EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

ISSN 3122-4806

REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA
SEMESTRE ENERO -JULIO 2025

Volumen 2 - No. 1 - 2025

http://orizaba.tecnm.mx/revistaojs

CINTILLO LEGAL

REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA, volumen 2 - número 1 - 2025, enero – julio 2025, es una publicación semestral editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo

d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9 no. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320. Orizaba, Veracruz, México. Contacto: 272 110 5360, riim.responsable.general@ito-depi.edu.mx, http://orizaba.tecnm.mx/revistaojs. Editor Responsable: Eduardo Mael Sánchez Coronado. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2023-091910590800-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor; ISSN 3122-4806 ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, División de Estudios de Posgrado, Ofelia Landeta Escamilla, Avenida Oriente 9 no. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320. Orizaba, Veracruz, México. Fecha de la última modificación: 10 de agosto de 2024.

Queda prohibida la reproducción total o parcial en cualquier medio, del contenido de la presente revista electrónica, sin contar con la autorización del Instituto Tecnológico de Orizaba.

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Ofelia Landeta Escamilla **Responsable General**	**riim.responsable.general@ito-depi.edu.mx**
Dr. Fernando Ortiz Flores **Responsable Técnico**	**riim_soporte@orizaba.tecnm.mx**
Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado **Editor en jefe**	**riim.editor@ito-depi.edu.mx**
Dra. Araceli Ortiz Celiseo **Responsable de Ing. Química**	**riim.quimica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Víctor Ricardo Castillo Intriago **Responsable de Ing. Administrativa**	**riim.administrativa@ito-depi.edu.mx**
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez **Responsable de Ing. Industrial**	**riim.industrial@ito-depi.edu.mx**
Dr. José Luis Sánchez Cervantes **Responsable de Sistemas Computacionales**	**riim.sistemas@ito-depi.edu.mx**
Dra. María G. Balderrábano Saucedo **Responsable de Investigación Educativa**	**riim.educativa@ito-depi.edu.mx**
Dr. Ignacio Herrera Aguilar **Responsable de Ing. Mecánica y Mecatrónica**	**riim.mecatronica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Gerardo Águila Rodríguez **Responsable de Ing. Eléctrica y Electrónica**	**riim.electronica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Miguel Josué Heredia Roldán **Responsable de Logística**	**riim.logistica@ito-depi.edu.mx**
Dr. Mauricio Romero Montoya **Responsable de Logística Técnica**	**riim.logistica.tecnica@ito-depi.edu.mx**
MC. Enrique Alejandro Cuellar Cortes **Webmaster**	**riim.webmaster@ito-depi.edu.mx**
Dr. Guillermo Alfredo Arrioja Carrera **Diseño editorial**	**riim.diseno@ito-depi.edu.mx**

ÍNDICE

1 **Transferencia de calor por el uso de insertos en un Serpentín de intercambiador de calor agua-aire** 5-14
Flores-Lara, Vicente, Bedolla-Hernández, Jorge, Sánchez-Flores, Efrén, Bedolla-Hernández, Marcos.

2 **Estudio de la atención al cliente en los restaurantes de la zona de Zacapoaxtla, Puebla** 15-24
Mejía-Méndez Guillermo, Lara- De La Calleja, Marco Antonio, Gutiérrez-Luna Sonia, Marín-López Juan Fernando.

3 **Aplicación de IAG en la docencia e investigación en Ingeniería** 25-34
Medina Aguirre, Julio César, Rodríguez Loo, Roxana Michelle, Ibañez Acevedo, Yidanes Alejandra, Castillón Barraza, Acela, Quiñonez Moreno, Thalia.

4 **Implementación del ciclo Deming en el área de producción de Antígenos de una empresa productora de vacunas** 35-46
Valdés-Álvarez Alejandra C., Calderón-Jiménez Antonio, Méndez-Rivera Caín, Hernández- Sánchez Luis A., González-González Eric.

5 **Reducción de tiempos de preparación en maquinaria de Cajaplax S. A. Con la metodología SMED** 47-58
L. A. Hernández Sánchez; A. Calderón Jiménez,A. C.; Valdés Álvarez C. Méndez; Rivera E. González González.

6 **Optimización de almacenes con media ponderada y técnicas de localización discreta** 59-68
Calderón Jiménez Antonio; Hernández Sánchez Luis A.; Méndez Rivera Caín; Valdés Álvarez Alejandra C.; González González Eric.

7 **Sistema para la trazabilidad y control de compras en una empresa textil** 69-78
Lara Martínez José Jair; Báez Sentíes Oscar; Gurruchaga Rodríguez Ma. Eloísa; Heredia Roldán Miguel Josué.

8 **Proceso tecnológico para elaboración de plantas Ornamentales en Atlixco, Puebla** 79-85
L. Martínez Zacatenco; F. Olvera Torres.

9 **Análisis de reducción de costos por consumo Energético de un sistema de ventilación de obra Subterránea** 86-93
Baltazar-Vera, Juan Carlos, Patlán-Valdez, Jesús Enrique, Rodríguez-Rodríguez, Carolina De Jésus, Ontiveros-Ibarra, Roberto, Valtierra-Olivares, Joel Everardo.

10 **Comparativa de tecnologías de captura de huellas de edificios para el análisis de la movilidad humana en contextos urbanos** 94-103
Erick Cervantes–Mendieta; M. Estévez Dorantes Thelma Leonor; Panzi Utrera Manuel; Vázquez Trujillo Cesar Roberto; Venegas García José Alberto; Colohua Castillo Cutberto.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR EL USO DE INSERTOS EN UN SERPENTÍN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA-AIRE

Flores-Lara, Vicente, Bedolla-Hernández, Jorge, Sánchez-Flores, Efrén, Bedolla-Hernández, Marcos*
[1]Tecnologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco, Carretera Apizaco-Tzompantepec. Esq. Con Av. Instituto Tecnológico S/N, conurbado Apizaco Tzompantepec, CP 90300, Tlaxcala, México.
**Autor contacto: f117u2@yahoo.com*

Área de participación: **Ingeniería Mecánica y mecatrónica**

Resumen

Se presenta el estudio teórico experimental de el efecto de adherir insertos en la superficie interna de un serpentín de intercambiador de calor, el serpentín es asimétrico colocado en el interior de un depósito de agua caliente, los insertos son placas metálicas rectangulares colocados de forma alternada. A partir de datos experimentales se obtiene el factor de fricción al mismo tiempo que se generan correlaciones empíricas del factor de fricción basado en la relación de rugosidad (e/D) y de paso (h/D) para obtener la longitud de los insertos y la separación entre ellos, que arroje la máxima capacidad de transferecia de calor. Se obtiene Nusselt máximo con las correlaciones empíricas y se compara con valores reales del serpentín, así como, considerando que el serpentín es liso, los valores promedio son, $\mathbf{Nu}_i$=659, $\mathbf{Nu}_r$=149 y $\mathbf{Nu}_l$=69.5, respectivamente. Lo cual verifica que el uso de insertos es significativo en la transferencia de calor.

Palabras clave: insertos*, fricción, transferencia, calor*

Abstract

The experimental theoretical study of the effect of adhering inserts to the internal surface of a heat exchanger coil have presented. The coil is asymmetrical placed inside a hot water tank, the inserts are rectangular metal plates placed alternately. From experimental data, the friction factor have obtained at the same time that empirical correlations of the friction factor are generated based on the roughness ratio (e/D) and pitch (h/D) to obtain the length of the inserts and the separation between them, which provides the maximum heat transfer capacity. Maximum Nusselt is obtained with the empirical correlations and compared with real values of the coil, as well as, considering that the coil is smooth, the average values are, Nu_i=659, Nu_r=149 and Nu_l=69.5, respectively. Which verifies that the use of inserts is significant in heat transfer.

Key words: *inserts, friction, transfer, heat*

Introducción

En el área de la transferencia de calor las propiedades físicas del fluido empleado, así como, la geometría del conducto y su configuración con el fluido son aspectos que deben considerarse en el momento de evaluar el desempeño de equipos de transferencia de calor, en esa evaluación la eficiencia energética es un parámetro a determinar. En este sentido se han propuesto técnicas pasivas como lo son, las obstrucciones a través de nervaduras, insertos e incluso la modificación de la rugosidad de forma artificial, que aumentan el factor de fricción mejorando la transferencia de calor en elementos de equipos de transferencia de calor, estas técnicas en el sector industrial han tenido gran aceptación por el ahorro tanto energético, como económico, sin embargo, atención especial debe tenerse al aumentar el factor de fricción, ya que al mismo tiempo se aumenta la caída de presión, lo cual demanda mayor energía en los equipos que accionan el fluido [1] [2] [3].

En este contexto, un caso referente por el amplio rango de valores de los parámetros significativos en el que se realizó el estudio, se presenta en [4], aquí se evaluó el factor de fricción y transferencia de calor en un flujo turbulento en un conducto rectangular con paredes nervadas, dónde experimentaron con 3 geometrías diferentes, semicircular, rectangular y una hibridación entre ambas, durante sus experimentos mantuvieron el número de Reynolds 12500 hasta 86500 y una relación del paso y altura de la nervadura 6.6 hasta 53.3, los autores encontraron que con la hibridación de las nervaduras obtienen valores más altos de eficiencia en comparación con los otros 2 casos, para determinar el factor de fricción, se determina relacionado el número de Reynolds y relación entre el paso y la altura de nervadura (p/e).

Un caso de estudio, donde se pone en consideración la mejora en la transferencia de calor sin un aumento significativo en la caída de presión, es el trabajo experimental en donde se colocan longitudinal, insertos en forma de cinta retorcida con orificios en el interior de un serpentín, unos de los parámetros a analizar es la variación del diámetro del orificio en la cinta [5], con lo cual, se tiene control en la caída de presión y es significativo el aumento de la transferencia de calor. Otro caso, es el estudio numérico del comportamiento termohidráulico de tuberías con insertos cónicos, en el que se obtiene un aumento en el factor de fricción cercano a 10 veces mayor y hasta 5 veces mayor en el número de Nusselt, comparado con tuberías lisas [6].

En [7] se estudia la transferencia de calor para nervaduras helicoidales en tubos circulares en función del factor de fricción, para tres valores de altura de nervadura y tres valores de paso de nervadura. Los autores estudian nervaduras rectangulares en tuberías, representando la transferencia de calor mediante el número de Stanton en función del factor de fricción para diferentes relaciones altura diámetro y paso diámetro, también se estudia el efecto que se tiene en la transferencia de calor el ángulo de ataque, del flujo de aire a la nervadura.

El uso de obstrucciones de flujo, como nervaduras o insertos han tenido aplicación en sistemas solares para calentamiento de aire, en donde derivado de la aplicación del equipo, su geometría difiere de ser circular o cuadrada, siendo la relación de aspecto, la geometría, dimensiones y configuración, consideraciones que en conjunto deben considerarse para la evaluación térmica de estos dispositivos. En [8] se estudian nervaduras en arco con diferente configuración, en un rango de número de Reynolds de 2000 a 16000. Con ello se obtuvieron números de Nusselt 3 veces mayor comparado con una superficie sin obstrucción.Otro caso de estudio en el que se consideran nervaduras para evaluar el desempeño de calentadores solares de aire, se presenta en [9]. Aquí se estudia una geometría de nervadura en V, con variación en el ángulo de ataque con el que incide el flujo, y diferentes relaciones en el tamaño y separación de nervadura, con respecto al diámetro hidráulico, así como, para un rango de numero de Reynolds entre 4000 y 18000. Se obtiene que el

número de Nusselt y el factor de fricción aumentan 3.6 y 3.67 veces respectivamente comparado a cuando el conducto se opera sin nervaduras.

Con base en lo anterior, es evidente que el uso de insertos como medios pasivos mejoran en gran medida la transferencia de calor, siendo de relevancia su aplicación para el aumento del desempeño en equipos de transferencia de calor, sin embargo, por la complicación técnica de adherir elementos en la superficie interna de conductos, esta tecnica en su mayoria se ha hecho en equipos de dimensiones industriales, dejando al lado la aplicación en el manejo de energía de baja escala, principalmente en espacios reducidos o en el diseño de equipos compactos.

Fundamento teórico

En la transferencia de calor que involucra flujo de fluidos es representativa la magnitud del factor de fricción, que involucra desde características geométricas del conducto, hasta condiciones físicas del fluido.

$$f = \frac{\Delta P}{4\left(L/D_h\right)\left(G^2/2\rho g\right)} \quad (1)$$

G = ρV

Para determinar el factor de fricción para tubería lisa existen diferentes propuestas de ecuaciones, sin embargo, la más utilizada es la de Petukhov, expresada en función del número de Reynolds

$$fs = (0.79\, lnRe - 1.64)^{-2} \qquad 3000 \leq Re \leq 106 \quad (3)$$

En el caso del número de Nusselt se proponen la correlación de Gnieliski y de Dittus-Boelter cuando el fluido es calentado, ambas, ampliamente usadas ecuación 4 y ecuación 5, respectivamente.

$$Nu_s = \frac{(fs/8)(Re-1000)\, Pr}{1.07+12.7(fs/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (4)$$

$$Nu_s = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (5)$$

Sistema experimental

Se construyó un serpentín asimétrico de 5 pasos con distribución en cruz, figura 1, con el propósito de tener la mejor distribución geométrica dentro de un recipiente cilíndrico. El serpentín está construido de lámina de acero, calibre 20, con diámetro de 0.0594 m y longitud de 5.3 m, en su interior se soldaron insertos rectangulares para provocar turbulencia en el flujo. Los insertos son de lámina galvanizada calibre 20, de 0.003 m de longitud, 0.0025 m de ancho y 0.0012 m de espesor,

dispuestos transversales al flujo de forma alternada, uno en la superficie inferior, otro en la superficie superior, con distancia de separación entre uno y otro de 0.15 m. El recipiente cilíndrico es de acero galvanizado aislado térmicamente, con una capacidad de 0.188 m^3 de almacenamiento de agua caliente. Las pruebas inician con el depósito lleno de agua caliente ~80°C, en la entrada del serpentín se dispone de un ventilador axial que induce al flujo de aire a través del serpentín. El aire se hace fluir a través del serpentín mediante un ventilador de velocidad variable con temperatura de entrada igual a la del ambiente, registrándose presión P1 y temperatura T1, en la salida se registra la presión P2, temperatura T2 y velocidad Ub del fluido. La temperatura del agua caliente se monitorea en T4 y T5, la temperatura de la pared del serpentín en el interior del depósito también se registra T3. El rango de velocidad corresponde a valores de Reynolds $10133 \leq Re \leq 66116$, propios para satisfacer demandas de energía térmica en procesos de deshidratación.

Las pruebas se realizaron durante 10 horas continuas con registros cada 20 minutos, cada prueba corresponde a un flujo másico y corresponde a una diferencia de presión. Los instrumentos se describen en la tabla 1. En la figura 1 se indica la posición de los instrumentos de medición. En la tabla 2, se presentan los datos de las pruebas realizadas.

Tabla 1. Instrumentos de medición

Cantidad física	**Instrumento**	**Punto de medición**	**Precisión**
Velocidad del aire	Anemómetro SLD 300	Entrada y salida del serpentín	∓(2% rdg + 0.2 m/s)
Temperatura	Termómetro SLD 200 Termopares tipo J	Entrada y salida del serpentín. En el agua caliente del termotanque	∓(0.4% + 1 °C)
Presión del fluido	Manómetro diferencial con tubo de pitot HD 350	Entrada y salida del serpentín	±0.3% escala total. (escala total) a 25 °C

p1: presión del aire en la entrada
p2: presión del aire en la salida
T1: temperatura del aire en la entrada
T2: temperatura del aire en la salida
T3: temperatura de la pared del serpentín
T4,T5: temperaturas del agua en el depósito
Ub : velocidad de flujo de aire

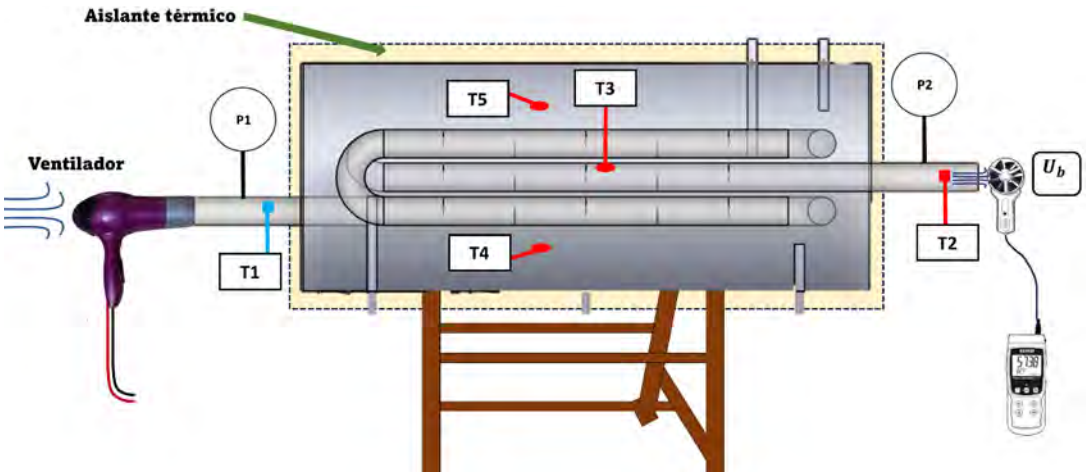


Figura 1. Sistema experimental

Tabla 2. Datos de flujo másico y la diferencia de presión entre entrada y salida del serpentin

No. Prueba	$\dot{m}$ (kg/s)	ΔP (Pa)
1	0.008978	34
2	0.01035	45
3	0.01218	59
4	0.01331	72
5	0.01423	81
6	0.01502	88
7	0.02083	164
8	0.02119	171
9	0.0277	309
10	0.0343711	704
11	0.04961478	1455
12	0.05518147	1782

Resultados y discusión

La caída de presión en función de la velocidad es el resultado de las pruebas experimentales, graficado en la figura 1. Tomando la ecuación de Darcy, ec. (1) y dimensiones de la tubería, se genera el factor de fricción que corresponde al rango de Reynolds 10133≤Re≤30824, figura 2. La diferencia de presiones depende del tamaño del inserto, de la configuración entre insertos y de las dimensiones de la tubería, por lo que, tomando como referencia los valores del factor de fricción obtenidos de forma experimental, pueden derivarse correlaciones como las indicadas en ec. 6 y ec. 7 que determinan el factor de fricción de forma empírica, se grafica en la figura 2, comparándose con la gráfica experimental a modo de validación, siendo el máximo error porcentual entre las dos graficas del 7.8%.

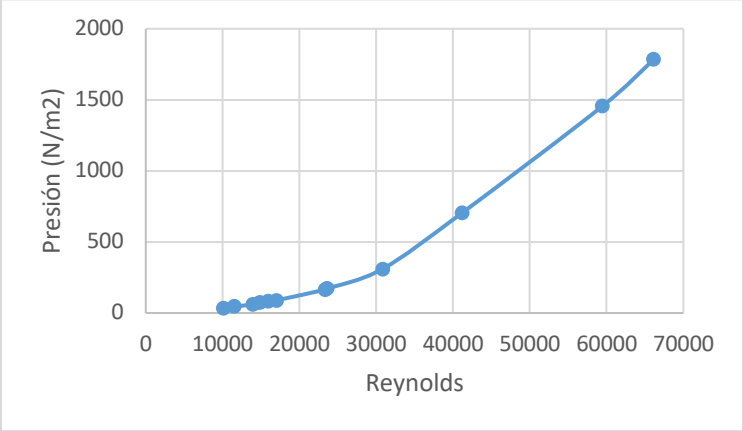


Figura 2. Caída de presión a través del serpentín

$$f_e = \left(\frac{h}{D_i}\right)^{1.57} \cdot \left(\frac{P}{D_i}\right)^{-1.25} \cdot Re^{-0.176} \qquad 10133 < Re < 30824 \qquad (6)$$

$$f_e = \left(\frac{h}{D_i}\right)^{1.4765} \cdot \left(\frac{P}{D_i}\right)^{-1.1565} \cdot Re^{-0.0825} \qquad 41182 < Re < 66116 \qquad (7)$$

Donde;

f_e : Factor de fricción
h : Altura del inserto (m)
P : Paso entre insertos (m)
D_i : Diámetro interno del serpentín (m)
Re : No. de Reynolds

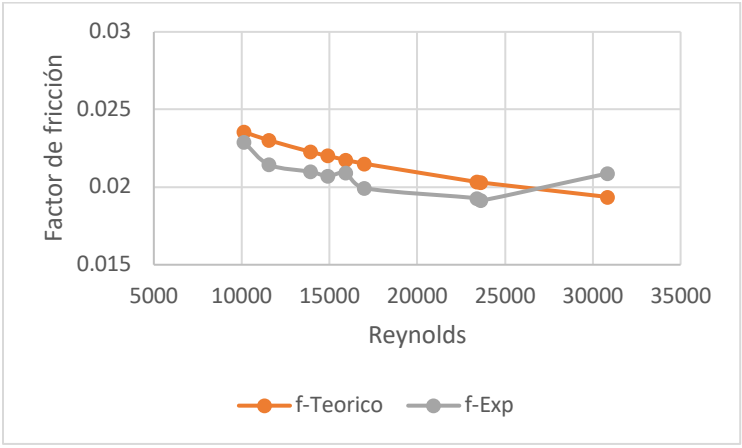


Figura 3. Factor de fricción experimental y empírico

Se validan una vez más los resultados de las correlaciones del factor de fricción a partir de obtener el número de Nusselt de datos experimentales y empíricos como representación de la capacidad de transferencia de calor, ambos se grafican en la figura 3 para analizar la discrepancia entre un caso y el otro, siendo la mayor de 8.4%

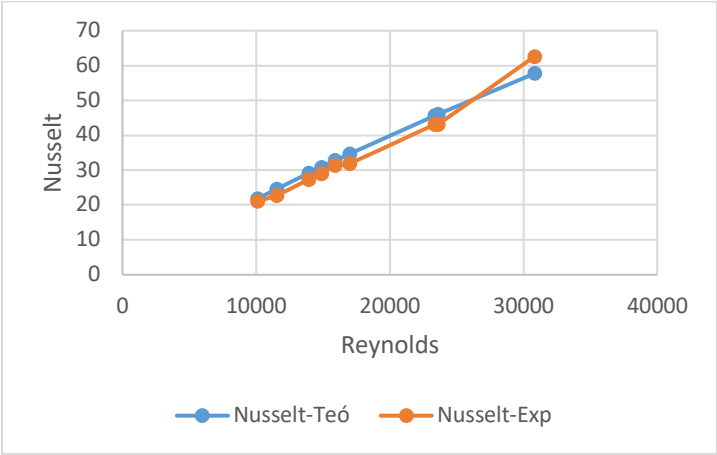


Figura 4. Nusselt empírico vs experimental.

