniería Industrial, Ingeniería Electromecánica e Ingeniería en Gestión Empresarial (ver tabla 1). La selección de dichas áreas de estudio se dio debido a que resulta interesante conocer cómo se comporta cada una de estas especialidades en términos de intención emprendedora y de qué manera impacta el contexto tanto educativo como de territorio en sus decisiones de emprendimiento.

Tabla 1. Población de estudio

Licenciatura	Alumnos		Total
	Semestre 1	Semestre 9	
Ingeniería Industrial	93	33	401
Ingeniería Electromecánica	88	56	425
Ingeniería en Gestión Empresarial	57	33	319

Fuente: elaboración propia

Para la recolección de datos se aplicó una adaptación del cuestionario de Liñan y Chen (2009), al que se le agregaron ítems sobre el nivel académico de los padres, nivel de ingresos, habilidades de emprendimiento entre otras, para un total de 117 ítems. La validez y fiabilidad se valoró por medio de una prueba piloto con muestra de 91 participantes seleccionados de forma aleatoria que integró a estudiantes de segundo y cuarto semestre de Ingeniería en Gestión Empresarial y de cuarto semestre de la Licenciatura en Administración. Con los datos obtenidos se realizó el análisis de consistencia interna a través del Alfa de Cronbach, el resultado de fiabilidad global fue de 0.940., también se analizó la fiabilidad de cada una de las variables donde se observa que ambas variables presentaron una alta fiabilidad siendo la variable de contexto educativo la que presentó una fiabilidad más alta de 0.964, mientras la de intención en emprendimiento obtuvo 0.936 (ver tabla 2).

Tabla 2. Resultados de validación del instrumento

Variable	Alfa de Cronbach	No. de ítems
Contexto educativo	0.964	17
Intención en emprendimiento	0.936	53
Validación total del instrumento	0.940	120

Fuente: Elaboración propia basado en resultados.

Se realizó un análisis documental de los planes y programas de estudio de cada una de las ingenierías que estudian los sujetos de estudio, como parte del contexto educativo. Se identificaron las materias que tienen relación estrecha con temas de emprendimiento tales como Formulación y Evaluación de Proyectos para Ingeniería Industrial e Ingeniería Electromecánica, así como Plan de Negocios y El Emprendedor y la Innovación para la Ingeniería en Gestión Empresarial.

La presente investigación es descriptiva-correlacional del tipo auto informe, esto debido a que la recopilación de la información se hizo por medio de cuestionarios y entrevistas, en las cuales se usa una escala de valores tipo Lickert, así mismo se determinó la existencia de relación entre las variables. Para el análisis de datos se utilizó el programa spss (Statistical Package for the Social Sciences).

Resultados

La muestra incluye a 187 participantes, estudiantes de primero, segundo, cuarto, octavo y noveno semestre del área de Ingeniería, cuya edad oscila entre los 18 y 34 años, donde el 93% son solteros, el 4.8% vive en unión libre y el 2.1% son casados; el 71.1% son nacidos en Ensenada y el resto está distribuido en diferentes ciudades de la República Mexicana, sin embargo, todos son residentes de la Ciudad de Ensenada.

El 50.3% de la muestra son mujeres y el 49.7% hombres, lo que ilustra un balance en lo que al género se refiere. Del total de la muestra el 52% de los estudiantes encuestados están inscritos en Ingeniería en Gestión empresarial, el 25.7% en Ingeniería Electromecánica y el 21.4% en Ingeniería Industrial. En lo que respecta al nivel de estudios del padre 26.2% terminó secundaria y el 28.3% es empleado del sector privado. El 25.1% de las madres concluyeron secundaria y el 25.1% concluyó preparatoria; de ellas el 41.2% se dedica a diferentes actividades, entre ellas el hogar, y solo el 18.7% es empleada del sector privado.