Hecha la validación de la correlación del factor de fricción y número de Nusselt, se busca la mejor relación e/D y p/D con base en el mayor Nusselt resultante, para lo cual se toma un rango del número de Reynolds entre 11712 y 36500. Para asignar los valores a las relaciones e/D y p/D, se tomaron dos valores inferiores y dos superiores a las relaciones originales. La figura 3 y la figura 4 muestran que con las relaciones e/D =0.75 y p/D =0.7 se obtiene el mejor valor de Nusselt que correspondería a las mejores dimensiones y configuración de los insertos.

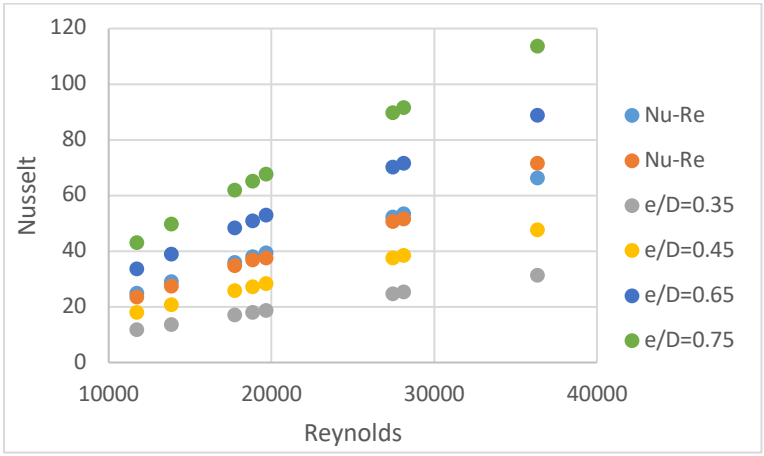


Figura 4. Nusselt vs Reynolds en función de la relación e/D

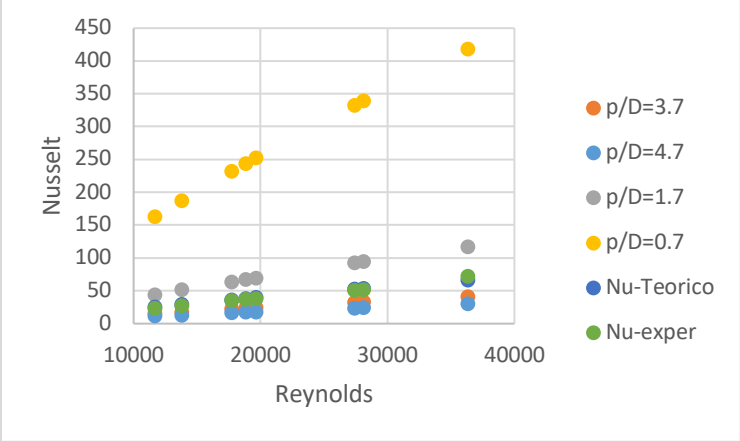


Figura 5. Nusselt vs Reynolds, en función de la relación p/D

Combinando los mejores resultados de la relación e/D y p/D, se obtienen los valores de Nusselt y se compara con los valores de Nusselt obtenidos a partir de información experimental, figura 7, para un rango de Reynolds, 11712<Re<36500

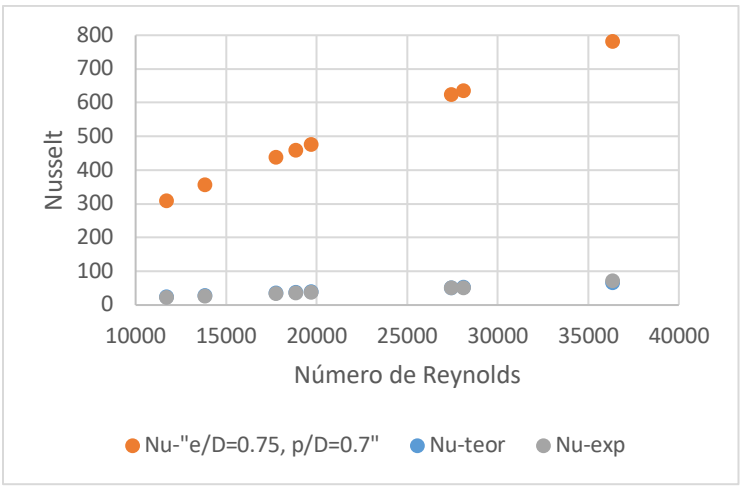


Figura 6. Numero de Nusselt ideal

A continuación, se extiende el rango del flujo másico, quedando en un Reynolds 11712≤Re≤66116 que corresponde al rango de Reynolds que se trabajó de forma experimental y con base en la mejor relación altura/diámetro y la mejor relación, paso/diámetro, se determina el factor de fricción, figura 7, el cual, generaría el máximo número de Nusselt. En cuanto a la transferencia de calor en función del factor de fricción, los resultados muestran a través de los valores de Nusselt, figura 8, que podría

aumentarse la capacidad de transferencia de calor hasta en 6.6 veces; sin embargo, se estaría aumentando la fricción del fluido hasta en 7.5 veces promedio y con ello mayor demanda de energía en el elemento mecánico para provocar el flujo forzado.

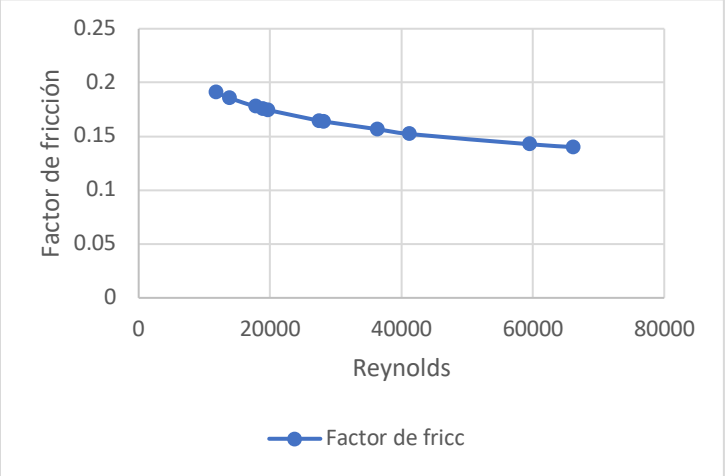


Figura 7. Factor de fricción para la mejor relación e/D= 0.75 y p/D=0.7

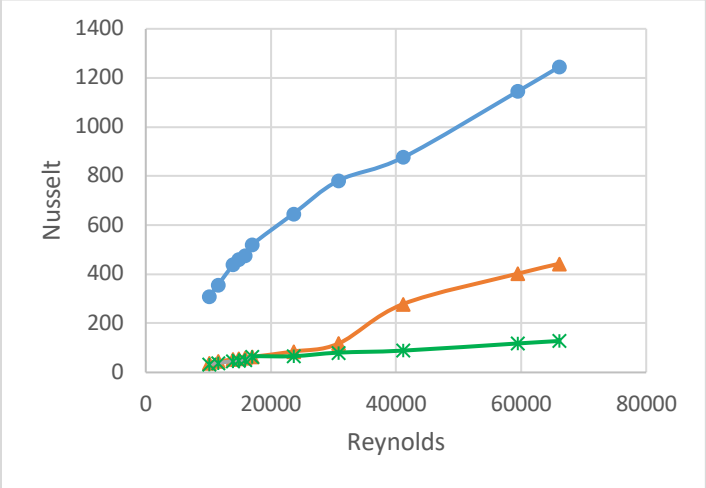


Figura 8. Número de Nusselt

Trabajo a futuro

Construir y experimentar el serpentín con las dimensiones de insertos que resulte en la máxima transferencia de calor, como lo sugieren las correlaciones empíricas. Ajustar las correlaciones del factor de fricción que permitan reducir la diferencia con respecto a los resultados experimentales.

Conclusiones

En este trabajo se condujo que a través del valor del número de Nusselt se analizará el efecto que tiene el factor de fricción en la transferencia de calor, para lo cual, se construyó un serpentín asimétrico con insertos rectangulares en su interior, se evaluó de forma experimental para diferentes valores de Reynolds, obteniéndose las caídas de presión y a partir de ello, el factor de fricción experimental, se generaron correlaciones empíricas del factor de fricción, las cuales se validaron con el factor de fricción y número de Nusselt experimentales. Una vez validadas las correlaciones, se buscó las dimensiones y configuración de los insertos, que permitieran la mayor transferencia de calor en función del factor de fricción haciendo variar las relaciones altura de inserto/diámetro (h/D) y separación entre insertos/diámetro (p/D), lo cual resultó, en h/D = 0.75, y p/D = 0.7. Las relaciones anteriores condujeron a valores de Nusselt máximos de 1200. Cuatro veces mayor a cuando el serpentín es de superficie lisa. Finalmente, el uso de insertos es una técnica que en este trabajo se demostró de forma experimental y teórica para aumentar la capacidad de transferencia de calor. Así también, se demostró que existen relaciones h/D y p/D con las que mejor desempeño térmico se trabaja el sistema.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento al proyecto 19421.24-P, del cual se deriva el presente trabajo.

Referencias

[1] M. H. Ahmed, "Investigation of the Heat Transfer and Pressure Drop in Tubes with Transverse Ribs of Zigzag Configurations" vol. 12, pp.5734-5748, 2022.

[2] M. Gorzin, A. A. Ranjbar, M. J. Hosseini, "Experimental study on serpentine minichannel heat sink: Effect of rib existence and distance" vol. 173, 2022

[3] S. S. M. Ajarostaghi, M. Zaboli, H. Javadi, B. Badenes and J. F. Urchueguia, "A Review of Recent Passive Heat Transfer Enhancement Methods", vol. 15, pp. 986-1046, 2022.

[4] S. Alfarawi, S. A. Abdel Moneim and A. Bodalal, "Experimental investigations of heat transferenhancement from rectangular duct roughened by hybrid ribs" International Journal of Thermal Sciences, vol. 118, pp. 123-138, 2017.

[5] S. K. Singh and A. Kumar "Experimental study of heat transfer and friction factor in a double pipe heat exchanger using twisted tape with dimple inserts" Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, pp. 1-30, 2021, DOI: 10.1080/15567036.2021.1927248

[6] M. Arulprakasajothi, U. Chandrasekhar, K. Elangovan, and D. Yuvarajan, "Influence of conical strip inserts in heat transfer enhancement under transition flow" https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1472651, International Journal of Ambient Energy, vol 41, No. 5, 2020

[7] S. Kügele, G. O. Mathlouthi, P. Renze, and T. Grützner, "Numerical Simulation of Flow and Heat Transfer of a Discontinuous Single Started Helically Ribbed Pipe", vol. 15, pp. 7096-70113, 2022

[8] V.S. Hans, R.S. Gill, S. Singh, "Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with broken arc ribs", Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 80, pp 77-89, 2017.

[9] R. Maithani, J.S. Saini, "Heat transfer and friction factor correlations for a solar air heater duct roughened artificially with V-ribs with symmetrical gaps". Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 70, pp. 220–227, 2016.

ESTUDIO DE LA ATENCIÓN AL CLIENTE EN LOS RESTAURANTES DE LA ZONA DE ZACAPOAXTLA, PUEBLA

Mejía-Méndez Guillermo[1], *Lara- De la Calleja, Marco Antonio*[1]*, *Gutiérrez-Luna Sonia*[1], *Marín-López Juan Fernando*[1]

[1]*Tecnológico Nacional de México, CampusZacapoaxtla, mejíatec2017@gmail.com*

Área de participación: ***Ingeniería Administrativa***

Resumen

Las empresas restauranteras deben de cuidar la calidad, higiene, salud y sazón de sus alimentos, además de utilizar la creatividad y habilidad para crear momentos agradables en los comensales. A diferencia de los restaurantes en los centros urbanos donde el mercado es amplio y los clientes acuden regularmente, en las zonas rurales
o aquellos ubicados en corredores turísticos dependen en gran medida de la afluencia de los turistas, por lo que la competencia se incrementa para ganarse la confianza y lealtad de los clientes.El propósito de la investigación es analizar la atención al cliente como factor fundamental para ganarse su confianza y preferencia, mediante un estudio a través de guía de observación, y el diamante de Porter, realizado en los restaurantes de mayor tamaño e importancia en la región de Zacapoaxtla Puebla. Obteniéndose que aquellos que mejoran sus criterios de atención son lo que gozan de una clientela con mayor lealtad y reconocimiento en la zona.

Palabras clave: *Higiene, Cocina, Calidad, Satisfacción*

A Restaurant companies must take care of the quality, hygiene, health and seasoning of their food, in addition to using creativity and skill to create pleasant moments for diners. Unlike restaurants in urban centers where the market is large and customers come regularly, in rural areas or those located in tourist corridors they depend largely on the influx of tourists, so competition increases to win customer trust and loyalty. The purpose of the research is to analyze customer service as a fundamental factor to gain their trust and preference, through a study through an observation guide, and Porter's diamond, carried out in the largest and most important restaurants in the region of Zacapoaxtla Puebla. Obtaining that those who improve their service criteria are those who enjoy a clientele with greater loyalty and recognition in the area.bstract

Key words: *Hygiene, Kitchen, Quality, Satisfaction*

Introducción

Las Micro, pequeñas empresas presentan diversos problemas para continuar creciendo y mantenerse en el mercado. La competencia obliga a los agentes económicos a mejorar y a eficientizar sus procesos para lograr la competitividad. Aunque el proceso de atención al cliente es un proceso normal en la mediana y grande empresa, en las micros y pequeñas no se le da la importancia por la falta de conocimiento y por no contar con los recursos humanos y financieros para realizarlo. La atención al cliente afecta a la demanda que tienen los consumidores de sus productos, e impacta en la disminución de las ventas.

La calidad de servicio es considerada de carácter subjetiva, por la intangibilidad [1], lo abstracto y lo multidimensional de sus características. Por esta razón la medición de dicha calidad se obtiene como resultado de la satisfacción de necesidades, expectativas y deseos del cliente. Sin embargo, tiene implicaciones en los gustos y preferencias del cliente, las empresas deben asimilar por tanto como una estrategia la atención al cliente para enfrentar a la competencia, porque va más allá de los rivales establecidos en el sector, pues incluye a los clientes, proveedores, posibles competidores, y los nuevos productos sustitutos [2] y de ellos el más importante es el cliente.

Una definición dinámica que nos muestra a un cliente y empresa interactuando [3] señala que la atención al cliente es aquella actividad que relaciona la empresa con el cliente, a fin de que éste quede satisfecho con dicha actividad. Esto nos permite garantizar que el producto o servicio llegue a su público objetivo, que será usado de la forma correcta y que genere la satisfacción del cliente. Es decir, la información del producto o servicio al cliente son premisas para su satisfacción, y en ese sentido está comprobado que más del 20% de las personas que dejan de comprar un producto o servicio, toman está decisión debido a fallas de información o de atención por parte de las personas encargadas de atender y motivar a los compradores [4]. La mejor promoción de la empresa es un cliente satisfecho, ya que este puede a atraer a más clientes o en su defecto ahuyentarlos. Por ello, las empresas deben enfocarse a impulsar sus esfuerzos en la mejora de la calidad de servicio prestado a sus clientes mediante la transferencia de conocimiento, y la experiencia de los procesos de calidad y las prácticas para implantarlos [5].

En el caso de los restaurantes el cliente o comensal, no sólo evalúa los alimentos sino también el servicio y el confort, esto representa una mayor exigencia a una empresa que sólo oferta un producto o servicio. La entrega del bien al cliente está compuesta tanto por elementos tangibles, como es la preparación de los alimentos y bebidas, así como de elementos intangibles, como la atención y el servicio [6]. Los restaurantes como actividad de servicio están continuamente evaluados por el cliente, por lo que estos deben de trabajar en función de la calidad en el servicio paralelamente la eficiencia del personal y la eficiencia del servicio para generar satisfacción a los consumidores [7]. En ese sentido las empresas buscan resaltar la importancia del servicio prestado y más concretamente, a considerar la evaluación de la calidad de servicio como fuente de valor, en un cliente cada vez más exigente que busca producto o servicios que pueden satisfacer sus necesidades, ofreciéndoles mejores resultados [8]. En ese sentido los restaurantes de la zona despenden más de los visitantes al ser una región con atracción turística, pero la baja afluencia de visitantes derivado del bajo desarrollo de los servicios relacionados al turismo,

Metodología

Se utilizó el método descriptivo de observación cualitativa y cuantitativa en el estudio de 6 de los principales restaurantes de la región de Zacapoaxtla. Para ello se elaboró una guía de observación para calificar la atención al cliente en dichos centros. Para el estudio de las expectativas y opinión de los clientes, se encuestó a una muestra del segmento de mercado de clase media, en específico a los maestros de la región, que es el que acude de forma regular a estos centros. La muestra se determinó de la siguiente manera:

Sabiendo que se cuenta con una población finita de la cual se desconoce la desviación estándar, se utiliza la fórmula de proporciones para determinar la muestra a evaluar.

N=Npq/((N-1) (D)^2+pq)

Dónde:

N=Población total

p=Proporción estimada de éxitos

q= Proporción estimada de fracasos (1-p)

D=Margen de error (Determinado por el nivel de confianza y el nivel de precisión)

De acuerdo con una síntesis estadística municipal había una total de 2,000 docentes en el año 2023 de los distintos niveles educativos que hay en la región de Zacapoaxtla desde la educación básica hasta la educación superior.

Desarrollo de la formula

N: 2,000 docentes hay en el municipio de Zacapoaxtla según la Estadística Educativa de Puebla 2024.

P= Probabilidad a favor del 50%

Q= Probabilidad en contra 50%

D=Margen de error calculado con z=1.65 al tener un nivel de confianza de 90% y B=0.06 al tener un nivel de precisión del 90% de la desviación típica.

N=((2,000)(O.5)(0.5))/((2,000-1)x(0.06/1.64)^2+(0.5)(0.5)) = 66 docentes

Para el caso de determinar la competitividad de dichos centros se utilizó el diamante de Porter.

El diamante de Porter se utiliza para hacer un comparativo de los resultados que se obtienen al aplicar la guía de observación y las encuestas a la población muestra.

Es un modelo universal el cual se utiliza para realizar un análisis de competitividad de manera industrial y no de forma individual la cual se pude dar a nivel geográfico
o temporal.

Los atributos que se van utilizar en la investigación van hacer los siguientes, ya que son los puntos que más se adaptan en el presente estudio.

Condiciones de los factores

Es importante mencionar estos para analizar el comportamiento de la atención al cliente con este atributo porque se enfoca en los: Recursos humanos, físicos, conocimiento, capital e infraestructura.

Condiciones de la demanda

Este determinante se enfoca principal en la demanda del servicio interior del producto

- el servicio del sector, porque mediante estas se puede determinar la ventaja competitiva que se tiene del competidor del sector restaurantero. Porque se basa principalmente en la ventaja competitiva que se produce mediante la combinación y necesidades que tiene el consumidor local.

Industrias relacionadas y de apoyo

Este sirve como ventaja nacional porque lo mantiene en contacto con los proveedores de la nación, para conformar un clúster esto se da por la relación que existe en las mismas industrias y que las empresas nacionales se benefician cuando sus proveedores son competidores globales.

Estrategia, estructura y rivalidad de la empresa

Esta es muy usada cuando las circunstancias nacionales afectan mucho a la forma en que las empresas van a gestionarse y a competir, aunque no hay una nación donde haya una uniformidad entre todas las empresas.

Resultados y discusión

El Check List de la guía de observación nos permite visualizar aquellos aspectos que influyen en la satisfacción del cliente que están presentes en cada restaurante. Los restaurantes que cubren la mayor cantidad de variables a evaluar, son que cuentan con mejores aspectos para que el cliente prefiera sus servicios.

Tabla 1. Cuadro comparativo de los principales restaurantes de la región de Zacapoaxtla

Aspectos\restaurante	Apulco	Hotel Plaza	Pozo Viejo	Casa de las Flores	El otro Rollo
Uniforme	Si	Si	No	No	Si
Recepción	Si	Si	Si	Si	Si
Limpieza	Si	Si	Si	Si	Si
Capitán de meseros	Si	No	No	No	Si
Cortesías	No	No	No	Si	No
Menú	Si	Si	Si	Si	Si

Promociones	No	No	No	No	Si
Estacionamiento	Si	No	Si	Si	Si
Mobiliario	Si	Si	Si	Si	Si
Infraestructura	Si	Si	Si	Si	Si
Mantelería	No	Si	No	Si	Si
Ubicación estratégica	Si	Si	Si	No	No
Total "Si"	9	8	7	8	10

Los restaurantes en general no tienen diferencias en aspectos del confort hacía los clientes que sean significativos. Un aspecto relevante en la zona de estudio en la ubicación geográfica de los restaurantes, que, al estar en un relieve serrano accidentado, es difícil que cuenten con estacionamientos. La facilidad de estacionamiento es un criterio de decisión para que los clientes acudan al restaurante, en el Caso del Plaza, contrarrestan esta debilidad por la ubicación de su domicilio en la zona centro. Los otros restaurantes cuentan a su favor con amplios estacionamientos, pero la Casa de las Flores esta sobre carretera federal a Tlatlauquitec la cual es poco transitada, y el caso del Otro Rollo está en un municipio con difícil acceso. Los restaurantes establecen estrategias comerciales para contar una base de clientes locales, y complementarías con los turistas nacionales e internacionales visitantes.

Los restaurantes dependen de dos situaciones para su sobrevivencia. La primera esta determinada por las temporadas de mayor afluencia de visitantes, y la segunda es aprovechar a la población local de mayores ingresos, como maestros y funcionarios, porque mientras no exista una política pública que mejore los servicios e infraestructura, y no se desarrolle un clúster turístico que potencie el turismo de la región aprovechando la diversidad de recursos naturales, la afluencia de las personas a los restaurantes es baja en comparación a los ubicados en centros urbanos.

Análisis de resultados de la encuesta sobre la atención al cliente

De acuerdo con los datos recabados de las 66 encuestas realizadas a los maestros de la región de Zacapoaxtla que son los que más consumen en estos restaurantes, a continuación, se muestran las gráficas que nos ayudan a medir la atención al cliente que brindan estos restaurantes

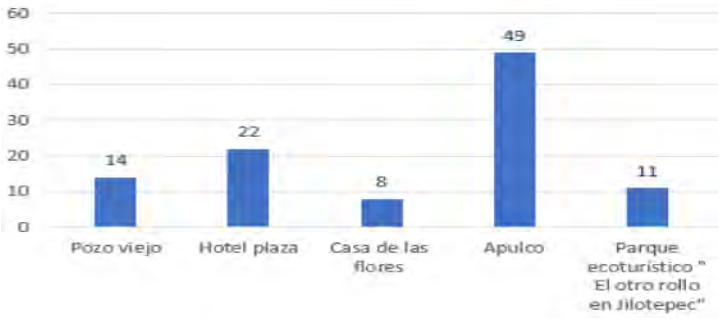


Figura 1. Restaurantes visitados con frecuencia

El restaurante Apulco es uno de los restaurantes más visitados ya que cuenta con 49 visitas, mientras que otro de los restaurantes frecuentados con un total de 22

visitas es el restaurante Plaza y por último el otro restaurante es el del pozo viejo con 14 visitas.

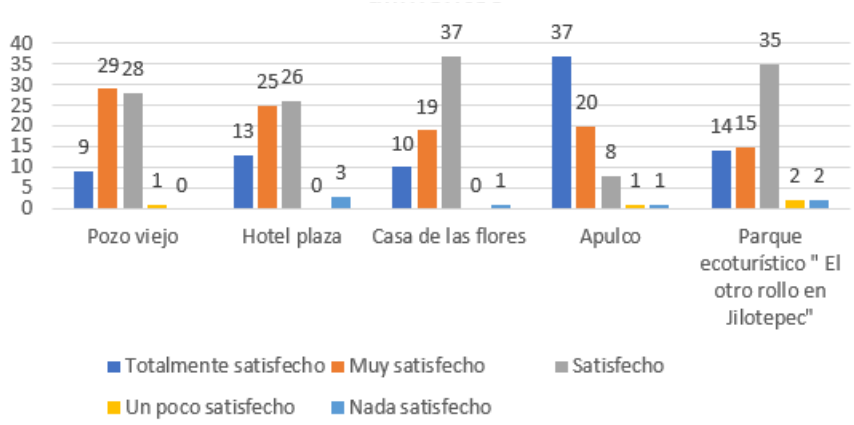


Figura 2. Satisfacción con la sazón y la calidad en los alimentos

En la evaluación de la satisfacción de la sazón y la calidad en los alimentos de los restaurantes, uno de los restaurantes que satisface totalmente a sus comensales es el de Apulco con una frecuencia de 37 comensales, el margen de los que no están satisfechos es sólo un comensal lo cual representa un 0.67%.

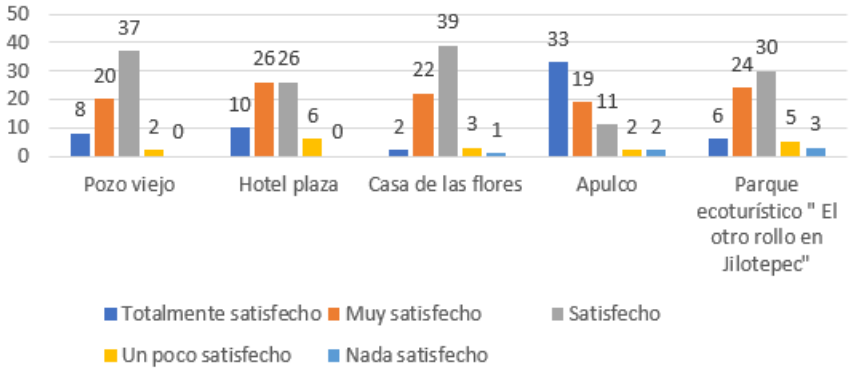


Figura 3. Satisfacción en los precios

El restaurante Apulco satisface totalmente a sus clientes con base a sus precios el cual se representa con una puntuación de 33 comensales, los que están muy satisfechos son 19 comensales, los satisfechos son solo 11 y los que están un poco y nada satisfecho es de un cliente de los 67 encuestados. Otro de los restaurantes que satisface totalmente a sus clientes es el Hotel plaza con un total de 10 comensales, mientras que el Pozo viejo los satisface totalmente con un valor de 8 preferencias.

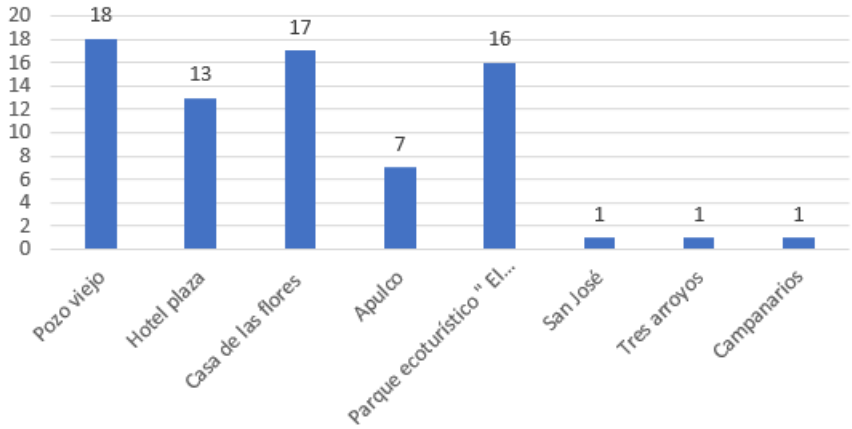


Figura 4. Restaurantes no recomendados

El restaurante que no recomiendan 18 comensales es el Pozo viejo, pero otro de los no recomendados es el restaurante la Casa de las flores de Tatoxcac con un valor de 17, ya que mencionan que por su distancia no pueden visitarlas, por ultimó tampoco recomiendan es el Parque ecoturístico "El otro rollo en Jilotepec" con un valor de 16 de preferencia. Tres de los restaurantes de la muestra resultaron no recomendados, el punto a favor es si son conocidos entre la población por lo que deben establecer estrategias de atención al cliente para lograr su lealtad.

.

4.3 Diamante de Porter

De acuerdo con las técnicas de recolección de información que se realizaron se presentan los siguientes resultados de acuerdo con el Diamante de Porter para medir la competitividad que hay entre la industria restaurantera y turística de la región de Zacapoaxtla.

Los datos proporcionados son el resultado de la aplicación de una Guía de observación y una encuesta de atención al cliente de los comensales. Para lo cual se hace mención de la información de manera esquematizada.

Tabla 2 Condiciones de los factores de acuerdo a Porter

Recursos Humanos	El gerente está en la capacidad de llevar a cabo la administración del talento humano dentro de la industria restaurantera de Zacapoaxtla.
	Exista comunicación directa entre las distintas jerarquías.
Recursos físicos	Diferentes estilos entre los restaurantes para brindar un buen servicio y ambiente a los comensales.
	Sus productos son los adecuados para el segmento de mercado al que está dirigida la industria restaurantera.
Recursos del conocimiento	Capacitación de trabajo en equipo de las diferentes áreas que tiene la industria restaurantera.
	Capacitación de atención al cliente.
	Habilidades para coordinar un adecuado servicio y acciones administrativas.
Infraestructura	Instalaciones sólidas y seguras para los clientes.
	Restaurantes con mesas de 4 a 10 sillas para recibira comensales durante el día.

Tabla 3 Condiciones de la demanda

Cobertura de los clientes.	De acuerdo con el posicionamiento de la industria restaurantera tienen la capacidad de atender un rango de 100-10,000 comensales al año, y dentro de la temporada turística tiene la capacidad de atender a un rango más alto de turistas.
Satisfacción clientes	Adquisición de insumos de marcas reconocidas para mejorar la calidad de los productos que se ofrecen dentro de los restaurantes.
	Mejorar la atención al cliente para fidelizar a los comensales desde su primera visita a los restaurantes de la región.
Anticipación a las necesidades de los clientes	Buscar mejoras adecuadas desde el servicio que se brinda hasta la calidad en los productos que se ofrecen. Implementar nuevos productos de acuerdo con los gustos actuales de nuestros clientes.

Logística interna y externa.	En la logística interna tener a una persona en la recepción de los clientes, y que les brinde la información necesaria sobre los servicios que se brindan dentro del restaurante. Logística externa se encuentra la adquisición de los insumos con los distintos proveedores de materia prima.

Tabla 4 Industrias relacionadas y de apoyo

Proveedores de bebidas	La empresa Pepsi les suministra las bebidas comercializadas, aguas, refrescos, productos lácteos entre otras.
Proveedores de insumos	Los proveedores que suministran las materias primas (Verduras y frutas, pan, café, carnes entre otros) para la elaboración de los platillos pertenecen al mercado local
Suministro de agua	El agua potable como servicio público es suficientes para que puedan brindar un servicio de calidad y con un ambiente agradable para las familias que se detienen a con sumir en los distintos restaurantes de la región.

El diamante de Porter nos demuestra que la industria relacionada al turismo se encuentra en desarrollo, y puede ser competitiva en el mediano plazo si se pone atención a la infraestructura y mejora de los servicios por parte de las empresas privadas y el gobierno estatal y local. El mercado turístico se encuentra en expansión por lo que los servicios relacionados deben de corresponder a este aumento.

Trabajo a futuro

Los visitantes a estos restaurantes son de un segmento del mercado local y otro conformado por los turistas y visitantes de la región, la investigación fue con una población local que son la base del sostenimiento habitual de estos negocios, pero es importante considerar un trabajo futuro con base a estadísticas de la procedencia de los clientes con el fin de impulsar estrategias para atraer más visitantes.

Conclusiones

La atención al cliente que brindan las Micro y pequeñas empresas (Mypes) de la industria restaurantera, sirve para que estas capten el interés de los comensales que visitan el restaurante. Anticipándose a las necesidades de los clientes brindando

productos de calidad, como el mejor servicio al cliente, pero sobre todo que se distingan por un trato digno y respetuoso hacia ellos.

La atención al cliente ha ayudado a posicionar a los restaurantes locales de la región de Zacapoaxtla, entre mejor atención al cliente brinden estos resturantes más comensales satisfechos tendrán y les beneficiará en el incremento de sus ventas.

Los restaurantes más importantes de Zacapoaxtla brindan servicios poco diferenciados, y la diferenciación se da en aquellos que cuentan con estacionamiento y mejor ubicación geográfica, que es caso del resturante Apulco.

Es importante que las Mypes del sector restaurantero brinden una atención proactiva, es decir adelantándose siempre a las necesidades de consumidor ya sean positivas o negativas y no esperarse a que los clientes tengan quejas o reclamos. Durante la investigación que se realizó en los restaurantes se demostró que tuvieron una mejor atención y calidad en el servicio prestado en la Fonda Margarita, ya que son los que han conseguido la fidelidad y la confianza de los clientes, logrando así acaparar el mercado, teniendo una ventaja competitiva de los demás.

Referencias

[1] (O. A. Colmenares Delgado and J. L. Saavedra Torres, “Aproximación teórica de los modelos conceptuales de la calidad del servicio,” 15-Sep-2007. [On9line]. Available: http://www.cyta.com.ar/ta0604/v6n4a2.htm[Accessed: 29-Feb-2016].

[2] M. Porter, "Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia "Harvard Business Review, reeimpresión, pp20. 2008.

[3] Peel, M. "El servicio al cliente: guía para mejorar la atención y la asistencia". España: Ediciones Deusto.(1991).

[4] P. Kotler, P. "Mercadotecnia". México: Prentice-Hall p. 1036, 1997.

[5] Vega, R., Cadena, J., Mejías., A, y Guzmán, R. (2014)." Análisis de la calidad de los servicios académicos: caso de estudio Ingeniería Industrial y de Sistemas Campus Caborca, Universidad de Sonora, México. Memorias del VII Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias 2014". Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, ISSN 1856-8343, Perú 2014.

[6] Jain, S. K. & Gupta, G. "Measuring service quality: Servqual vs. Servperf Scales". Vikalpa, No. 29(2), p25-
37. 2004.

[7] V.-M. Cano y E. Corona, "La satisfacción del cliente basado en la calidad del servicio a través de la eficiencia del personal y eficiencia del servicio: Un estudio empírico de la industria restaurantera". Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática, num. 18, pp. 46-65. 2018.

[8] C. Moliner. "Calidad de servicio y satisfacción del cliente. Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones", 17(2), 233 - 235, 2001.

APLICACIÓN DE IAG EN LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA

Medina Aguirre, Julio César[1], Rodríguez Loo, Roxana Michelle[2], Ibañez Acevedo, Yidanes Alejandra[3], Castillón Barraza, Acela[4], Quiñonez Moreno, Thalia[5],*
[1]Instituto Tecnológico de Mexicali jcmaitm@itmexicali.edu.mx, [2]Instituto Tecnológico de Mexicali roxanarodriguez@itmexicali.edu.mx, [3]Instituto Tecnológico de Mexicali yidanesibanez@itmexicali.edu.mx, [4]Instituto Tecnológico de Mexicali acelacastillon@itmexicali.edu.mx, [5]Instituto Tecnológico de Mexicali thalia@itmexicali.edu.mx,

Área de participación: **Investigación Educativa**

Resumen

Este artículo explora la implementación estratégica de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) para mejorar la enseñanza e investigación en la educación de ingeniería. Mediante la evaluación de actividades prácticas, confirma la eficacia de la IAG en aumentar las capacidades de la fuerza laboral, cambiar los conjuntos de habilidades requeridos e introducir tanto desafíos como oportunidades dentro de la pedagogía de la ingeniería. A través de un curso de formación específico, este estudio no solo demuestra la capacidad de la IAG para enriquecer las prácticas educativas y de investigación sino también subraya la urgencia de actualizar los currículos y métodos de enseñanza para preparar a los futuros ingenieros para la era digital.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa (IAG), Educación en ingeniería, Herramientas digitales.

Abstract

This article explores the strategic implementation of Generative Artificial Intelligence (GAI) to enhance teaching and research in engineering education. By evaluating practical activities, it confirms GAI's effectiveness in augmenting workforce capabilities, altering required skill sets, and introducing both challenges and opportunities within engineering pedagogy. Through a targeted training course, this study not only demonstrates GAI's capacity to enrich educational and research practices but also emphasizes the urgency of updating curricula and teaching methods to prepare future engineers for the digital era.