De la totalidad de la muestra el 33.7% el encuestado es el hermano mayor, seguido de un 32.1% que corresponde a ser hermano intermedio. Los ingresos que perciben en el hogar el 43.9% ascienden hasta \$ 8,000.00 y un 33.2% percibe entre \$ 8,001.00 hasta \$ 16,000.00 pesos y el 77.5% profesa el cristianismo en sus diferentes variables. En lo que respecta al nivel de intención emprendedora según la carrera de formación, destacan los estudiantes de Ingeniería en Gestión Empresarial, dado que el 53% posee un nivel alto de intención emprendedora, mientras sólo el 21.4% de los alumnos de Ingeniería Industrial manifestaron interés en emprender, en el caso de los estudiantes de Ingeniería Electromecánica 25.7% tiene intención de emprender. Estos datos ilustran un área de oportunidad para que las autoridades académicas del Instituto apliquen estrategias que permitan incrementar la intención por emprender en los jóvenes universitarios como una estrategia para incidir en el autoempleo y/o generación de fuentes de empleo (ver figura 1).

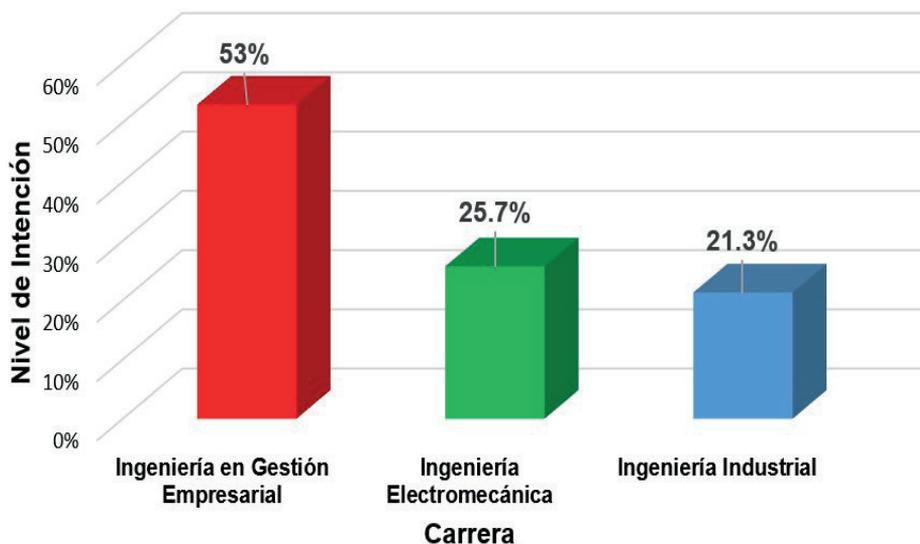


Figura 1. Nivel de Intención de emprendimiento por carrera

Con relación al semestre, se presenta un fenómeno interesante debido a que en el primer semestre la intención en emprendimiento es alta al generar una puntuación de 33.2%, pero a partir del segundo semestre comienza a caer hasta 17.6%, mientras en los alumnos de cuarto semestre se presenta un mínimo repunte para alcanzar un 19.3% sin embargo vuelve a caer en octavo con 16% y por último en noveno semestre se ubica en un valor ínfimo de 13.9%. Este dato es preocupante, dado que el contexto educativo inhibe la intención de emprender en los jóvenes estudiante (ver figura 2).

Para determinar si las variables están relacionadas, considerando la escala de medición utilizada en el cuestionario, así como la elaboración de un índice para valorar el nivel de intención por emprender, se aplicó la prueba estadística no paramétrica conocida como chi cuadrada por medio de la utilidad para calcular tablas de contingencia en SPSS, es importante indicar que este software considera un nivel de significancia (α) de 0.05. Los resultados agrupados se muestran en la tabla 3.