Key words: Generative Artificial Intelligence (GAI), Engineering education, Digital tools

Introducción

La irrupción de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) a finales de 2022 está transformando la educación en ingeniería y la dinámica laboral. Una de las consecuencias que el acelerado progreso y avance está provocando es la aparición de conceptos como la fuerza laboral aumentada (augmented workforce), donde las colaboraciones entre humanos y máquinas elevan la productividad y generan un valor social, educativo y empresarial sin precedentes. El Foro Económico Mundial proyecta que esta tecnología impactará en 85 millones de empleos entre 2020 y 2025. El 44% de las habilidades

laborales se modificarán entre 2023 y 2028 observándose que las habilidades STEM, que ocuparon el primer lugar en importancia en 2016, han descendido al lugar doceavo en 2023, por lo que se asume que, en las competencias laborales, las prioridades están cambiando a habilidades más orientadas a las personas, como la gestión del tiempo, la colaboración y la comunicación. En ámbitos de la educación en ingeniería estos cambios indican una adaptación a un entorno donde la tecnología permite realizar tareas complejas con habilidades técnicas menos avanzadas.[1]

Adicionalmente se estima que se estarían automatizando al menos la cuarta parte de las tareas repetitivas de los diversos empleos y esto conlleva al incremento de la productividad que a su vez, también impulsa la demanda de habilidades especializadas y de interacción humana. Se han identificado más de 500 habilidades susceptibles de ser afectadas por la IAG, incluyendo habilidades en negocios e industria como reportes financieros, marketing por correo electrónico y análisis de datos; habilidades en comunicación y medios como escritura, edición y creación de contenido; y habilidades en ingeniería como el desarrollo de software, lenguajes de programación y ciencia de datos entre muchísimas otras. [2]

La adopción acelerada de la IAG requiere habilidades cognitivas y creativas avanzadas, así como una comprensión profunda de la interacción humano-máquina. Esto implica un cambio significativo en los enfoques pedagógicos y curriculares en la formación de los ingenieros del futuro. Por ejemplo, la mayor parte del trabajo de un ingeniero de software implica habilidades técnicas que pueden ser optimizadas por la IAG, mientras que las habilidades humanas, como la gestión de proyectos y la comunicación efectiva no son susceptibles de ser reemplazadas por la inteligencia artificial. [3]

La IAG no solo mejora el desempeño de los estudiantes en exámenes de alta dificultad y tareas formativas, sino que también transforma la naturaleza y el alcance del aprendizaje; está cambiando el enfoque de la evaluación del aprendizaje, pasando de la simple memorización de información a la valoración de habilidades de pensamiento de orden superior. Este cambio presenta desafíos para los docentes en ingeniería en términos de cómo evaluar el conocimiento de los estudiantes y qué aspectos evaluar. Además, la integridad académica surge como un desafío importante que necesita ser reconsiderado en la era de la IA, sugiriendo una reevaluación profunda de los métodos y enfoques tradicionales en la educación en ingeniería y a crear entornos de aprendizaje atractivos que hagan que el aprendizaje sea más significativo y personalizado. [4]

El futuro de la educación en 2050 incluirá tecnologías avanzadas como la realidad virtual altamente realista y la tecnología cerebro-computadora. El camino hacia esos escenarios implica la adopción de la IA, primero básicamente como un asistente en la educación (en la presente década), después como un asistente personal que desarrolla acciones en representación de la persona (en la siguiente década) y para 2040 se prevé con el desarrollo intensivo del metaverso y la reconfiguración de la educación. Por ello los efectos en la educación implican la personalización de la educación de acuerdo con los intereses y habilidades del individuo (para lo cual la IA será de gran utilidad para los docentes), la generación de ambientes virtuales para el aprendizaje y la utilización y monitoreo personalizado con IA generando “carteras digitales” en vez de currículos vitae. Se anticipa que se transformará el aprendizaje en ingeniería, llevando a entornos de enseñanza más inmersivos y adaptativos, donde los estudiantes podrían aprender en escenarios simulados. [5]

Para la utilización efectiva de la IAG, es necesario que los docentes en ingeniería reciban formación específica en estas tecnologías, especialmente en habilidades como la "ingeniería de prompts", que implica la creación de instrucciones interactivas con modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para generar resultados óptimos. Estas nuevas habilidades se deben de adquirir en un nivel más avanzado

para con ello poder estar incluso a la par del uso que algunos estudiantes ya le dan. La actualización continua de habilidades, incluyendo la capacidad de utilizar directamente la tecnología, será necesaria para mantenerse al día con los avances. Ser competente en estas áreas será esencial para agregar valor. Incluso ya se están desarrollando aplicaciones para entrenar en todas las preguntas de exámenes y cuestionarios disponibles en temas específicos, incluidas las preguntas matemáticas. [6]

Existe evidencia sobre actividades profesionales en donde se realizan reportes y se demuestra que la productividad al usar la IAG (específicamente ChatGPT) aumenta, así como en términos generales auxilia mayormente a trabajadores de baja capacidad y aumenta la satisfacción laboral. Al respecto de la productividad se encontró que aumenta de dos formas: al sustituir el esfuerzo del trabajador para producir rápidamente lo requerido con una calidad satisfactoria de tal manera que es posible entregar dicho trabajo rápidamente y la otra forma es que complementa las habilidades consecuencia de la colaboración del trabajador y la IAG. [7]

En términos de investigación y elaboración de artículos de difusión, la IAG puede potenciar esas actividades para poder precisar los conceptos e ideas de la investigación, las hipótesis y diseños iniciales, la revisión de grandes volúmenes de datos y bibliografía, resumiendo los puntos principales de los artículos, la detección de patrones, la predicción de escenarios y el escaneo de información, así como la detección de círculos de investigadores estimulando con ello el pensamiento creativo y mejorando de la redacción de los documentos y artículos de difusión resultantes; elevando la calidad de los trabajos de investigación y sugiriendo líneas de investigación futuras. [8]

La Inteligencia Artificial Generativa (IAG) ha transformado el campo de la educación en ingeniería, proporcionando tecnologías que permiten, entre otras cosas, la creación de simulaciones y la generación de contenido relacionado con los temas tratados en clase. Además, esta tecnología facilita la personalización del aprendizaje, ajustándose a las necesidades específicas de cada estudiante. Por otro lado, los entornos virtuales se han consolidado en las universidades, creando espacios interactivos donde se aplican metodologías que ayudan a los estudiantes a visualizar problemas complejos a través de representaciones en 3D o virtuales. Esto permite una mayor profundidad en el aprendizaje, ofreciendo la posibilidad de manipular variables y obtener retroalimentación inmediata, una ventaja que sería difícil de replicar en laboratorios físicos convencionales. [9]

El objetivo de la investigación es implementar actividades que comprueben la utilidad de la IAG en la docencia e investigación, lo cual es una estrategia para la educación de los ingenieros del futuro. La metodología consistió en la búsqueda bibliográfica de actividades que son susceptibles de complementar o aumentar por medio de la IAG dentro del quehacer de la docencia e investigación.

Metodología

Existen diferentes autores que coinciden con las aplicaciones de la IAG en las actividades para la docencia: Diseño de currículo y planificación de la clase, así como preparación de evaluaciones y rúbricas. Recopilación de materiales de enseñanza relevantes, así como proponer ejemplos, analogías y escenarios que fomenten el pensamiento crítico y la discusión en clase. Entrenamiento del docente en metodologías de enseñanza y desarrollo curricular, así como aplicar teorías de enseñanza y cómo hacer que el plan de estudios sea más accesible. Tutorías y atención personalizada de acuerdo con las necesidades del estudiante. Asistentes virtuales que pueden apoyar el

aprendizaje y la enseñanza. Realidad virtual y aumentada simulando situaciones reales para un aprendizaje más práctico. Evaluación más eficiente y personalizada. con [2], [10], [11], [12], [13], [14].

Asimismo, las actividades para la IAG en investigación son: análisis de datos identificando patrones y relaciones. Generación de contenido instructivo y retroalimentado. Desarrollo de ideas y propuestas de investigación. Revisión de literatura y su recopilación, inclusive proponiendo borradores iniciales. Desarrollo y ayuda a las preguntas de investigación, además de sugerir metodologías apropiadas.

Acorde a lo anterior, se diseñó un curso que fue impartido tanto a docentes e investigadores de las carreras de Ingeniería Industrial del TecNM campus Mexicali y de la Facultad de Ciencias Administrativas de la Universidad Autónoma de Baja California con aspectos sobre Cultura digital / Docencia e investigación aumentada por la IAG; los aspectos que se abordaron fueron: implementación de las herramientas de IA para el acompañamiento y fortalecimiento de las clases, así como uso de la herramienta de IA para facilitar etapas de investigación y aplicaciones dedicadas para tal efecto. Es relevante señalar que el curso mencionado en este artículo corresponde a la segunda versión del original, habiéndose impartido un total de ocho cursos en tres versiones. El diseño del primer curso se centró en la introducción de diversas herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) conocidas por los autores, considerando la novedad y reciente aparición de esta tecnología. Por esta razón, el diseño inicial incluyó las bases fundamentales para su uso. No obstante, en la segunda versión, se desarrollaron contenidos aplicados, los cuales se presentan en este documento, enfocados en los ámbitos académicos de docencia e investigación, evaluando el progreso en la adopción y uso de estas herramientas.

Igualmente se realizó una encuesta para medir la opinión y progresos en la utilización de las herramientas de IAG propuestas en el curso. También se verificó el material que se realizó por parte de los participantes tomando la asignatura de Probabilidad y Estadística del TecNM o en su caso la de Estadística para la FCA UABC, esto con los siguientes objetivos:

- Reforzar los aspectos iniciales de ubicación de la materia, cuestionando a la IAG sobre la importancia y aplicación de la Estadística en la vida profesional.
- Seleccionar una unidad en específico de la asignatura y realizar la misma interacción con la IAG para la Unidad III.
- Obtener un ejemplo de aplicación (problema a resolver) por medio de la IAG y evaluar sus resultados, analizando la respuesta.

Los docentes fueron los encargados de evaluar si las respuestas son adecuadas en su contexto y en su síntesis narrativa. Para ello se presentaron algunos criterios a manera de guía para la evaluación de herramientas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en entornos académicos. La metodología utilizada abarca la valoración de la coherencia, la interrelación, la profundidad y la multimodalidad de las síntesis narrativas, además de la calidad y la formación de las fuentes. Esta metodología fue aplicada específicamente a plataformas de IAG gratuitas, enfocándose en su uso para fines de investigación académica. [15]
En el caso de los ejemplos de aplicación, se observó que la resolución de estos fuera la correcta (resolviendo el problema manualmente en clase y verificando la solución por parte de la IAG)

Asimismo, en los aspectos de investigación, se propuso un tema único para los participantes: “El problema de la escasez de agua aportada por el Río Colorado y su repercusión en Mexicali, Baja California”, para que los participantes del curso inicien de un tema en común para realizar el análisis bibliográfico y la búsqueda de material valioso para generar un marco teórico introductorio, incluso

se toma esta problemática desde cero para la generación de ideas en la investigación. Para ello se solicitó lo siguiente:

a) Utilizar la IAG Copilot de Microsoft para ver un panorama general de la problemática.
b) Identificar que la bibliografía o fuentes utilizadas existieran, seleccionar un artículo de difusión dentro de ese material, y a la vez seleccionar un artículo en la plataforma Elsevier.
c) Analizar ambos artículos con la herramienta de IAG llamada ChatPDF y obtener los resúmenes de importancia.
d) Ampliar la búsqueda bibliográfica con la herramienta Litmaps y Scispace de IAG seleccionando otro artículo y obteniendo su resumen.
e) Por último, simular la elaboración del marco teórico introductorio de un artículo, utilizando el gestor bibliográfico Zotero y las plantillas preestablecidas de Scispace.

Resultados y discusión

Los resultados de las prácticas docentes al respecto de la materia de Probabilidad y Estadística que fue asignada a 20 docentes fueron los siguientes:

a) Se solicita a alguna de las IAG vistas en el curso que indique la utilidad de la Estadística en la vida profesional: El 85% de los docentes lograron hacer la actividad (17 personas) incluso especificando más el "prompt" y solicitando que se ajustara a determinada carrera (Mercadotecnia, Ing. Industrial, Negocios Internacionales).
b) Se solicita a alguna de las IAG vistas en el curso que indique la utilidad de la Unidad III "Distribuciones de Probabilidad" en la vida profesional del futuro egresado: incluso algunos docentes realizaron el ejercicio para otra unidad obteniendo material adicional. Se considera que el 85% (17 personas) cumplieron con el requerimiento.
c) Realizar o solicitar un ejemplo a la IAG sobre la Unidad III: al igual que el inciso anterior hubo docentes que solicitaron el problema de ejemplo para otra unidad. Sin embargo, se considera que el 95 % de los docentes realizaron el ejercicio (19 personas). Esto incluyó la verificación de que la solución del ejercicio propuesto sea la correcta.

Los resultados de las prácticas de investigación de un problema propuesto por los instructores, y que fue asignado a 20 docentes investigadores, fueron los siguientes:

a) Conocer el panorama general de la problemática usando la IAG Copilot de Microsoft: Los docentes pudieron realizar el ejercicio el cual consistía en poder interactuar desde la página de origen de Copilot o la barra lateral del mismo. Si era necesario también se ajustó y actualizó la cuenta de acceso y el motor de búsqueda Edge de Microsoft. El 90 % de los docentes (18 personas) cumplió con el ejercicio.
b) Identificación de fuentes utilizadas y selección de fuente proveniente de un artículo científico o de difusión, así como un artículo de forma manual de alguna fuente de acceso de su centro de información (o proporcionado por el maestro, en su caso fue de la base de datos Elsevier). El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.
c) Generación de resúmenes de los artículos utilizando la herramienta de IAG llamada ChatPDF. El ejercicio consistió en descargar los archivos a esa herramienta de IAG e interactuar con ella para obtener resúmenes e información valiosa para el escrito a realizar. El 60 % de los docentes (12 personas) cumplió con el ejercicio.
d) Ampliar la búsqueda bibliográfica de material valioso utilizando Litmaps y Scispace. Aquí el ejercicio consistió en realizar un "mapa semilla" con Litmaps para verificar las relaciones

que guardan las citas y referencias de un artículo de los obtenidos anteriormente y con ello reforzar guiadamente la búsqueda de material valioso que a su vez se procesa en ChatPDF o Scispace. Este último se usa incluso para hacer el análisis de varios artículos a la vez. El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.

e) Elaboración de marco teórico introductorio: El ejercicio consistió en utilizar los diferentes resúmenes obtenidos con las herramientas diversas usadas de IAG, generar el escrito apoyándose en el gestor bibliográfico Zotero y en Copilot para obtener las citas y referencias en formato APA séptima edición. Por último, colocar el material usando alguna de las múltiples plantillas para publicación con que cuenta Scispace. El 80 % de los docentes (16 personas) cumplió con el ejercicio.

Con respecto al diagnóstico de los docentes antes del curso, se obtuvieron los siguientes resultados:

En el grado académico de los docentes inscritos al curso y el uso de la IAG podemos observar en la Figura 1, que el 64% de los que tienen doctorado la utilizan, el 69% con maestría y el 20% de los que tienen licenciatura han utilizado la IAG en actividades de docencia o investigación.

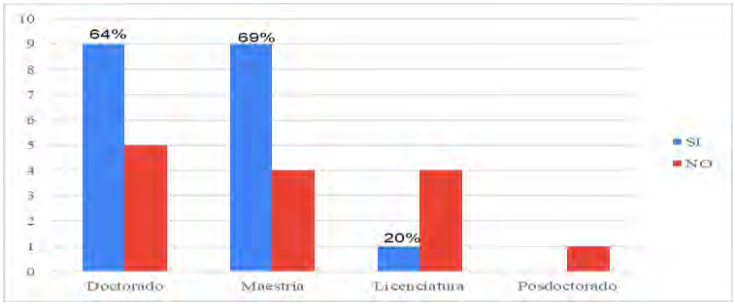


Figura 1. Relación entre el grado académico y el uso de la IAG.

La utilización de la IAG por parte de los docentes antes del curso de capacitación expresó que el 47% lo utiliza menos de una hora diaria, 42% entre 1 a 2 horas diarias, mientras que solo el 11 % lo utilizan más de dos horas, como se observa en la Figura 2.

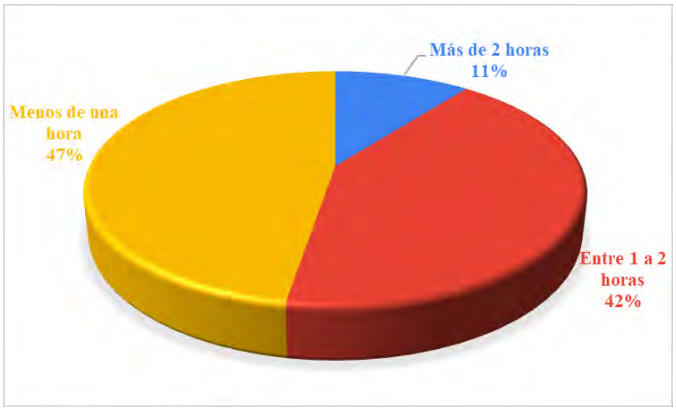


Figura 2. Frecuencia diaria de utilización de herramientas IAG

Los docentes que expresaron utilizar la IAG en las actividades docentes más frecuentes como se muestra en la Figura 3 son: generación de material auxiliar de clase en un 44%, generación de tareas y evaluaciones en un 15% y generación de prácticas y ensayos en un 13%.



Figura 3. Uso de IAG de los docentes en actividades docentes

Se puede observar en la Figura 4, que los docentes utilizan la IAG en actividades de investigación con mayor frecuencia como: análisis de información y bibliografía con un 34%, lluvia de ideas para precisar el tema de investigación con un 28% y análisis de datos de investigación con un 19%.



Figura 4. Uso de IAG de los docentes en actividades de investigación

Al preguntarle a los docentes cuáles son las causas que consideran que inhiben el uso de las herramientas de IAG, consideraron que la falta de capacitación en un 24% de los encuestados, el 6% en el desinterés y 5% lo consideraron no ético, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Causas que inhiben el uso de la IAG en los docentes.

Los docentes comentaron que las aplicaciones de la IA de mayor provecho para ellos en la generación de material auxiliar de clase son Scispace, Chatpdf, Copilot, Claude Anthropic, Litmaps, etc. Para los docentes, el mayor desafío para integrar la IAG a sus actividades cotidianas serían: mantenerse actualizado en la IAG, la gratuidad de algunas aplicaciones, destinar tiempo a explorar cuál de las apps de IAG se acomoda mejor a las necesidades, las capacidades de los equipos y herramientas, estandarizar el uso de la IA, la responsabilidad ética, centrarse en una plataforma, entre otras.

El análisis de los resultados reveló que el 85% de los participantes mejoró su desempeño en los ejercicios prácticos, mientras que el 90% reportó una mayor comprensión de los conceptos complejos abordados en el curso. Además, varios participantes aplicaron los ejercicios a materias específicas que ellos mismos imparten, lo que permite concluir que la implementación de la Inteligencia Artificial Generativa (IAG) en el proceso de enseñanza promueve un aprendizaje más activo y eficaz, generando mejores resultados académicos a largo plazo. [16]

Es crucial que las Instituciones de Educación Superior implementen diversas estrategias para facilitar el acceso a las tecnologías de IA, contando con el apoyo institucional necesario. No solo es importante aprovechar las IAG gratuitas, sino también establecer colaboraciones con empresas tecnológicas para negociar precios más accesibles y buscar financiamiento externo que permita tanto la adquisición de estas herramientas como la capacitación de docentes y estudiantes. Además, es fundamental promover oportunidades equitativas para los estudiantes y fomentar la colaboración entre los diferentes actores educativos.

En resumen, los resultados y el análisis revelan que la IAG ha sido un factor clave en la mejora de las prácticas de enseñanza y los resultados de la investigación, permitiendo la superación de obstáculos importantes en la docencia y proporcionando nuevas oportunidades para la innovación en el aprendizaje.

Trabajo a futuro

Hay un campo amplio de aspectos a desarrollar debido a que el despliegue de la IAG es muy reciente (ChatGPT salió para el uso público en noviembre de 2022). Por ello vertientes inherentes al alcance e implementación dentro de las clases y la evaluación de los resultados de aprendizaje al auxiliarse con esta tecnología, representan gran importancia. Otro punto definitorio es el estudio de cuales plataformas de IAG representan las mejores ventajas para el uso académico y de investigación. Aunado a ello, es también importante trabajar en la definición de un marco ético en donde se consoliden criterios del alcance de la participación de la IAG en artículos de difusión científica, por ejemplo, en qué porcentaje y en qué secciones de un artículo se permitiría el uso de estas herramientas.

Conclusiones

La implementación de actividades que corroboran la utilidad de la IAG en la docencia e investigación ha demostrado ser efectiva. Los docentes e investigadores que participaron en el curso diseñado para este propósito lograron realizar con éxito las actividades propuestas, lo que indica que la IAG puede potenciar la docencia y la investigación.

Con respecto a la producción de artículos de difusión, la IAG puede potenciar estas actividades para precisar los conceptos e ideas de la investigación, las hipótesis y diseños iniciales, la revisión de

grandes volúmenes de datos y bibliografía, resumiendo los puntos principales de los artículos, la detección de patrones, la predicción de escenarios y el escaneo de información.

Para la educación de los ingenieros del futuro la IAG provocará no solo mejorar la productividad y la calidad de la enseñanza y la investigación, sino que también exigirá una revisión profunda de los currículos y estrategias pedagógicas existentes. La capacitación específica en competencias digitales y la integración de herramientas de IAG en el aula es una necesidad vital que debe iniciarse por parte de las Instituciones de Educación Superior debido al mercado laboral que está en constante evolución. Este cambio de paradigma requiere una colaboración entre instituciones educativas, docentes y la industria para maximizar las oportunidades que la IAG ofrece para la formación de ingenieros que presenten esas nuevas y prioritarias habilidades profesionales y de trabajo.

Es recomendable que los círculos docentes, las academias, los claustros y, en general, la comunidad científica establezca criterios de mejores prácticas en el uso de las herramientas dentro de sus ámbitos de actuación. Por ejemplo, los ejercicios mencionados en este artículo se basan en las respuestas generadas por los distintos modelos de IAG utilizados en la fecha del curso. Esto significa que las respuestas reflejan el estado de esos modelos en ese momento, y es previsible que la evolución de dichos modelos ofrezca resultados más precisos a medida que se actualizan. Por lo tanto, los autores consideran que como parte de un ambiente de buenas prácticas es necesario realizar una evaluación constante de los materiales generados por la IAG (en el caso de asignaturas impartidas en las IES, esta evaluación sería recomendable realizarla al inicio de cada semestre). No obstante, se espera que la calidad y el alcance de los trabajos generados continúen mejorando progresivamente.

El uso de la IAG en la educación y la investigación plantea diversas cuestiones éticas que deben abordarse de manera integral para garantizar una adopción responsable de estas tecnologías. Su implementación conlleva riesgos relacionados con la privacidad, la integridad académica y la equidad en el acceso a la tecnología. Por ello, es fundamental que los educadores, investigadores e instituciones establezcan políticas claras que mitiguen estos riesgos y promuevan un uso ético de las herramientas de IAG. Por ejemplo, varios repositorios y bases de datos que fomentan la publicación de artículos han definido en qué partes de los documentos se permite la intervención de la IAG. Tal es el caso de Springer, que en su información más reciente sobre el uso de la IAG permite su aplicación para "edición asistida por IA" sin necesidad de declararlo. Esta edición asistida se refiere a mejoras en la legibilidad y estilo de textos creados por humanos, garantizando la corrección de errores gramaticales, ortográficos, de puntuación o tono, e incluyendo cambios en la redacción y el formato, pero sin la creación autónoma de contenido. En todos los casos, debe haber una supervisión humana que se haga responsable de la versión final del texto, con el acuerdo de los autores en que las ediciones reflejan su trabajo original. [17]

Referencias

[1] IBM Institute for Business Value, "The Augmented Workforce: Human AI is the Future of Work," IBM. Accessed: Aug. 2, 2024. [Online]. Available: https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/augmented-workforce

[2] LinkedIn, "Future of Work Report: AI at Work," Consultado: Agosto 6, 2024. [En línea]. Disponible: https://economicgraph.linkedin.com/content/dam/me/economicgraph/en-us/PDF/future-of-work-report-ai-august-2023.pdf

[3] K. Ellingrud, S. Shanghái, G. S. Dandona, A. Madgavkar, M. Chui, O. White, et al., "Generative AI and the future of work in America," McKinsey Global Institute, 2023. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/generative-ai-and-the-future-of-work-in-america

[4] M. Menekse, "Envisioning the future of learning and teaching engineering in the artificial intelligence era: Opportunities and challenges," J. Eng. Educ., vol. 112, no. 3, pp. 578–582, Jul. 2023 https://doi.org/10.1002/jee.20539

[5] T. Follows, "The End of School as You Know It: Education in 2050," GoStudent Ltd., 2023. [Online]. Available: https://hello1.gostudent.org/en/education-in-2050/

[6] A. Johri, A. S. Katz, J. Qadir, and A. Hingle, "Generative artificial intelligence and engineering education," Journal of Engineering Education, vol. 112, no. 3, pp. 572–577, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.1002/jee.20537

[7] S. Noy, M. W. Zhang, N. Agarwal, D. Autor, L. Barros, T. Benheim, et al., "Experimental Evidence on the Productivity Effects of Generative Artificial Intelligence," 2023. [Online]. Available: https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh2586
https://doi.org/10.1002/jee.20539

[8] E. Sabzalieva and A. Valentini, "ChatGPT e Inteligencia Artificial en la educación superior: Guía de inicio rápido," UNESCO IESALC, Caracas, Venezuela, 2023, Accessed: July 15, 2024. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385146_spa

[9] A. Johri, A. S. Katz, J. Qadir, and A. Hingle, "Generative artificial intelligence and engineering education," J of Engineering Edu, vol. 112, no. 3, pp. 572–577, 2023, doi: 10.1002/jee.20537. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jee.20537. [Accessed: July. 13, 2024]

[10] UNESCO, "AI and education: Guidance for policy-makers," UNESCO, 2021, Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.54675/PCSP7350

[11] UNESCO, " ChatGPT e Inteligencia Artificial en la educación superior: Guía de inicio rápido," UNESCO, 2023. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385146_spa

[12] G. Van Den Berg and E. Du Plessis, "ChatGPT and Generative AI: Possibilities for Its Contribution to Lesson Planning, Critical Thinking and Openness in Teacher Education," Education Sciences, vol. 13, no. 10, p. 998, 2023. [Online]. Available https://doi.org/10.3390/educsci13100998.

[13] UNESCO, "Guidance for generative AI in education and research," 2023. [Online]. Available: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693.locale=es.

[14] UNESCO IESALC, "Oportunidades y desafíos de la era de la inteligencia artificial para la educación superior: Una introducción para los actores de la educación superior," 2023. [Online]. Available: https://bit.ly/48YzY8b

[15] L. Codina, "Inteligencia artificial generativa (GenAI) para el ámbito académico: primeras exploraciones, usos, herramientas, evaluación y propuestas," Lluís Codina Blog, Jul. 2024. [Online]. Available: https://www.lluiscodina.com/inteligencia-artificial-generativa-academia/. [Accessed: July. 23, 2024].

[16] C. K. Lo, "What Is the Impact of ChatGPT on Education? A Rapid Review of the Literature," Education Sciences, vol. 13, no. 4, p. 410, Apr. 2023, doi: 10.3390/educsci13040410. Available: https://www.mdpi.com/2227-7102/13/4/410. [Accessed: Aug. 13, 2024]

[17] Artificial Intelligence (AI)," Springer, 2024. [Online]. Available: https://www.springer.com/gp/editorial-policies/artificial-intelligence--ai-/25428500. [Accessed: 12-Aug-2024].

IMPLEMENTACIÓN DEL CICLO DEMING EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ANTIGENOS DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE VACUNAS

Valdés-Álvarez Alejandra C. [1], Calderón-Jiménez Antonio[2], Méndez-Rivera Caín[3], Hernández-Sánchez Luis A.[4], González-González Eric[5]*
[1]Tecnológico Nacional de México /ITS Ciudad Serdán, Ave. Tecnológico s/n Colonia La Gloria, Cd Serdán, Puebla C.P 75520
** avaldez@cdserdan.tecnm.mx,*

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

Este proyecto se centra en la implementación de un ciclo Deming, para el control de la producción y la planificación de la misma, en una empresa dedicada a la elaboración de vacunas, con el objetivo de solucionar problemas de producción de antígenos, en el que a través de la integración de las órdenes de producción, permita planificar de manera estratégica el trabajo, controlar inventarios, y corregir sistemáticamente los costos, por medio de la utilización de herramientas y métodos de ingeniería, para identificar los problemas y causas raíces, mediante la elaboración de indicadores que sirven de apoyo para establecer la mejora continua.

Palabras clave: *Planificación, Producción, Antígenos.*

Abstract

This project focuses on the implementation of a Deming cycle, for production control and planning, in a company dedicated to the production of vaccines, with the aim of solving antigen production problems, in which Through the integration of production orders, it allows strategic planning of work, control of inventories, and systematic correction of costs, through the use of engineering tools and methods, to identify problems and root causes, through the elaboration of indicators that serve as support to establish continuous improvement.

Key words: *Planning, Production, Antigens.*

El presente trabajo se realizó en una empresa que se dedica a elaborar vacunas, es reconocida como de clase mundial, especializada en la producción y distribución de productos de la más alta calidad, aplicable a la identificación, prevención y solución del capital humano que necesita vacunas vivas, inactivas, reconvinantes, liofilizadas y de aspersión. Está dividida por departamentos, siendo la de mayor relevancia para este trabajo el área de “producción de antígenos”, que accede a desarrollar la creatividad a través de la implementación de métodos que permiten gestionar la calidad, mediante herramientas diseñadas para la organización y, que por medio de la metodología del ciclo Deming, se realizó la implementación de herramientas para la resolución de problemas de manera sistemática y estructurada para establecer objetivos e implementarlos en los procesos.

La implementación del ciclo Deming, permite cubrir las necesidades de la organización y especialmente en el área de “producción de antígenos”.

Metodología

El ciclo PDCA o también denominado como Ciclo Deming, se compone por 4 etapas, las cuales son: planificar (plan), hacer (do), verificar (check) y actuar (act) [1]. A continuación, se describen cada una de las etapas anteriores y la forma en que se implementó dentro del departamento de antígenos de una empresa productora de vacunas.

1. **Etapa de planear:**

Se tomaron en cuenta el número de quejas que tiene la empresa en el departamento de compras, dado que se encuentran un 89% más altas que el año pasado, y se centran en la entrega tardía de los productos que se solicitan, se analizaron 376 quejas de clientes principales de la empresa, a los cuales, si se les dio un seguimiento puntual, dado que presentaron formatos de recesión de contratos y quejas escritas por teléfono, correo electrónico o asistieron personalmente a la empresa. Se les aplicaron 4 técnicas que contribuyen al análisis de causas raíces para la comprensión del problema a resolver, dado que ya se presentan pérdidas económicas y posible despido de personal. Cabe mencionar que la empresa productora de vacunas está en proceso de transición, dado que un laboratorio más grande la ha comprado y en este momento se encuentra en la etapa de aprendizaje de métodos de trabajo, sistemas informáticos y procedimientos. A continuación, se describen que herramientas o técnicas se usaron.

A. ***Técnica de los 5 Porqués:*** Con la información inicial que se brinda, permite descubrir el ¿Por qué? es tan importante generar la documentación [2], se llevó a cabo una reunión con el personal clave a cargo del departamento y, así, analizar las causas que generaron que, en el área de producción de antígenos, no se haya exigido la priorización del lanzamiento de las órdenes.
B. ***Diagrama de Ishikawa:*** Este diagrama permite visualizar las variantes en las que se identifican los puntos más relevantes de un sistema deficiente [3], como las diferentes variantes y relaciones del departamento afectado, teniendo como resultado las causas como el diseño, el personal, el desarrollo, el método, las herramientas, y que estos tienen subconjuntos en las que se explica de manera más detallada las deficiencias que tenía el departamento.
C. ***Diagrama de flujo:*** El sistema indica que posterior a que se realiza un lanzamiento de una orden de producción, en un software llamado LX, tendría que ser evaluada y autorizada por el departamento de control de calidad, siguiendo los pasos del diagrama de flujo de la organización, de no cumplirse con dicho proceso, no podría iniciarse la producción y quedaría detenida hasta que se autorice.
D. ***Técnica de 5W + 2H:*** Con la ayuda del diagrama de flujo se buscó visualizar de manera clara las etapas del proceso, para después aplicar las 5w+2H, para conocer por medio de preguntas, las afectaciones que el departamento tiene, y como se ve afectado directamente el control de sus inventarios, de la materia prima y del producto terminado e inclusive que no se controla el tiempo de la mano de obra, con base en toda esta información, se realizó un diagnóstico de áreas de oportunidad, y a su vez se proponen soluciones a dichos problemas.

El proceso que se lleva a cabo para la realización de órdenes de producción, empieza en el registro en el sistema hasta que el departamento de producción de antígenos, lo reporta al área de planeación, ya sea, porque es necesario realizar un consumo de producto terminado o para ajustar su inventario de materias primas, pero no siempre, dada la carga de trabajo se revisa el nivel del inventario, sólo se registra un posible valor conforme la experiencia de la persona que recibió el pedido, del mismo modo se presentan cuellos de botella, porque no se tiene un seguimiento puntual, esto no permite fluir de forma eficiente el proceso en las áreas.

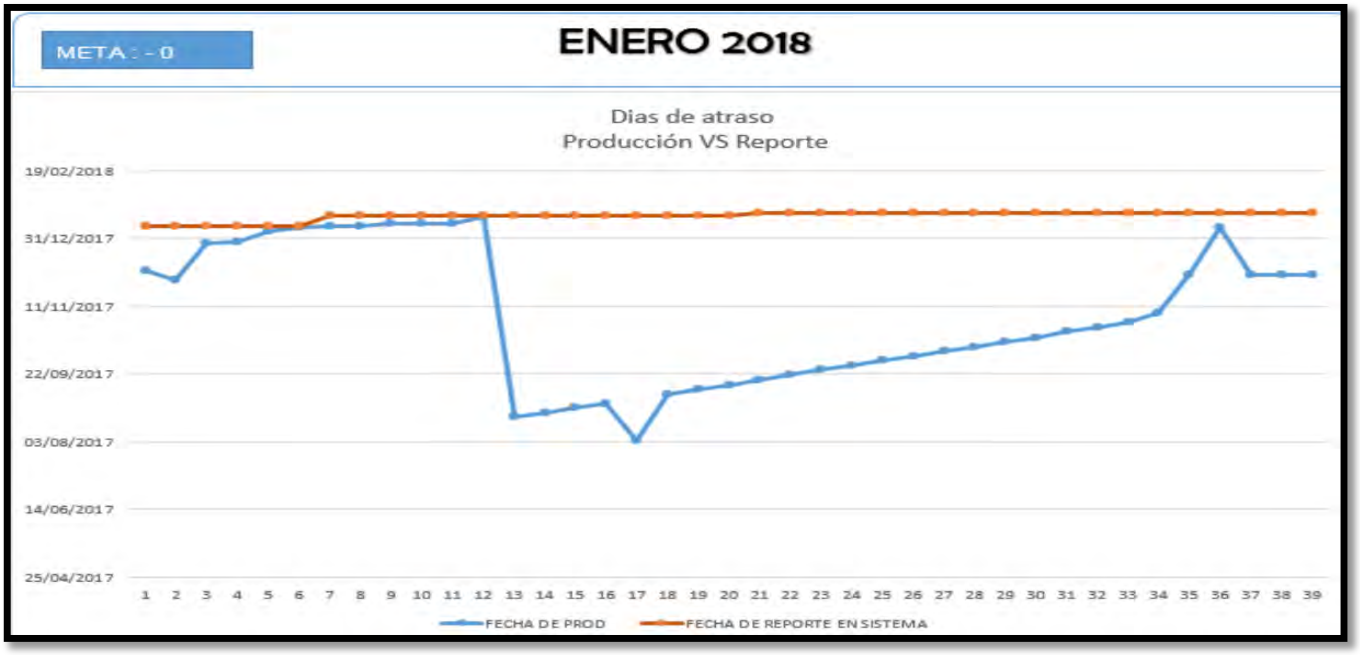
A continuación, se muestra un análisis más completo en el que se puede identificar la magnitud del problema, generado por los atrasos que existen entre el tiempo de producción y el tiempo que transcurre para que se elabore la orden de producción en el sistema. Para ello se elaboró un informe de autoría propia, que no existía y en el que se puede apreciar de manera mensual la cantidad de reportes de producciones que se generaron con días de atraso, durante los meses de enero a julio del 2018, y la manera en que esto impacta a la empresa. Se describe de izquierda a derecha la siguiente información:

1. Código, es asignado por el departamento de planeación a cada uno de los productos desarrollados, considerando para ello ciertos lineamientos que se describen en un procedimiento elaborado por el departamento de control de calidad, y de estricto control en manejo y consultas.
2. Descripción del producto, en este apartado se describe el nombre del producto, el cual, es asignado por el área de investigación y desarrollo de nuevos productos.
3. Lote, es el que controla el consecutivo y estricto control del producto. Era asignado por el mismo departamento de "producción de antígenos" hasta hace un par de meses atrás, pero ahora lo controla el departamento de calidad por medio de un procedimiento nuevo, y lo asigna el área de planeación, al tiempo en que realiza una orden para una producción.
4. Fecha de producción, indica el tiempo real en que se elaboró el producto.
5. Fecha de reporte en sistema, marca el tiempo real en el que se reporta el producto en el sistema.
6. Días con atraso, muestra la cantidad de días acumulados entre la fecha real de la producción y la fecha en que se realizó el reporte en el sistema. Ejemplo: del 07 de diciembre del 2017 al 09 de enero del 2018 han trascurrido 33 días.

DIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	LOTE	FECHA DE PROD	FECHA DE REPORTE EN SISTEMA	DIAS CON ATRASO
5024001310	MEDIO MEM	071217	07/12/2017	09/01/2018	33
5024000530	CALDO ICC	301117	30/11/2017	09/01/2018	40
5024001795	TRIPSINA AL 0.25%	281217	28/12/2017	09/01/2018	12
5024001310	MEDIO MEM	291217	29/12/2017	09/01/2018	11
5024001795	TRIPSINA AL 0.25%	050118	05/01/2018	09/01/2018	4
5024000530	CALDO ICC	080118	08/01/2018	09/01/2018	1
5024001390	PBS 1X	090118	09/01/2018	17/01/2018	8
5024000530	CALDO ICC	090118	09/01/2018	17/01/2018	8
5024001310	MEDIO MEM	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024001420	PLACAS AGAR ICC	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024001425	PLACAS AGAR MACCONKEY	110118	11/01/2018	17/01/2018	6
5024000535	CALDO SOYA TRIPTICASEINA	160118	16/01/2018	17/01/2018	1
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	210817	21/08/2017	17/01/2018	149
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	240817	24/08/2017	17/01/2018	146
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	280817	28/08/2017	17/01/2018	142
5024000570	CULTIVO DE HEPATOCITOS	310817	31/08/2017	17/01/2018	139

Tabla 3. Información enero

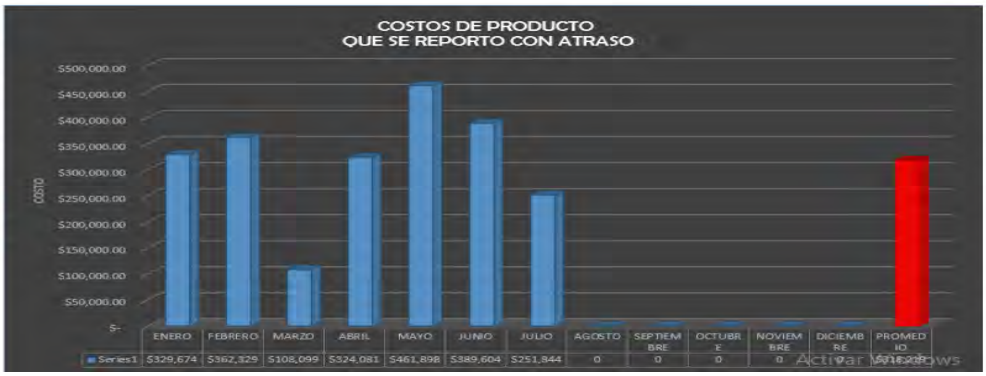
En el mes de enero se reportó al sistema un total de 39 productos, de los cuales, ninguno fue reportado antes o igual a su fecha de elaboración, como se puede visualizar en la gráfica del mes de enero del 2018 que se muestra a continuación.



Gráfica 1. Reporte mes de enero

En la gráfica 2, se colocó del lado izquierdo una tabla de resumen, primero presenta la cantidad de productos que fueron reportados con días de atraso, en cada uno de los meses considerados, tomando de enero a julio, y hacia bajo, se muestra el promedio entre los siete meses, que es de 37 productos por mes, además de hacer la sumatoria del total de los productos reportados en todos los meses, arrojando un total de 260 productos por los siete meses. También se alcanza a apreciar de manera representativa, el costo de acuerdo a los meses en que se generaron los reportes, y de acuerdo a esto, en promedio se dejaron de reportar $ 318,219.07 por mes, lo cual, tiene un impacto sobre el presupuesto mensual, la existencia de inventario y desbalance en el costo de mano de obra, afectando no sólo el mes en el que se produce, sino el mes en el que se reporta, generando un costo total de $2, 227,533.49 de enero a julio del 2018.

CANTIDAD DE PRODUCTOS	MES	IMPORTE
39	ENERO	$ 329,674.58
42	FEBRERO	$ 362,329.84
17	MARZO	$ 108,099.22
42	ABRIL	$ 324,081.74
40	MAYO	$ 461,898.37
49	JUNIO	$ 389,604.82
31	JULIO	$ 251,844.91
N/A	AGOSTO	N/A
N/A	SEPTIEMBRE	N/A
N/A	OCTUBRE	N/A
N/A	NOVIEMBRE	N/A
N/A	DICIEMBRE	N/A
37	PROMEDIO	$ 318,219.07
260	TOTAL	$ 2,227,533.49



Gráfica 2. Reporte mes de enero

2. Etapa de Hacer:

Una vez que se analizó la situación del departamento de antígenos, se procedió a la implementación del ciclo Deming. Las mejoras que se realizaron fueron las siguientes:

1. Diseño de un plan de producción eficiente.
2. Capacitación al personal.
3. Control del inventario.
4. Indicadores visuales.
5. Círculos de calidad.
6. Manual de procedimientos.

3. Etapa de Verificar:

Una vez implementado el ciclo Deming, se llevó a cabo la recolección de información con la finalidad de analizar la mejora en el departamento de producción de antígenos. En la gráfica 3, se muestra que, en el mes de septiembre, una vez que se dio la implementación de las mejoras, se empezó a reducir los días de entrega a destiempo a los clientes, mostrándose la tendencia a la reducción.



Gráfica 3. Reporte de septiembre

En el mes de septiembre se empezó a observar la mejora en el sistema, y la transición siguió, y gracias a lo implementado, desde el mes de agosto a diciembre, se muestra que en tres meses permaneció con pérdidas, pero los últimos meses del año se reportan en cero, este logro alcanzado es por medio de las herramientas o técnicas involucradas en el presente trabajo.

De igual manera se realizó la comunicación con los clientes de inicio, es decir, los que presentaban quejas y cancelaciones de pedidos, por el tiempo de entrega deficiente, y se observan resultados positivos, porque ahora realizan pedidos y se entregan a tiempo.

En México esta empresa nació como necesidad en el mercado sin conocimientos de ingeniería, y gracias a las aportaciones de las técnicas y herramientas, se logró una reducción significativa en el tiempo de elaboración de las vacunas, control de la producción y documentación necesaria en el proceso.

4. Etapa de Actuar:

En esta última etapa se alcanzaron las metas iniciales y se aplicaron las propuestas generadas con anterioridad, como parte de la mejora continua se estableció que se realizará un monitoreo de los indicadores de producción y en caso de tener desviaciones del sistema se aplicaran acciones correctivas correspondientes.