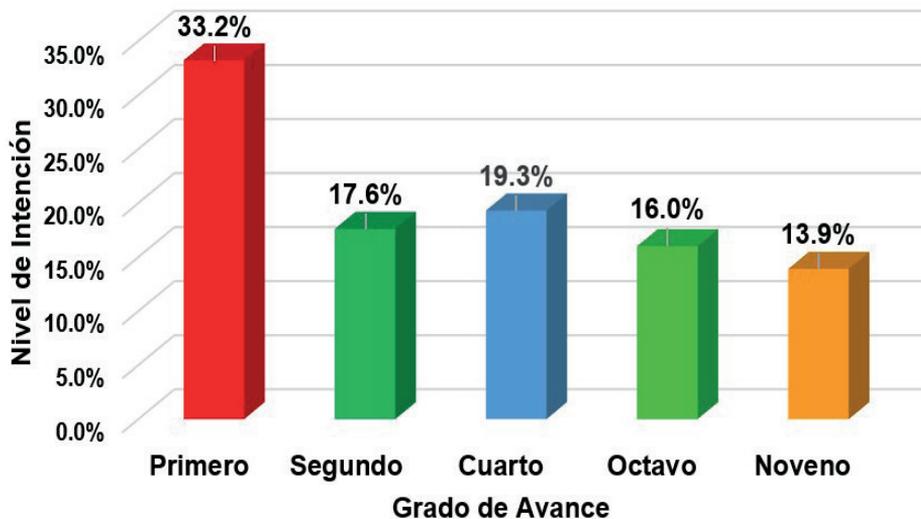


Figura 2. Nivel de intención de emprendimiento según grado de avance

Tabla 3. Resultados evaluación Chi²

	Carrera			Semestre			Ocupación padres		
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	112.036 ^a	4	0.017	18.168 ^a	8	0.020	14.891 ^a	10	0.136
Likelihood Ratio	12.062	4	0.017	19.573	8	0.012	18.455	10	0.048
N of Valid Cases	187			187			187		

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de SPSS

Para el caso de la carrera puede verse que el estadístico chi cuadrado de Pearson toma un valor de 112.036, el cual en la distribución X^2 con cuatro grados de libertad (df) tiene asociada una probabilidad (Asymptotic Significance) de 0.017; probabilidad denominada nivel de significación observado (o crítico), la cual es muy pequeña (menor que α) por lo que se rechaza la hipótesis de independencia y se puede inferir que las variables carrera e intención emprendedora están relacionadas.

Asimismo, se infiere que la intención emprendedora se relaciona con el semestre (Asymptotic Significance = 0.020) pero no se relaciona con la ocupación de padres (Asymptotic Significance = 0.136). En resumen, la intención emprendedora de la muestra estudiada depende de la carrera en que se forme el estudiante, así como del semestre en que se encuentre.

Por otro lado, para conocer si en términos estadísticos existe una correlación entre la intención emprendedora con respecto al contexto, ya sea local o educativo con apoyo de SPSS, se obtuvo el coeficiente de correlación de Spearman ya que éste, permite calcular la relación entre dos variables. Si este coeficiente arroja valores próximos a 1 indica que existe una correlación positiva perfecta; los valores próximos a -1 indican que existe una correlación negativa perfecta y los valores próximos a 0 indican que no existe correlación alguna entre variables (Meraz, 2015).

De acuerdo con los resultados que se ilustran en la tabla 4 se puede inferir que si existe una relación entre la intención emprendedora con respecto al contexto local dado que $\rho=0.533$, la correlación es positiva media, en términos del coeficiente de determinación implica que el 28.40% de la relación entre ambas variables es lineal. Esto mismo aplica para el análisis con respecto al contexto educativo puesto que $\rho=0.405$, la correlación es muy cercana a positiva media, en términos de coeficiente de determinación implica que el 16.40% de la relación entre ambas variables es lineal. Es decir, tanto el contexto local como el contexto educativo son relevantes para el estudiante en su intención por emprender.

Tabla 4. Correlación entre Intención emprendedora y contextos

	IE	CL	CE
Intención Emprendedora (IE)	1		
Contexto Local (CL)	.533 **	1	
Contexto Educativo (CE)	.405 **	.415 **	1
	.000	.000	

** Correlación significativa con un alfa de 0.01

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de SPSS

Para conocer si existe dependencia entre las variables intención emprendedora y el contexto se realizó un análisis de tablas cruzadas. De acuerdo con los resultados que ilustra la tabla 5 y dado que el estadístico $\chi^2=31.957$ y la Asymp. Sig.= 0.000, se rechaza la hipótesis nula de independencia entre las variables. Es decir, existe una relación de dependencia entre la intención emprendedora y el contexto local, por lo que se puede inferir que la situación económica que impera hoy en día en el país, donde las opciones de empleo

bien remuneradas son escasas, provoca que estudiantes con aspiraciones distintas a ocupar una plaza de trabajo, los obligue a considerar otras opciones generando en ellos una fuerte intención por emprender.