Resultados y discusión

Resultados de los 5 porqués: Se realizó una reunión con el personal clave a cargo del departamento, y de esta manera poder analizar las causas que generaron que el área de producción de antígenos, no haya exigido la priorización del lanzamiento de las órdenes, y además evaluar los elementos que tendrían que haberse considerado desde la implementación del nuevo sistema.

5 PORQUÉS ANÁLISIS DE LA CAUSA RAÍZ DEL PROBLEMAS					
¿Por qué?	Porque 1	Porque 2	Porque 3	Porque 4	Porque 5
¿Por qué se está realizando el lanzamiento de órdenes de producción posterior a la elaboración del producto?	No se lleva un control en los requerimientos de producción	No hay control en sus inventarios	Control de Calidad no está interfiriendo en la inspección del proceso	Planeación no está generando un plan de producción estratégico	El departamento de planeación no interfiere en la planificación del área de Producción de Antígenos
¿Por qué no se consideró el lanzamiento de las órdenes de producción en el sistema ERP?	Los consultores visualizaron el área de Producción de Antígenos como un departamento independiente.	El área de planeación no paso la información correcta.	Se cambió el personal de planeación y este no hizo la trazabilidad correcta.	El área de planeación no conocía la forma de trabajo, con la que están ligados los departamentos y las áreas de producción de IASA.	Se realizó una planificación deficiente en la integración de empresas.
¿Por qué no se está generando la planificación adecuada?	El departamento de planeación no ha dado seguimiento	Es un proceso tardado y de seguimiento constante	Implica implementar técnicas que ayuden a fluir el proceso	El departamento de planeación no se involucra	Falta de comunicación entre los departamentos de; Planeación, Prod. Antígenos y Control de Calidad

Figura 1. Los 5 porqués.

Resultados del Diagrama de Flujo: El sistema indica que posterior a que se realiza un lanzamiento de una orden de producción, en el software LX, tendría que ser impresa para ser evaluada y autorizada por el departamento de control de calidad, siguiendo los pasos como se describen en el diagrama de flujo, que se muestra a continuación:



Figura 2. Diagrama de flujo para la autorización de ordenes de producción.

Resultados del Diagrama de Ishikawa: Mediante una nueva lluvia de ideas, se generó un análisis por medio de un diagrama de Ishikawa, con el personal del departamento afectado (producción de antígenos). En este diagrama se pueden visualizar las variantes que permiten identificar los puntos más relevantes de un sistema deficiente, y que conllevaron a la situación que hoy se presenta en la empresa.

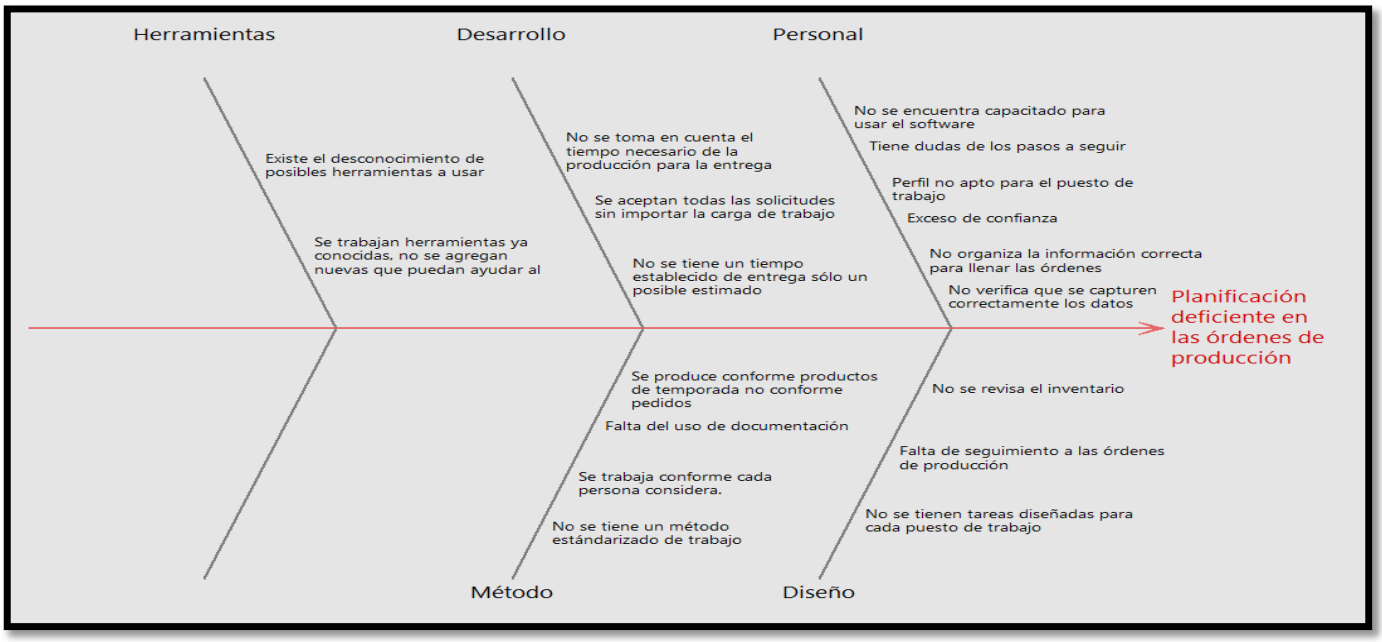


Figura 3. Diagrama de Ishikawa

Resultados de la Técnica 5W + 2H: La tabla 1, representa el diagnóstico de problemas que tiene el departamento, mientas que la tabla 2, visualiza la solución de los problemas conforme lo obtenido en reuniones de trabajo, con las personas involucradas en el proceso.

5"W" + 2"H" Diagnóstico de problemas			
What?	¿Qué?	Problema que se presenta:	1. No se tiene controlada la planeación de sus producciones y tampoco cuenta con un plan de producción estratégico que le permita accionar anticipadamente las ordenes que se requieren para iniciar una producción. 2. Posterior al lanzamiento de una orden de producción en el sistema, esta tendría que ser evaluada y autorizada por el departamento de Control de Calidad para que se verifique que todos los materiales están en regla, es decir, que se encuentran liberados y que cuentan con su vigencia de utilidad.
Where?	¿Dónde?	Lugar dónde ocurre el problema:	En el área de "Producción de Antígenos", de la empresa Sanfer-IASA.
When?	¿Cuándo?	Referencia del tiempo:	A partir de la implementación del nuevo sistema ERP (LX) que se generó en la fusión de empresas Sanfer-IASA.
Who?	¿Quién?	Participa en el problema:	El área de Planeación y Control de Calidad.
How?	¿Cómo?	Forma en que ocurre el problema:	No se está cumpliendo con los lineamientos que marca el sistema.
Why?	¿Porque?	Causa probable de que ocurra el problema:	En el departamento de Producción de Antígenos no se implementó el sistema de trabajo que se aplica en el área de producción del producto terminado (Biológicos).
How Much?	¿Cuanto?	¿Cuántos problemas se dan en un mes? ¿Cuánto dinero está implicando?	Considerando los meses de Enero a Julio 2018, en promedio se dejaron de reportar unos 37 productos mensuales que equivalen en costo $ 318,219.91 pesos y sumando los siete meses contemplados en total son 260 productos con un importe de $ 2,227,533.49 pesos.

Tabla 1. Tabla de Técnica 5W+2H del diagnóstico de problemas.

5"W" Y 2"H" En la solución de problemas			
What?	¿Qué?	Problema se quiere mejorar:	Elaborar un plan de trabajo estratégico para la producción, que le permita accionar anticipadamente sus órdenes desde el sistema y puedan ser evaluadas y autorizadas por el departamento de Control de Calidad, para que este a su vez, verifique que todos los materiales a consumir, están vigentes y se encuentran en regla de acuerdo a sus especificaciones para que se puedan utilizar.
Why?	¿Porque?	Se quiere mejorar:	Para implementar un método de trabajo que ayude a corregir un problema de gestión logística en la planificación y control eficiente del flujo de materiales y producto terminado, así como el flujo de información relacionada con la parte del costo y mano de obra aplicada en el procesos de los productos.
When?	¿Cuándo?	Referencia del tiempo:	Una semana antes de que dé inicio el mes a la producción.
Where?	¿Dónde?	Lugar dónde se va a mejorar:	En el área de "Producción de Antígenos", de la empresa Sanfer-IASA.
Who?	¿Quién?	Participa en la mejora:	El área de Planeación, Producción de Antígenos y Control de Calidad. (Residente)
How?	¿Cómo?	Lo va a mejorar:	Recopilando los datos de productos que requiere el rea solicitante.
How Much?	¿Cuanto?	Costo de producto?	La empresa podrá visualizar su gasto mensual oportuno y accionar su presupuesto mensual considerando en promedio $ 318,219.91 pesos.

Tabla 2. Tabla de la Técnica 5W + 2H sobre las soluciones de mejora.

A continuación, se describen los resultados obtenidos en esta etapa, los cuales, son los siguientes:

1. Diseño de un plan de producción eficiente: Empezó con un catálogo de productos existentes, dado que se desconocía y no estaban dados de alta en ningún departamento, sólo se tenía el conocimiento de los productos más vendidos de la empresa, por la experiencia de los trabajadores con más tiempo en el área de producción de antígenos. Esta acción tuvo como resultado el lanzamiento de ordenes de producción más eficientes una vez identificados todos los productos de la empresa. El catálogo de los productos incluyó un código para cada uno, la descripción, las unidades en que se tienen y por último cantidad de lotes. Se muestra continuación lo explicado.

CODIGO	DESCRIPCION	U/M	ILOTS
5024000012	ACS IA H5N2 L-20	ML	300
5024000013	ACS IA H5N2 L-21	ML	300
5024000014	ACS IA H7N3 L-22	ML	300
5024000015	ACS IA H5N2 L-27	ML	400
5024000016	ACS IA H5N2 L-30	ML	400
5024000018	ACS IA SUBTIPO H5N2	ML	300
5024000021	ACS INFLUENZA PORCINA H1N1	ML	300
5024000022	ACS INFLUENZA PORCINA H3N2	ML	300
5024000070	AG SHP-IAP/92 INACTIVADO	L	2.5
5024000176	AG E COLI CEPA 01/192 INACTIVADO	KG	16
5024000177	AG E COLI CEPA 01/45 INACTIVADO	KG	16
5024000178	AG E COLI CEPA 02 INACTIVADO	KG	16
5024000179	AG E COLI CEPA 035 INACTIVADO	KG	16

Figura 4. Catálogo de la empresa

2. Capacitación al personal: Existía desconocimiento o dudas sobre el software LX, que es el encargado del registro de órdenes de producción, por lo cual, se capacitó al personal sobre la información necesaria para el uso correcto, haciendo hincapié en las fechas de registro y la fecha de entrega de las vacunas. Así como la creación de usuario y contraseña de cada persona que registra las órdenes de producción.

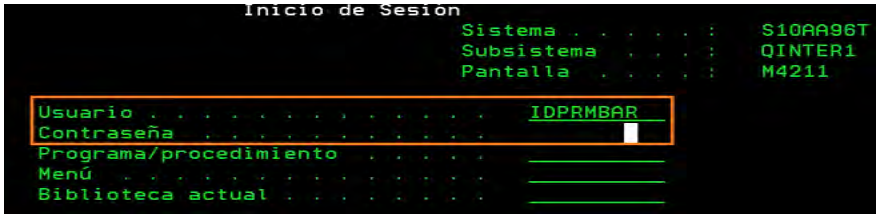


Figura 5. Página de inicio del software LX

3. Control del inventario: Se llevó a cabo el correcto manejo del inventario, empezando con el registro del mismo en el sistema, actualizándose en cada momento de ingresar una orden de producción, dada esta acción se consiguió la información necesaria para elaborar después planes maestros de producción.



Figura 6. Control del inventario del software LX

4. Indicadores visuales: Se documentaron los indicadores de producción, y se evaluaron los métodos de trabajo. En este punto se llevó a cabo la calendarización para la producción de antígenos, y como meta se establece la entrega de los productos dentro del tiempo establecido. De igual forma se propone la elaboración de calendarios de producción visuales con la finalidad de que la comunicación se encuentre lo más clara posible.

sanfer IASA
Investigación Aplicada en Salud Animal

Fecha de elaboración: 05-Nov-2018

CALENDARIO PARA PRODUCCION DE ANTÍGENOS

NOVIEMBRE

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
			1	2 Suspensión de labores	3	4
5	6	7 5024000530 # 29002 CALDO ICC 75 L LOTE: SLICCLV07	8	9 5024001620 #29003 S. HEPES 20 MM 4 L LOTE: 'SLHEPLV02	10	11
12 5024001310 #29004 MEDIO MEM 10 L LOTE: SLMEMLV18	13	14 5024000535 #29289 C. SOYA TRIP. 1 L LOTE: SLCSYLV04	15	16 5024000500 #29290 BICARBONATO DE SODIO AL 7%. 1 L LOTE: SLBICLV02	17	18
19 Suspensión de labores	20 5024000530 # 29291 CALDO ICC 75 L LOTE: SLICCLV08	21	22 5024001795 # 29292 TRIPSINA AL 0.25% 3 L LOTE: SLT2SLV05	23	24	25
26 5024001430 # 29291 P AGAR SANGR 11 L LOTE: SLICCLV08	27	28 5024001310 #29294 MEDIO MEM 10 L LOTE: SLMEMLV19	29	30		

Figura 7. Calendario de producción

5. Círculos de calidad: Se decidió la implementación de círculos de calidad, con la finalidad de presentar los hallazgos encontrados en la fecha correspondiente, causas raíces y posibles soluciones para el sistema. Cada reunión tendrá como evidencia la lista de asistencia y minutas elaboradas donde se plasmen los compromisos y trabajo con fecha de entrega y responsable.



Figura 8. Círculos de calidad

6. Manuales de procedimientos: El diseño de manuales de procedimientos e instructivos de trabajo, se llevó a cabo en la implementación del ciclo Deming, esto con la finalidad de disminuir los errores humanos, dado que existían dudas de cómo realizar procedimientos necesarios para la generación de las ordenes de producción, identificación de lotes, códigos, etc. En lo antes descrito se menciona que se capacitó al personal, pero también se llevó a cabo la documentación con la finalidad de contribuir a la capacitación de las personas involucradas en el proceso, ya sean de nuevo ingreso o personal contratado con anterioridad.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ESTÁNDARES DE OPERACIÓN	Código: IA: PEO/SI/0001	Versión: 02
		Página:	13 de 13
	ASIGNACIÓN DE NUMERO DE LOTE	Vigente hasta:	Julio 2020

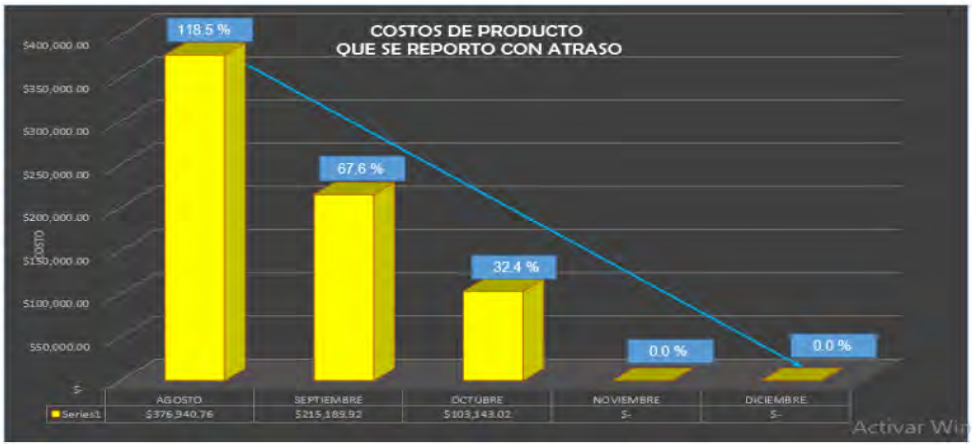
ANEXO 5. CLAVES PARA LOTEAR LAS SOLUCIONES DE PRODUCCIÓN DE ANTÍGENOS.

Soluciones	Lote
Agar ICC	SLAIC
Agar Maconkey	SLMAC
Agar sangre	SLASA
Azul de tripan 0.4%	SLAZT
Bicarbonato de sodio 7%	SLBIC
2-Bromoetilenamina 0.1M	SLBRO
Caldo ICC	SLICC
Caldo soya	SLCSY
Caldo TPB	SLTPB

Figura 9. Manual de procedimientos

Los resultados obtenidos, se presentan en la gráfica 4, en la cual, se observa que a partir de los meses de noviembre y diciembre ya no se presentan pérdidas económicas, reduciéndose los porcentajes de 118.5% a 0%, y desde agosto a diciembre se muestra una tendencia a la reducción. Se confirmo con el departamento de ventas la disminución de la cancelación de pedidos y quejas de los clientes de la empresa.

Cantidad Productos	MES	IMPORTE
39	ENERO	$ 329,674.58
42	FEBRERO	$ 362,329.64
17	MARZO	$ 108,099.22
42	ABRIL	$ 324,081.74
40	MAYO	$ 461,898.37
49	JUNIO	$ 389,604.82
31	JULIO	$ 251,844.91
40	AGOSTO	$ 376,940.76
40	SEPTIEMBRE	$ 215,189.92
20	OCTUBRE	$ 103,143.02
9	NOVIEMBRE	$ -
N/A	DICIEMBRE	$ -
22	ACUMULADO DE AGOSTO A NOVIEMBRE	$ 695,273.71



Gráfica 4. Reporte final

Dados los resultados obtenidos en la reducción de días de entrega, se quedó como acuerdo la implementación del ciclo Deming de manera periódica, con la finalidad de la detección de áreas de oportunidad a tiempo para su corrección y atención. Incluyendo la documentación y seguimiento hasta el control, reducción o eliminación de las observaciones en medida de lo posible.

La implementación del ciclo Deming en el sistema de producción de antígenos de una empresa mexicana dedicada a la fabricación de vacunas, dio lugar a resultados significativos. La entrega tardía de productos ocasionaba pérdidas económicas. Además, la adquisición de la empresa por parte de una compañía más grande al principio causó inestabilidad. Sin embargo, gracias a las etapas del ciclo Deming, la empresa logró un control eficiente de sus procesos internos y externos, realizando un análisis exhaustivo de todas las variables involucradas en la producción de vacunas, lo que permitió reducir errores y mejorar la toma de decisiones en cada área.

Trabajo a futuro

Se propone el seguimiento a las herramientas implementadas, con la finalidad de conservar los resultados obtenidos hasta este momento, del mismo modo la capacitación constante del personal de nuevo ingreso o al que ya se tiene contratado, sobre temas de mejora continua y calidad.

Conclusiones

La selección correcta de los métodos y herramientas que fueron utilizados en el presente trabajo, representaron la base para la implementación de indicadores gráficos, tablas, manuales de procedimientos, catálogos de productos, etc. Estos ayudaron a medir la eficiencia del sistema e implementar el ciclo Deming exitosamente, para el control de la producción, en el área de antígenos de una empresa dedicada a la elaboración de vacunas vivas, inactivas, reconvinantes, liofilizadas y de aspersión. Se tuvieron que realizar diferentes actividades, así como la implementación de métodos y herramientas, ya que se organizó correctamente la información entre los diferentes departamentos, y de esta manera se fortalecieron las debilidades existentes en la generación de ordenes de producción hasta la elaboración de las vacunas, así mismo se enriquecieron las fortalezas de la organización, y se trabaja por una cultura de calidad, que incluya a la mejora continua en sus procesos. Se implementaron círculos de calidad entre los departamentos de planeación, producción de antígenos y control de calidad, para que esto les permitiera fluir la información relacionada con su sistema de trabajo. El principal resultado fue la disminución de los días de entrega de vacunas, que paso de un rango entre 1 a 265 días en promedio de retraso a entregarse a tiempo, lo cual, detuvo la recesión de contratos que sufría la empresa y el número elevado de quejas por parte de los clientes principales.

Agradecimientos

Al departamento de Investigación y Posgrado del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Serdán.

Referencias

[1] Mura, M., & Duflou, J. R. (2021). "The Deming Cycle: A New Approach to Lean Manufacturing." International Journal of Production Research, 59(12), 3648-3663. doi:10.1080/00207543.2020.1820195.

[2] George, M. L. (2021). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide for Improving Quality, Process Control, and Profitability*. McGraw-Hill. (Incluye los 5 porqués como herramienta de mejora continua)

[3] Snee, R. D. (2021). "The Ishikawa Diagram: A Tool for Continuous Improvement." *Quality Progress*, 54(7), 26-31. (Exploración de su uso en procesos de mejora continua)

[4] Dutta, A. (2022). "Applying the Deming Cycle in Agile Software Development." Journal of Software Engineering and Applications, 15(3), 120-134. doi:10.4236/jsea.2022.153008.

[5] Zhang, Y., & Li, X. (2023). "Integrating the Deming Cycle into Project Management for Continuous Improvement." Project Management Journal, 54(1), 24-36. doi:10.1177/87569728211047202.

[6] Smith, J. (2020). "Quality Management: The Legacy of W. Edwards Deming." Quality Management Journal, 27(4), 214-223. doi:10.1080/10676979.2020.1795128

[7] Sweeney, S. (2021). "Implementing the Deming Cycle for Quality Improvement in Healthcare." Journal of Health Organization and Management, 35(6), 734-746. doi:10.1108/JHOM-09-2020-0322.

[8] Kumar, R., & Singh, A. (2022). "Revisiting Deming's Principles: Lessons for Modern Manufacturing." International Journal of Quality & Reliability Management, 39(3), 563-576. doi:10.1108/IJQRM-04-2021-0142.

[9] Park, J. H., & Lee, K. (2023). "Adapting the Deming Cycle for Sustainable Business Practices." Sustainability, 15(2), 1124. doi:10.3390/su15021124.

[10] Jadhav, J. R., & Pandiya, S. (2022). "Effectiveness of the Deming Cycle in Service Industries: A Case Study." Total Quality Management & Business Excellence, 33(5-6), 590-601.

REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PREPARACIÓN EN MAQUINARIA DE CAJAPLAX S. A. CON LA METODOLOGÍA SMED

L. A. Hernández Sánchez[1], A. Calderón Jiménez [1], A. C. Valdés Álvarez [1], C. Méndez Rivera[1] E. González González[1]*
[1]Tecnológico Nacional de México/ ITS de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El proyecto presentado se centra en la implementación de la metodología SMED (*Single Minute Exchange of Die*) para reducir los tiempos de preparación en la maquinaria de decorado de una planta de producción de envases plásticos. Se identificaron factores clave que contribuyen a los tiempos de cambio, tales como herramientas, materiales, ajustes y pruebas de calidad. Mediante la aplicación de fases preliminares, como la separación de operaciones internas y externas, y la mejora de las operaciones, se logró una reducción significativa en los tiempos de producción, lo que incrementó la eficiencia de la planta.

Palabras clave: *SMED, Tiempos de preparación, Envases plásticos, Mejora de procesos.*

Abstract

The project presented focuses on the implementation of the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology to reduce setup times in the decorating machinery of a plastic packaging production plant. Key factors contributing to changeover times were identified, such as tools, materials, adjustments and quality tests. By applying preliminary phases, such as the separation of internal and external operations, and improving operations, a significant reduction in production times was achieved, which increased the plant's efficiency.

Key words: *SMED, Setup time, Plastic containers, Process improvement.*

Introducción

El presente artículo expone la implementación de la metodología SMED en una empresa dedicada a la fabricación de envases plásticos, que utiliza resinas como PET, policarbonato, polipropileno y polietileno para la producción de artículos destinados a aplicaciones médicas y de cuidado personal. Esta empresa cuenta con maquinaria avanzada que incluye procesos de inyección, estirado-soplado, extrusión-soplado, moldeo por inyección, y decoración mediante técnicas como *heat transfer* y *hot stamping*.

El objetivo principal del proyecto se centra en reducir los tiempos de preparación en el área de *Heat Transfer*, donde se identificaron ineficiencias significativas que impactaban a la productividad y los costos operativos. Se aplicó la metodología SMED con el fin de agilizar los tiempos de cambio de lote de producción en una de las seis máquinas del área, realizando pruebas piloto para luego replicarlas en el resto de los equipos. La implementación de esta técnica permitió reducir tiempos

improductivos, minimizar el tiempo ocioso y mejorar la eficiencia general del proceso, todo ello sin incurrir en costos adicionales significativos.

Metodología

El proyecto se llevó a cabo en una empresa que fabrica envases plásticos a partir de resinas higroscópicas (PET y policarbonato) y no higroscópicas (polipropileno y polietileno de alta y baja densidad) para aplicaciones médicas y de cuidado personal. La empresa cuenta con maquinaria avanzada para procesos de inyección, estirado soplado, extrusión soplo, moldeo por inyección, *blíster packs*, *hot stamping*, *heat transfer* y empacado. La transformación del plástico comienza en el área de inyección, donde se convierte la resina en envases plásticos. Luego, en la planta cuatro, se realiza el decorado y empaquetado para su envío.

El análisis se centró en el área de *Heat Transfer*, que cuenta con seis máquinas. Mediante observación directa y entrevistas con el Facilitador de producción y el Operador líder, se identificaron problemas como tiempos prolongados de preparación y grandes cantidades de tiempo ocioso, lo que elevaba los costos de producción. Para abordar estos problemas, se implementó la metodología SMED (Ver Figura 1), que busca reducir los tiempos de cambio de lote. [6] Se realizaron pruebas piloto en una máquina con el fin de replicar los resultados en las demás, optimizando así el proceso de decorado.



Figura 1. Metodología utilizada en el proyecto.

Fase Preliminar

En el área de *Heat Transfer* puede trabajar una sola máquina o incluso estar funcionando hasta las seis al mismo tiempo, dependiendo de la cantidad de demanda. El tiempo que se tiene para producir en una jornada laboral es de 8.5 hrs., de las cuales, los tiempos de cambio representan 0.4709 hrs. o 28.254 min., por lo que prácticamente la máquina tiene un porcentaje efectivo de producción del 94.46% y un 5.54% no agrega valor al producto. En la Tabla 1 se muestra el resumen de estos tiempos al funcionar una sola máquina y cuando están funcionando las seis al mismo tiempo, con cálculos por jornada y durante todo un año, de esta manera se dimensiona el tiempo improductivo que generan los cambios del lote, representando una pérdida de tiempo considerable.

Tabla 1. Datos del tiempo de cambio de lote.

No. Maquinas	% sobre jornada laboral (8.5 Horas)	Anualmente en horas. (52 Semanas)
1	5.54%	122.46
6	33.24%	734.76

Se analizó las operaciones y se determinó que existen cuatro factores principales en los cuales se divide el tiempo de cambio de lote de producción de la máquina *Heat Transfer*. A continuación, se describe cómo puede afectar cada uno de ellos en la operación:

Herramienta: para transferir la imagen en el frasco 850 se utiliza una calca, pero no se cuenta con la herramienta necesaria para hacer el cambio de estas, así como para realizar el posicionamiento del mandril y la manipulación de los ajustes de la maquinaria.

Materiales: al terminar de producir un lote del de producción, no se tiene a la mano la materia prima e insumos utilizados para el siguiente lote de producción, por lo que en ese momento se debe solicitar a Almacén.

Ajustes: se debe posicionar y ajustar el mandril para posteriormente ajustar la calca para poder ejecutar la impresión, pero estas actividades se llevan de manera empírica, por lo que se tienen muchos reajustes. Además, la forma del mandril y el tipo de calca influyen, y en algunas ocasiones se rompe la calca, generando una merma.

Pruebas de calidad: una vez que se termina de imprimir el lote de frascos, se le debe hacer una prueba de calidad para poder autorizar el siguiente lote, en ocasiones el analista no se encuentra, por lo que se tienen tiempos de espera, muchos de estos mencionados se encuentran entre los 7 grandes desperdicios. [2]

Para poder visualizar el tiempo que representa cada uno de estos factores, se realizó un estudio de tiempos [4], el cual se puede apreciar en la Tabla 2, visualizando que los factores que más tiempo representan son el ajuste del mandril y la calca, así como de las pruebas de calidad.

Tabla 2. Datos del tiempo de cambio de lote.

No.	Herramienta	Materiales	Ajustes		Pruebas	Tiempo de ciclo
			Mandril	Calca	Calidad	
1	187.87	98.93	355.97	240.31	1,093.13	1,976.21
2	167.16	42.99	513.39	275.55	1,197.64	2,196.73
3	15.75	46.84	448.67	229.86	633.39	1,374.51
29	72.15	89.14	486.98	286.17	750.87	1,685.31
30	155.12	45.9	501.1	256.11	807.05	1,765.28
Total:	3,474.63	3,963.43	13,663.39	7,092.81	22,699.26	50,893.52
Promedio en Segundos:	115.82	132.11	455.44	236.42	756.64	1,696.43
Promedio en Horas:	0.032	0.036	0.126	0.065	0.21	0.471

Aparte del tiempo, es importante considerar las veces que se presentan incidencias que ocurren en cada factor, por lo que se requiere determinar la frecuencia de cada una de estas, para ello se utilizó una lista de verificación, en la cual se recolectaron las frecuencias ocurridas durante 2 semanas, con la información obtenida se realizó un gráfico de Pareto, ya que este permite determinar cuáles son los factores que tienen mayores incidencias y centrar nuestros esfuerzos en estas para mejorar sus tiempos, [3] el gráfico de Pareto se muestra en la Figura 2, se puede observar que los factores que tienen más incidencias son los del ajuste del mandril, el cual representa un 37.2% de las incidencias totales y el ajuste por calca, el cual representa un 25.1%, por lo cual, si las mejoras se enfocan en estos factores, se podrá tener un impacto en el 62.3% de las incidencias totales.

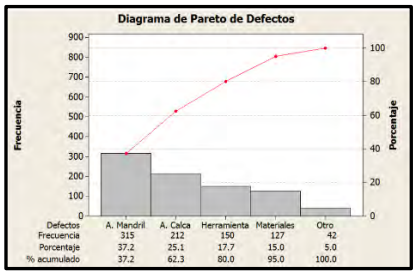


Figura 2. Gráfico de Pareto de incidencias o defectos en cada factor.

El método actual del uso de la máquina de transferencia lo realiza una sola persona. Mediante observación directa y con apoyo de vídeos, se identificaron las tareas que conforman el cambio del lote de producción, estas se dividen en 107 actividades, de las cuales muchas son muy repetitivas y pueden ser disminuidas o eliminadas, según sea el caso. En la Tabla 3 se encuentran enlistadas todas las actividades que conforman el cambio de lote de producción, desde la primera que es el ajuste de la temperatura hasta la última que es el arranque de producción del siguiente lote.

Tabla 3. Operaciones de método actual.

Etapa preliminar: SMED							
Área:	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	No.	Operación	No.	Operación
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	35	Reubica posicionamiento de mandril	72	Habilita tensión en calca
Proceso actual				36	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	73	Ajusta temperatura
No.	Operación			37	Reubica posicionamiento de mandril	74	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
1	Ajusta la temperatura			38	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	75	Realiza segunda prueba de impresión
2	Inhabilita tensión en calca			39	Reubica posicionamiento de mandril	76	Retira frasco 850 decorado de mandril
3	Busca herramienta (Cúter)			40	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	77	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
4	Corta calca de arte actual			41	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	78	Ajusta meza
5	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			42	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	79	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
6	Retira basura de calca de arte actual			43	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	80	Realiza tercera prueba de impresión
7	Busca herramienta (Llave allen)			44	Ajusta meza	81	Retira frasco 850 decorado de mandril
8	Retira tornillo allen del R.C.A.A.			45	Realiza despeje de área	82	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
9	Retira resorte de apoyo al R.C.A.A.			46	Surte frasco, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A	83	Ajusta meza
10	Retira disco de R.C.A.A.			47	Coloca en posición R.C.N.A	84	Deshabilita tensión en calca
11	Retira R.C.A.A.			48	Coloca disco de R.C.N.A.	85	Ajusta temperatura
12	Sella R.C.A.A.			49	Busca herramienta (Llave allen)	86	Busca herramienta (Llave allen)
13	Desamarra R.D.C.D.A.A.			50	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	87	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril
14	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			51	Ajusta T.A. en R.C.N.A.	88	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril
15	Sella R.D.C.D.A.A.			52	Atornilla T.A. en R.C.N.A.	89	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera fija
16	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			53	Coloca en posición calca del nuevo arte	90	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera fija
17	Busca herramienta (Llave allen)			54	Ajusta calca del nuevo arte	91	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril
18	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			55	Introduce R.D.C.D.N.A.	92	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril
19	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			56	Amarra R.D.C.D.N.A.	93	Habilita tensión en calca
20	Retira T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			57	Habilita tensión en calca	94	Ajusta temperatura
21	Retira T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			58	Ajusta temperatura	95	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
22	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho			59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	96	Realiza cuarta prueba de impresión
23	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo			60	Realiza primera prueba de impresión	97	Retira frasco 850 decorado de mandril
24	Retira mandril de arte actual			61	Retira frasco 850 decorado de mandril	98	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
25	Busca mandril de N.A.			62	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	99	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba
26	Saca mandril de N.A.			63	Deshabilita tensión en calca	100	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión
27	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún posicionamiento			64	Ajusta temperatura	101	Ajusta meza
28	Guarda mandril de arte actual			65	Busca herramienta (Llave allen)	102	Ajusta presión
29	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica			66	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	103	Realiza quinta prueba de impresión
30	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica			67	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	104	Retira frasco 850 decorado de mandril
31	Ajusta meza			68	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	105	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco
32	Ajusta presión			69	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	106	Realiza prueba de calidad con la quinta prueba
33	Prueba nivel de presión			70	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	107	Arranca lote de producción
34	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica			71	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	T.A. Tornillos allen	
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual		R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte		R.D.C.D.A.A. Rollo de codigo de arte actual		R.D.C.D.N.A. Rollo de codigo de nuevo arte	

Fase 1. Separar operaciones internas de las externas

Posteriormente realizo un estudio de tiempos de todas las actividades y se procedió a separarlas en operaciones internas y externas, para ello fue necesario trabajar junto con el Líder del proceso de *Heat Transfer* y una Ajustadora, los cuales tienen un amplio conocimiento sobre el proceso de cambio de lote de producción, así como de la maquinaria, herramentales y los procesos necesarios para realizar un arte de impresión en el frasco 850. Apoyaron corroborando la división de las operaciones para determinar cuáles pueden ser consideradas como internas y externas. Al realizar la clasificación, 97 actividades fueron consideradas como internas que representan 47.01 min., y 10 como externas con un tiempo de 0.83 min., representando un total de cambio de lote de producción de 47.84 min. Dicho tiempo puede reducirse a 47.01 min., que es lo que duran las actividades internas, ya que las externas se pueden realizar mientras la máquina esté funcionando y no afectarían el tiempo de cambio, reduciéndolo en un 1.73%. La información se puede visualizar en la Tabla 4, en la cual se aprecia la separación de las actividades internas de las externas.

Tabla 4. Identificación de las actividades internas y externas.

Fase 1: SMED													
Área:	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:	No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	47.84 min	35	Reubica posicionamiento de mandril	16.39		72	Habilita tensión en calca	3.7	
Proceso actual				Tiempo actual	36	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1		73	Ajusta temperatura	15.18	
No.	Operación			Interno / Externo	37	Reubica posicionamiento de mandril	13.25		74	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	4.4	
1	Ajusta la temperatura			7.22	38	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1		75	Realiza segunda prueba de impresión	6.1	
2	Inhabilita tensión en calca			4.1	39	Reubica posicionamiento de mandril	5.23		76	Retira frasco 850 decorado de mandril	1.85	
3	Busca herramienta (Cúter)			6.46	40	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	8.5		77	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	8.73	
4	Corta calca de arte actual			3.2	41	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	7.45		78	Ajusta meza	9.61	
5	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			7.6	42	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	9.6		79	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	3.6	
6	Retira basura de calca de arte actual			36.39	43	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	9.2		80	Realiza tercera prueba de impresión	6.1	
7	Busca herramienta (Llave allen)			6.51	44	Ajusta meza	7.5		81	Retira frasco 850 decorado de mandril	1.5	
8	Retira tornillo allen del R.C.A.A.			8.9	45	Realiza despeje de área	348.69		82	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	9.68	
9	Retira resorte de apoyo al R.C.A.A.			3.2	46	Surte frasco, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A	131.28		83	Ajusta meza	8.29	
10	Retira disco de R.C.A.A.			3.4	47	Coloca en posición R.C.N.A	5.9		84	Deshabilita tensión en calca		3.1
11	Retira R.C.A.A.			5.7	48	Coloca disco de R.C.N.A.	3.6		85	Ajusta temperatura		5.4
12	Sella R.C.A.A.			2.5	49	Busca herramienta (Llave allen)	6.5		86	Busca herramienta (Llave allen)	6.46	
13	Desamarra R.D.C.D.A.A.			8.3	50	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	5.2		87	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	9.85	
14	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			4.2	51	Ajusta T.A. en R.C.N.A.	2.54		88	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	9.1	
15	Sella R.D.C.D.A.A.			2.3	52	Atornilla T.A. en R.C.N.A.	8.6		89	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera fija	8.6	
16	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			9.1	53	Coloca en posición calca del nuevo arte	5.2		90	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera fija	8.2	
17	Busca herramienta (Llave allen)			6.36	54	Ajusta calca del nuevo arte	20.01		91	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	11.74	
18	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			8.51	55	Introduce R.D.C.D.N.A.	8.1		92	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	9.1	
19	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			8.47	56	Amarra R.D.C.D.N.A.	9.7		93	Habilita tensión en calca	2.94	
20	Retira T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril			2.3	57	Habilita tensión en calca	4.1		94	Ajusta temperatura	5.6	
21	Retira T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			1.8	58	Ajusta temperatura	12.2		95	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	4.4	
22	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho			3.7	59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		5.3	96	Realiza cuarta prueba de impresión	6.1	
23	Retira guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo			4.12	60	Realiza primera prueba de impresión		6.1	97	Retira frasco 850 decorado de mandril	1.23	
24	Retira mandril de arte actual			10.75	61	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.3	98	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	8.65	
25	Busca mandril de N.A.			22.68	62	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco		7.98	99	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba	1000.8	
26	Saca mandril de N.A.			8.65	63	Deshabilita tensión en calca		3.12	100	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión	3.56	
27	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún			6.35	64	Ajusta temperatura		5.03	101	Ajusta meza	9.13	
28	Guarda mandril de arte actual			19.47	65	Busca herramienta (Llave allen)	6.52		102	Ajusta presión	12.3	
29	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica			4.3	66	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	8.51		103	Realiza quinta prueba de impresión	6.1	
30	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica			3.9	67	Desatornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	8.48		104	Retira frasco 850 decorado de mandril	2.31	
31	Ajusta meza			26.42	68	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	2.1		105	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco	10.14	
32	Ajusta presión			17.56	69	Reubica guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	2.5		106	Realiza prueba de calidad con la quinta prueba	619.92	
33	Prueba nivel de presión			6.1	70	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril	9.4		107	Arranca lote de producción	0	
34	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica			8.47	71	Atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril	9.54		T.A. Tornillos allen			
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual			R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte		R.D.C.D.A.A. Rollo de codigo de arte actual				R.D.C.D.N.A. Rollo de codigo de nuevo arte			

Fase 2. Convertir actividades internas en externas

En la segunda fase es necesario poder convertir operaciones internas en externas, para ello, se identificaron las tareas que podrían cumplir con esto sin afectar el funcionamiento correcto del proceso operacional del arte de impresión del frasco 850. Para poder realizar esta conversión se requirió consultar a la Ajustadora, así como a Colaboradoras y Líder del proceso, dado que su experiencia juega un papel muy importante para las acciones de esta fase. Al concluir esta etapa, se permitirá reducir el tiempo de preparación, resaltando que hasta el momento no se requiere de inversión alguna. En esta fase se pasó a tener 41 actividades internas, las cuales representan 14.92 min. y 35 externas con una duración de 31.70 min., reduciendo el cambio de lote de producción total a 46.62 min. Observamos que dicho tiempo puede reducirse a 14.92 min., que es el tiempo que duran las actividades internas, reduciendo el tiempo de cambio de lote de producción en un 68.82%, con respecto al inicial (47.84 min.). En la Tabla 5 se puede visualizar las actividades convertidas de internas a externas.

Tabla 5. Conversión de actividades internas en externas.