Tabla 5. Prueba de Chi cuadrada intención emprendedora y contexto local

	Value	Df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	31.957 ^a	4	.000
Likelihood Ratio	32.087	4	.000
Linear-by-Linear Association	25.786	1	.000
N of Valid Cases	187		

a. 4 cells (44.4%) have expected count less than

5. The minimum expected count is .14.

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de SPSS

En lo que respecta a si existe dependencia entre la intención emprendedora y el contexto educativo se puede apreciar en la tabla 6 que, aunque en menor grado, si existe tal dependencia entre variables dado que los resultados indican que el estadístico $\chi^2=18.929$ y la Asymp. Sig.= 0.001, se rechaza la hipótesis nula de independencia entre las variables. Es decir, existe una relación de dependencia entre la intención emprendedora y el contexto educativo.

Tabla 6. Prueba de Chi cuadrada Intención emprendedora y contexto educativo

	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	18.929 ^a	4	.001
Likelihood Ratio	20.408	4	.000
Linear-by-Linear Association	14.459	1	.000
N of Valid Cases	185		

a. 3 cells (33.3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .18.

Fuente: Elaboración propia basada en resultados de SPSS

De acuerdo a lo anterior se puede inferir que esto puede darse debido a que algunos sujetos de la muestra han recibido clases de docentes que inhiben su intención por emprender y otros docentes han impulsado el espíritu emprendedor entre los estudiantes. Como se pudo apreciar anteriormente, se observó que entre mayor es el grado de avance académico de la muestra, se presenta una disminución de la intención por emprender, por lo que resulta sumamente importante identificar cuáles es el perfil que debe poseer un docente para impartir materias relacionadas con emprendimiento y así poder realizar una adecuada selección de docentes que impartirán dichas asignaturas de tal forma que se conviertan en mentores de futuros empresarios, asegurándose se cuenten con las competencias necesarias y que éstos sean impulsores y promotores de una cultura de emprendimiento que permee a todos los estudiantes de la Institución.

Discusión y conclusiones

La carrera que mayor intención de emprendimiento presentó fue Ingeniería en Gestión Empresarial de la cual se puede deducir que es debido a que en su programa de estudio se incluyen materias más apegadas al ámbito empresarial en comparación con las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electromecánica.

De igual manera, de acuerdo a los resultados, se pudo corroborar que a medida en que el estudiante avanza en su carrera profesional, su nivel de intención de emprendimiento se va disminuyendo lo cual se atribuye a la educación emprendedora. Con lo anterior se puede pensar que los estudiantes ingresan con la idea de crear una empresa, pero al comparar sus competencias con las de quienes desarrollan emprendimientos exitosos se dan cuenta que será demasiado complicado para ellos, siendo la educación emprendedora la que les permita descubrir su verdadera vocación e intereses, los cuales pueden ser o no, en la línea del emprendimiento (Soria, Zúñiga & Ruiz, 2016).

Por otra parte, se pudo observar que la ocupación de los padres de la muestra, distinguiendo entre padre y madre, no impacta en la intención de emprendimiento. En lo que respecta al entorno, los resultados reflejan que, tanto el contexto local como el contexto educativo son relevantes para el estudiante en su intención por emprender.

Para el caso de la dependencia que existe entre la intención emprendedora y el entorno local, se puede inferir que la situación económica que impera hoy en día en el país, donde las opciones de empleo bien remuneradas son escasas, provoca que estudiantes con aspiraciones distintas a ocupar una plaza de trabajo, los obligue a considerar otras opciones generando en ellos una fuerte intención por emprender. Esta situación conlleva la necesidad de replantear las opciones de carrera de los graduados, ya que existe una alta probabilidad de que al egresar consigan trabajo en relación de dependencia en actividades para las que se encuentran sobrecalificados o que no se vinculan con su formación profesional (Liseras, Gennero y Graña, 2003).

Como se pudo apreciar anteriormente, se observó que entre mayor es el grado de avance académico de la muestra, se presenta una disminución de la intención por emprender, por ello la enseñanza del emprendimiento debe ser producto de un proceso planeado, donde primero se defina un perfil docente, por medio de un plan de capacitación se prepare a los actuales docentes y para las futuras contrataciones se busque reclutar a profesionales que ya tengan dichas características y competencias (López, Moreno & Carrillo, 2017), de tal forma que se conviertan en mentores de futuros empresarios, asegurándose que cuenten con las competencias necesarias y que éstos sean impulsores y promotores de una cultura de emprendimiento que permee a todos los estudiantes de la Institución.

Finalmente, y como ya se ha indicado, en términos generales, la muestra refleja una baja intención de emprendimiento, similar a lo que sucede en estudiantes suecos, donde las intenciones de dichos estudiantes al egresar es convertirse en empleados para probablemente en un futuro fundar su empresa (Dust & Sedenca, 2016)

A partir de los resultados de los análisis estadísticos se puede concluir que la variable intención emprendedora tiene una relación de dependencia con la variable carrera en la cual están inscritos los estudiantes, específicamente para los casos de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electromecánica. En lo que respecta al semestre, se presenta un fenómeno interesante debido a que en el primer semestre la intención en emprendimiento es alta, pero a partir del segundo semestre presenta una tendencia negativa. De forma general, se concluye que los estudiantes tienen mínimas intenciones por emprender una empresa, la gran mayoría al finalizar sus estudios buscará una plaza de trabajo, es decir, la institución forma empleados.

De manera general se propone que el taller de emprendimiento que se imparte a estudiantes de primer semestre, tenga una continuidad y un seguimiento transversal, de tal suerte que tanto al inicio como en el trayecto y al final de la carrera, se oriente al estudiante a emprender, de desarrolle en él una visión para auto emplearse además de generar empleos que contribuyan con el crecimiento económico del país.

Crear una academia de emprendimiento multidisciplinaria que esté integrada por docentes que impartan materias en las diferentes carreras donde se discutan temas de actualidad sobre este constructo, al mismo tiempo que se construyen programas y cursos de capacitación para docentes con el fin de fortalecer la educación en emprendimiento desde un enfoque transversal, que genere proyectos integradores con visión de emprendimiento.

Realizar, durante el curso de inducción a estudiantes de nuevo ingreso, un diagnóstico sobre emprendimiento de tal manera que desde el inicio se logre identificar a los estudiantes con altas intenciones de emprender y reforzar sus capacidades y competencias a lo largo de su estancia en el Instituto, con el fin de mantener en ellos su espíritu emprendedor y de ser posible verlo materializado en la creación de una nueva empresa.

Crear una red de apoyo al talento emprendedor con asesores o consejeros de negocios, así como empresarios de la localidad con quienes los estudiantes puedan acercarse y recibir algún tipo de asesoría y mentoría para la apertura o mantenimiento de su empresa. Se sugiere como línea de investigación futura analizar el perfil del docente y poder generar una propuesta de tal manera que quien imparta las materias de emprendimiento sea un mentor generador de futuros empresarios. También se recomienda realizar un análisis sobre la pertinencia y efectividad del Taller de Emprendimiento que actualmente se imparte, así como del impacto en la intención por emprender, que éste ha generado en los estudiantes que han cursado dicho taller.

Referencias

- Alcaraz, R. (2011). *El emprendedor de éxito*. México: MacGraw Hill.
- Banco de México (2023). Portal del mercado cambiario. <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=sp>
- Casco Casco, J., & Barrera Mera, F. (2011). *Cómo crear 1.000.000 de nuevos emprendedores en tu país*. España: Emprendedorex.com.

- Correa Correa, Z., Delgado Hurtado, C. & Conde Cardona, Y. A. (2011). Formación en emprendimiento en estudiantes de la carrera de Administración de Empresas en la Universidad Pública de Popayan. *Revista EAN*, (71), 40-51.
- Durán-Aponte, E. & Arias-Gómez, D. (2015). Intención emprendedora en estudiantes universitarios: integración de factores cognitivos y socio-personales. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 6(2), 320-340.
- Durst, S. & Sedenka, J. (2016). Entrepreneurial Intentions and Behaviour of Students attending Swedish Universities. Global University Entrepreneurial Spirit Students' Survey 2016. National Report Sweden. Skövde: University of Skövde. https://www.guesssurvey.org/resources/nat_2016/GUESSS_Report_2016_Sweden-m.pdf
- Esfandiar, K., Sharifi-Tehrani, M., Pratt, S. & Altinay, L. (2019). Understanding entrepreneurial intentions: A developed integrated structural model approach. *Journal of Business Research*, Volume 94, 172-182. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.10.045>.
- Fini, R., Grimaldi, R., Marzocchi, G.L. y Sobrero, M. (2012). The determinants of corporate entrepreneurial intention within small and newly established firms. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 36(2), 387-414. doi: 10.1111/j.1540-6520.2010.00411.x
- Flores Novelo, A., Bojorquez Carrillo, A. L. & Canche Montiel, C. D. (2020). El impacto de la educación en la intención emprendedora: efecto del entorno universitario. *Revista Espacios*, 41(39), 250-260.
- Global Entrepreneurship Monitor (2023). Global Entrepreneurship Monitor 2022/2023 Global Report: Adapting to a "New Normal". London: GEM.
- Gómez Vallejo, M. P. & Satizábal Parrab, K. (2011). Educación en emprendimiento: fortalecimiento de competencias emprendedoras en la Pontificia Universidad Javeriana Cali. *Economía, Gestión y Desarrollo*, 11, 121-151.
- González, A. (2018). Así se despide el peso de 2018, un año teñido de volatilidad. <https://www.elfinanciero.com.mx/mercados/asi-se-despide-el-peso-de-2018-un-ano-tenido-de-volatilidad/>
- Herrera, P. (2014). Las escuelas deben formar empresarios. Presentado dentro del Foro de Consulta Nacional para la revisión del Modelo Educativo.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/>
- Karabulut, A. T. (2016). Personality Traits on Entrepreneurial Intention. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 229, 12-21, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.07.109>.

- Liñán, F., & Chen, Y. (2009). Development and Cross-Cultural Application of a Specific Instrument to Measure Entrepreneurial Intentions. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 33(3), 593-617. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2009.00318.x>
- Liseras, N., Gennero de Rearte, A. M. & Graña, F. M., (1-3 de octubre 2003). *Factores asociados a la vocación emprendedora en alumnos universitarios* [ponencia]. VIII Reunión Anual de la Red PyMEs-MERCOSUR, Rosario, Argentina. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1006/>
- López, V., Moreno, L., Carrillo, S. (2017). Enseñanza del emprendimiento en la educación superior (diseño de una escala, análisis factorial y confiabilidad) *Revista Universitaria de Administración Nova Rúa*. 8(14).
- Manolova, T.S., Brush, C.G., Edelman, L.F. y Shaver, K.G. (2012). One size does not fit all: Entrepreneurial expectancies and growth intentions of US women and men nascent entrepreneurs. *Entrepreneurship & Regional Development*, 24(1-2), 7-27.
- Meraz Ruiz, L. (2015). *Estrategias de competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas vinícolas de la ruta del vino del Valle de Guadalupe*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Miranda, F. J., Chamorro-Mera, A. & Rubio, S. (2017). Academic entrepreneurship in Spanish universities: An analysis of the determinants of entrepreneurial intention. *European Research on Management and Business Economics*, 23(2), 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2017.01.001>.
- Newman, A., Obschonka, M., Schwarz, S., Cohen, M., Nielsen, I. (2018). Entrepreneurial self-efficacy: A systematic review of the literature on its antecedents and outcomes, and an agenda for future research. *Journal of Vocational Behavior*, 110, 403-419. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2018.05.012>.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2012) A Guiding Framework for Entrepreneurial Universities.
- Ortiz Lazcano, D. A., & Rodríguez Esparza, L. J. (2022). Índice de Vulnerabilidad al Desempleo en México: efectos de la pandemia por covid-19. *Economía Sociedad Y Territorio*, 23(71), 309-338. <https://doi.org/10.22136/est20231862>
- Sánchez Castañeda, A. (2014). Los jóvenes frente al empleo y el desempleo: lanecesaria construcción de soluciones multidimensionales y multifactoriales. *Revista Latinoamericana de Derecho Social*, 19, 133-162. DOI: 10.1016/S1870-4670(14)70667-0
- Santos-Álvarez, V. & García-Merino, T. (2016). Motivación del empresario y atención informativa en la internacionalización: un análisis regional en el

- sector español de piedra natural. *European Research on Management and Business Economics*, 22(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.iedee.2014.12.002>.
- Shinnar, R. S., Giacomini, O., & Janssen, F. (2012). Entrepreneurial Perceptions and Intentions: The Role of Gender and Culture. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 36(3), 465-493.
- Soria Barreto, K., Zúñiga Jara, S. & Ruiz Campo, S. (2016). Educación e Intención Emprendedora en Estudiantes Universitarios: Un Caso de Estudio. *Formación Universitaria*, 9(1), 25-34. doi: 10.4067/S0718-50062016000100004
- TecNm (2017). Manual del facilitador del Modelo Talento Emprendedor del Tecnológico Nacional de México.
- Valencia Arias, A. (3-5 de agosto 2011). *Enseñanza del emprendimiento en las facultades de ingenierías* [ponencia]. Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development, Medellín, Colombia. https://laccei.org/LACCEI2011-Medellin/RefereedPapers/EE140_Valencia.pdf

*Estudios de ingeniería para contextos en transformación:
Análisis, innovación y mejora*

se terminó de imprimir en diciembre de 2023
en los talleres gráficos de Ediciones de la Noche.
#687, Zona Centro44100, Guadalajara, Jalisco, México.

www.edicionesdelanoche.com



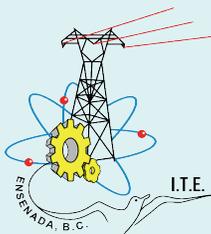
El texto que se presenta es una colección de estudios que analizan problemáticas organizacionales de procesos desde el enfoque de la ingeniería industrial, además se incorporan estudios sobre la formación de los ingenieros y su inserción laboral. Cabe señalar que la ingeniería ha sido y es la vía para el desarrollo, a través de la productividad. En tal sentido el libro describe estudios de caso en empresas industriales y de servicios, ilustra la aplicación de técnicas y metodologías a la realidad, por ello se constituye como una herramienta bibliográfica de apoyo para la docencia e investigación en particular de estudiantes de pregrado y posgrado.

Particularmente, México necesita impulsar la investigación aplicada en las empresas, reconocer el aporte de la ingeniería para encontrar solución a problemas que frenan el desempeño competitivo, la ingeniería provee el razonamiento holístico, la creatividad e innovación, al analizar la realidad para transformarla, para diseñar espacios de trabajo ergonómicos y productivos. La ingeniería identifica las causas y encuentra cómo atacarlas, el reto de las ciencias de la ingeniería es contribuir para que las empresas generen soluciones eficientes e innovadoras.

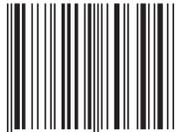
Este libro sirve como un recurso esencial para estudiantes, académicos y profesionales interesados en las ciencias de la ingeniería y su impacto en el panorama científico mexicano. A través de un análisis profundo y reflexivo, se promueve una comprensión más completa de cómo estas disciplinas han sido un motor de cambio y desarrollo en México y cómo desempeñará un papel central en la creación de un futuro más próspero y sostenible.



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



ISBN 978-84-19803-94-8



9 788419 803948