Fase 2: SMED													
Área:	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:		No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	46.62 min		25	Revisa posicionamiento de mandril con silicón de manera empírica	8.47		52	Realiza segunda prueba de impresión		6.1
Proceso actual				Tiempo actual		26	Reubica posicionamiento de mandril	16.39		53	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.85
No.	Operación			Interno	Externo	27	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1		54	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco		8.73
1	Ajusta la temperatura				7.22	28	Reubica posicionamiento de mandril	13.25		55	Ajusta meza		9.61
2	Deshabilita tensión en calca				4.1	29	Prueba posicionamiento de silicón con mandril	6.1		56	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		3.6
3	Corta calca de arte actual			3.2		30	Reubica posicionamiento de mandril	5.23		57	Realiza tercera prueba de impresión		6.1
4	Reacomoda calca en el rollo de arte actual			7.6		31	Reubica guarda y atornilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica	18.1		58	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.5
5	Retira basura de calca de arte actual			36.39		32	Reubica guarda y atornilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica	16.65		59	Revisa el posicionamiento del nuevo arte en frasco		9.68
6	Retira tornillo allen y resorte de apoyo del R.C.A.A.			12.1		33	Ajusta meza	7.5		60	Ajusta meza		8.29
7	Retira disco de R.C.A.A.			3.4		34	Realiza despeje de área	348.69		61	Desatornilla T.A. reubica guarda de manera fija y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril		30.19
8	Retira R.C.A.A.			5.7		35	Surte frasco 850, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A	131.28		62	Desatornilla T.A. reubica guarda de manera fija y atornilla T.A. de seguridad en meza		26.4
9	Sella R.C.A.A.			2.5		36	Coloca en posición R.C.N.A	5.9		63	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.4
10	Desamarra R.D.C.D.A.A.			8.3		37	Coloca disco de R.C.N.A.	3.6		64	Realiza cuarta prueba de impresión		6.1
11	Corta basura de R.D.C.D.A.A.			4.2		38	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	5.2		65	Retira frasco 850 decorado de mandril		1.23
12	Sella R.D.C.D.A.A.			2.3		39	Ajusta y atornilla T.A. en R.C.N.A.	11.14		66	Revisa el posicioncmiento del nuevo corte en frasco		8.65
13	Retira basura de R.D.C.D.A.A.			9.1		40	Ajusta calca del nuevo corte	25.21		67	Recliza prueba de calidad con la cuarta prueba		1000.8
14	Desatornilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado derecho del mandril			14.51		41	Habilita tensión en calca	4.1		68	Coloca frcsco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		3.56
15	Desatornilla,retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado izquierdo del mandril			14.39		42	Ajusta temperctura	12.2		69	Ajusta meza		9.13
16	Retira mandril de corte actual			10.75		43	Introduce RD.C.D.N.A.		8.1	70	Ajusta presión		12.3
17	Busca y saca mandril de N.A.			31.33		44	Amarra R.D.C.D.N.A.		9.7	71	Ajusta temperctura		9.71
18	Coloca mandril de N.A. en meza sin ningún posicionamiento			6.35		45	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		5.3	72	Realiza quinta prueba de impresión		6.1
19	Guarda mandril de corte actual			19.47		46	Realiza primera prueba de impresión		6.1	73	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.31
20	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado derecho de manera empírica			4.3		47	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.3	74	Revisa el posicioncmiento del nuevo corte en frasco		10.14
21	Coloca guarda de seguridad de mandril en meza lado izquierdo de manera empírica			3.9		48	Revisa el posicionamiento del nuevo corte en frasco		7.98	75	Realiza prueba de calidad con la quinta prueba		619.92
22	Ajusta meza			26.42		49	Desatornilla T.A. reubica guarda mcnera empírica y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho del mandril		20.01	76	Arranca lote de producción	0	
23	Ajusta presión			17.56		50	Desatornilla T.A. reubica guarda manera empírica y atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo del mandril		20.52				
24	Prueba nivel de presión			6.1		51	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.4		T.A. Tornillos allen		
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual			R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte			R.D.C.D.A.A. Rollo de codigo de arte actual				R.D.C.D.N.A. Rollo de codigo de nuevo arte			

Fase 3. Mejorar todas las operaciones del cambio de presentación

Después de realizar la separación de las actividades internas y externas, estas se deben mejorar, para reducir aún más el tiempo de cambio de lote. Para ello, se analizó entre otras, algunas de las herramientas de Manufactura esbelta, las cuales permitieron reducir el tiempo de las operaciones internas y externas considerablemente, a continuación, se describe cada una de ellas.

Layout

Por la emergencia sanitaria (SAR-COV-2) se fusionaron la planta dos con la cuatro, debido al giro de esta, hubo un incremento de procesos, así como de personal, maquinaria y equipos de apoyo a los procesos recién removidos. La distribución actual de la empresa se visualiza en la Figura 3, la cual está dividida en dos áreas: Área 1 (integrada por *Heat Transfer*, etiquetado y empaque) y Área 2 (incluye el área de Empaque, la cual no cuenta con su adecuada asignación).

Debido al incremento de la demanda actual de la empresa, es necesario un mayor espacio para el área de *Heat Transfer*, por lo que una redistribución de la planta puede ayudar a tener un mejor tiempo de respuesta para el cambio de lote de producción. [1]

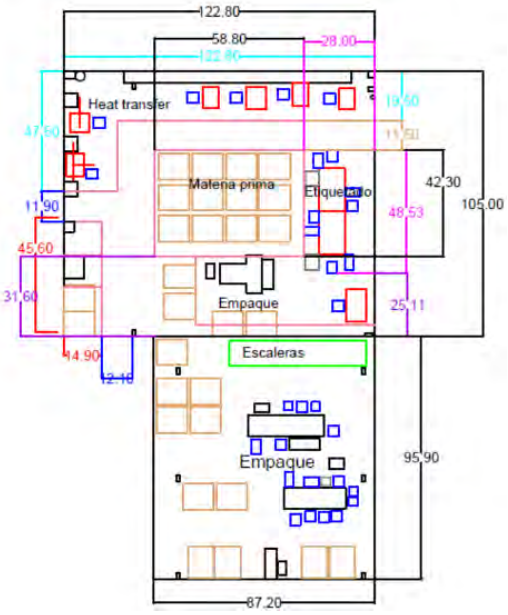


Figura 3. Distribución actual de la planta.

Kanban

Actualmente se manejan órdenes de producción, pero solo las conoce Planeación, Facilitadores, Almacén y Líder del proceso, dicha orden contiene únicamente el tamaño del lote de producción, así como los días teóricos de producción, entre otra información relacionada con el lote. Por confidencialidad de la empresa, no se mostrarán los datos reales de la demanda del frasco 850 así como de su variación.

Se propone el uso de tarjetas *kanban* de producción dentro del proceso, estas funcionarán de acuerdo al tamaño del lote de producción y a los estándares ya establecidos por el mismo personal de facilitadores de las piezas realizadas por jornada laboral. Estas tarjetas las deberán tener las Colaboradoras y Decoradoras del proceso, de esta manera se conocerá de manera anticipada su cambio de lote de producción, por lo que todos los requerimientos y operaciones de este proceso se podrán llevar a cabo de una manera más efectiva. [5] En la Figura 4 se muestra la propuesta de la tarjeta *kanban* a utilizar junto con su información requerida, esta tendrá una fácil comprensión, será realizada por Planeación, registrará la información administrativa a la que tiene acceso junto con el Facilitador, se programará mediante el estándar del producto, jornada laboral y lote de producción. La tarjeta *kanban* controlará que no haya sobreproducción y reducirá el tiempo ocioso utilizado en las actividades, esta se implementará con la finalidad de programar, anticipar y preparar el siguiente lote de cambio de producción.

CAJAPLAX	TARJETA KANBAN		P4
	Proceso:	1	Lote: 3
	ODP:	2	Clave: 4
Producto:	5		
Días de producción: 6	Inicio: 7		Termino: 8
	No. Maquinas:		9
Cantidad a producir (por maquina):	Maquina 1: 10		
	Maquina 2: 10		
Ayuda visual del arte:			
11		12	

Figura 4. Propuesta de tarjeta *kanban* de producción.

Poka Yoke

Se realizó un análisis y se visualizó que la mayor parte del tiempo de los ajustes son debidos al posicionamiento del mandril, ya que estos se realizan de manera empírica, repitiéndose varias veces, ya que no existe un estándar de colocación, presentando desniveles. Cabe mencionar que esta tarea juega un papel muy importante para de la decoración de los frascos 850, por lo que se requiere mejorar dicha operación, para ello se propone utilizar un *poka yoke* de posicionamiento, de esta manera se puede reducir los ajustes innecesarios, en la Figura 5 se muestra una foto de la máquina, en ella se observa que en la mesa se coloca el mandril del arte que se va a decorar, sin manejar ningún estándar y/o ayuda visual que ayuden a que el ajuste se lleve a cabo correctamente y de manera rápida y fija, posteriormente se barrena para insertar los tornillos allen, para que las guardas de seguridad fijen el mandril, dichos barrenos no están en sintonía con la posición del mandril, los tornillos en la mesa generan un desgaste de los metales significativo día con día, lo cual afecta para tener un ajuste adecuado.

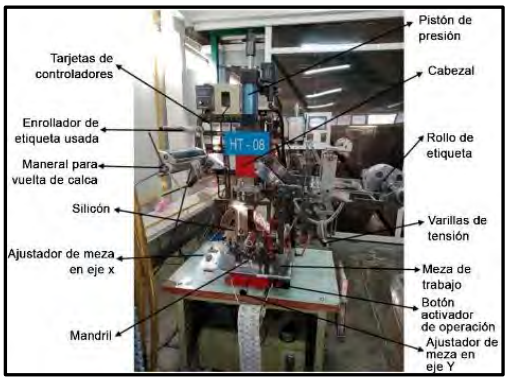


Figura 5. Componentes de máquina HT-08.

Resultados y discusión

SMED

Para tener una mejor organización, comprensión y utilización de esta metodología, en la Tabla 6 se muestran las actividades mejoradas tanto internas como externas, las cuales se visualizan de la siguiente manera:

- Tiempo 0: En este tiempo se distribuirá la tarjeta *kanban,* a las partes involucradas (Facilitadores, líder de proceso y colaboradoras), esto permitirá conocer el próximo arte a decorar, por lo que se podrá tener su previa preparación del lote de producción.
- Tiempo 1: Se efectúa el cambio de lote de producción, es decir, se realiza el desmontaje de arte actual y se realiza el despeje de área, para dar continuidad al siguiente tiempo.
- Tiempo 2: Se realiza montaje del nuevo arte, ajustando la maquinaria con el mismo y para así hacer las debidas pruebas con el departamento de calidad, para el arranque de producción.
- Tiempo 3: Se termina el proceso de cambio de lote producción, garantizando por el departamento de calidad su aceptación para su arranque de producción, del nuevo arte.

En esta fase se pasó a tener 27 actividades internas, las cuales representan 13.08 min. y 37 externas con una duración de 21.40 min., reduciendo el cambio de lote de producción total a 34.48 min. Observamos que dicho tiempo puede reducirse a 13.08 min., que es el tiempo que duran las actividades internas, acortando el tiempo de cambio de lote de producción en un 72.67%, con respecto al inicial (47.84 min.).

Tabla 6. Mejorar operaciones tanto internas como externas.

Fase 3: SMED												
Área:	Heat Transfer	Maquina:	Herramientas requeridas:	Tiempo de cambio:	No.	Operación	Interno	Externo	No.	Operación	Interno	Externo
Realiza:	Luis Alberto Hdz. Sánchez	HT-03	Juego de llaves allen, Cúter	34.48 min	20	Coloca guarda y atornilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado izquierdo	17.48		43	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		15.86
Tiempo 0:		Entrega de tarjeta Kanban a decoradora			21	Realiza despeje de área	389.6		44	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo de manera empírica		15.88
Tiempo 1:		Realizar desmontaje de arte actual / Despeje de área			22	Surte frasco 850, R.C.N.A. y R.D.C.D.N.A.	140.6		45	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.35
Proceso futuro			Tiempo futuro		Tiempo 2:	Realizar montaje de nuevo arte / Ajustar y hacer pruebas			46	Realiza segunda prueba de impresión		4.3
No.	Operación		Interno	Externo	23	Coloca en posición R.C.N.A	3.96		47	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.09
1	Ajusta la temperatura			5.94	24	Coloca disco de R.C.N.A.	2.98		48	Revisa el decorado		7.38
2	Deshabilita tensión en calca			3.56	25	Coloca resorte de apoyo a R.C.N.A.	3.48		49	Ajusta meza		10.35
3	Corta calca de arte actual		3.01		26	Ajusta y atornilla T.A. en R.C.N.A.	10.31		50	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		14.78
4	Reacomoda calca en el rollo de arte actual		7.02		27	Busca tensión adecuada en varillas de maquina	22.64		51	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo		17.39
5	Retira basura de calca de arte actual		29.58		28	Habilita tensión en calca	3.21		52	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.08
6	Retira tornillo allen y resorte de apoyo del R.C.A.A.		10.67		29	Introduce R.D.C.D.N.A.		5.23	53	Realiza tercera prueba de impresión		4.3
7	Retira disco de R.C.A.A.		3.2		30	Amarra R.D.C.D.N.A.		6.54	54	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.03
8	Retira R.C.A.A.		4.68		31	Ajusta presión		16.76	55	Revisa el decorado		8.58
9	Sella R.C.A.A.		2.03		32	Ajusta meza		7.68	56	Ajusta tensión en calca		7.64
10	Desamarra R.D.C.D.A.A.		8.01		33	Ajusta tensión en calca		4.03	57	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho de manera fija		20.65
11	Corta basura de R.D.C.D.A.A.		3.95		34	Desatornilla T.A., reubica posicionalmiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado derecho		17.73	58	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo de manera fija		21.02
12	Sella R.D.C.D.A.A.		2.01		35	Desatornilla T.A; reubica posicionamiento de mandril y guarda de seguridad, y atornilla T.A. de seguridad en meza lado izquierdo		17.89	59	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.38
13	Retira basura de R.D.C.D.A.A.		8.97		36	Coloca frasco 850 virgen en mandril para prueba de impresión		4.21	60	Realiza cuarta prueba de impresión		4.3
14	Desatornilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado derecho del mandril		12.32		37	Realiza primera prueba de impresión		4.3	61	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.05
15	Desatornilla, retira T.A. y retira guarda de seguridad en meza lado izquierdo del mandril		12.68		38	Retira frasco 850 decorado de mandril		2.19	62	Revisa el decorado		12.38
16	Retira y guarda mandril de arte actual		29.76		39	Revisa el decorado		6.78	63	Realiza prueba de calidad con la cuarta prueba		977.72
17	Busca y saca mandril de N.A.		29.53		40	Ajusta presión		7.22	Tiempo 3:	Arranca lote de producción		
18	Coloca mandril de N.A. en meza		6.38		41	Ajusta meza		8.2	64	Arranca lote de producción	0	
19	Coloca guarda y atornilla T.A. de seguridad de mandril en meza lado derecho		16.51		42	Ajusta tensión en calca		4.38	T.A. Tornillos allen			
R.C.A.A. Rollo de calca de arte actual			R.C.N.A. Rollo de calca de nuevo arte			R.D.C.D.A.A. Rollo de codigo de arte actual				R.D.C.D.N.A. Rollo de codigo de nuevo arte		

Para poder apreciar de una forma más clara la reducción significativa al implementar el SMED, se presenta la Tabla 7, en la cual se compara la situación actual con la futura. El porcentaje efectivo de producción subiría de 94.46% a 98.49%. Considerando que se estarán utilizando las 6 máquinas *Heat transfer,* esto debido al incremento de demanda por la pandemia, la empresa se ahorraría en tiempos de cambio 2.0556 hrs. diarias, lo que es equivalente a 41.112 hrs. mensuales o 2,137.824 hrs. anuales.

Tabla 7. Comparativa de resultados obtenidos.

	Porcentaje efectivo producción	No agrega valor al producto
Situación actual	94.46%	5.54%
Después de aplicar SMED	98.49%	1.51%

Redistribución

En la redistribución propuesta (Ver Figura 6) se tendrá operando las seis máquinas constantemente debido al incremento de la demanda, esta se dividirá en las dos áreas de la siguiente manera: Área 1 (se encontrará el área de *Heat transfer* y Etiquetado) y Área 2 (incluye el proceso general de Empaque con su debida designación de materia prima, Corrugado y Producto determinado).

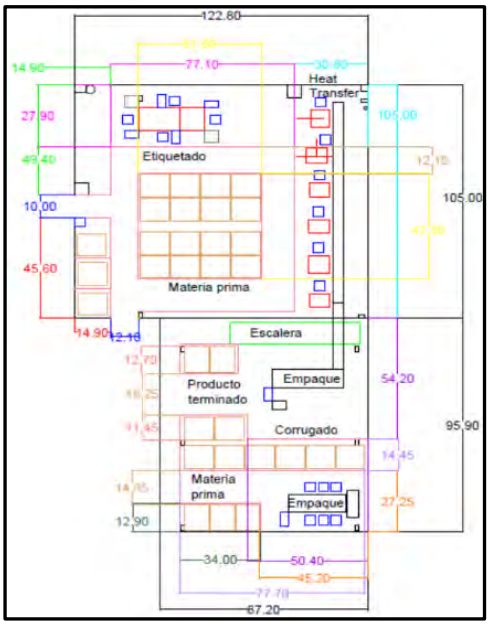


Figura 6. Distribución propuesta de la planta.

Entre las mejoras principales a obtener, se explican a continuación:

- Se tendrá un área más despejada en el área de Almacén, lo cual mejorará el flujo de los productos.
- Se combinará la banda que se utiliza actualmente, la cual mide 9 m. y mediante el apoyo de coordinación general de la planta se pone a disposición otra banda de 3 m., ambas se pueden fusionar transportando el producto manera lineal, esto permitirá cambiar la posición del área de producto terminado, la cual se encontrará al final de la banda. Al moverse los productos sobre dicha banda, permitirá realizar el empaque de estos para que posteriormente sean entarimados y liberados por el departamento de calidad.
- El área Central estará destinada a la materia prima de los dos procesos propuestos en la redistribución, por lo que se reajustará la posición de las tarimas, lo que permitirá la accesibilidad del personal operativo.
- Todo lo antes mencionado repercutirá en la reasignación de actividades para los trabajadores, al funcionar las seis máquinas se podrá reducir de 12 personas requeridas por día a solo 10, dicha información se resume en la Tabla 8.
- Se reducirá el tiempo de respuesta tanto en Decorado cómo en Empaque y sus debidas actividades.

Tabla 8. Resultados de la redistribución.

	Personal		No. de maquinas
	Decoradora	Apoyo	
Actual	6	6	6
Layout	6	4	6
Diferencia	0	2	0

Kanban

En la Figura 7 se muestra un ejemplo del llenado de la tarjeta *kanban*, en esta se incluye: el proceso de etiquetado, datos administrativos del seguimiento de la orden de producción, producto a etiquetar, días de producción, inicio y término de producción, cantidad a producir por máquina,

tamaño del lote de producción ordenado y los estándares establecidos por los facilitadores de acuerdo al producto.



Figura 7. Ejemplo de llenado tarjeta Kanban.

La tarjeta se entregará por lote de producción para tener un mejor seguimiento, con dicha información se reducirá el tiempo del cambio, esto debido a que ya se conocerá el material necesario a utilizar, lo que se evitará la sobreproducción y se tendrá programado al personal de manera constante, reduciendo los tiempos ociosos.

Poka Yoke

En la Figura 8 se presenta la propuesta del dispositivo *poka yoke*, estará conformado por una placa metálica (acero al carbón) de 5/8 de espesor, con componentes cómo tornillos de agarre y barras guía. Se utiliza para asegurar el mandril de manera correcta y evitar errores de posicionamiento.

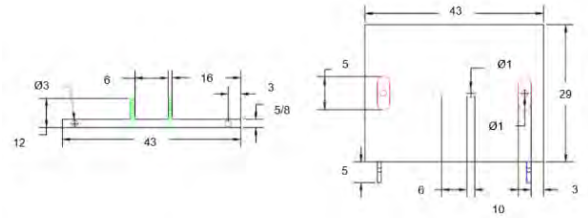


Figura 8. Ejemplo de llenado tarjeta *Kanban*.

En la Figura 9 se visualiza la vista frontal y superior de la propuesta del *poka yoke* para el mandril. Esta detalla cómo se posicionará el mandril sobre la mesa de trabajo y cómo el dispositivo *poka yoke* eliminará operaciones de reajuste, reduciendo los tiempos de ajuste en los cambios de lote en un tiempo estimado de 12.63 min., asegurándolo con una tuerca de seguridad para que este no tenga movimiento.

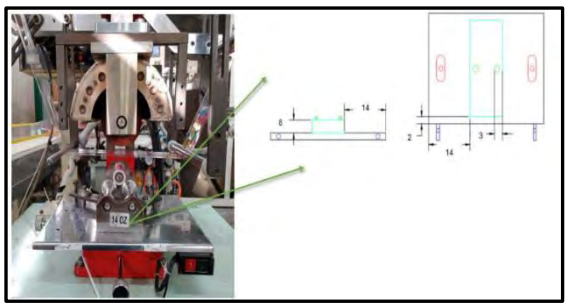


Figura 9. Propuesta de *poka yoke*, vista frontal y vista superior.

Trabajo a futuro

Contar con el herramental adecuado es esencial para evitar pérdidas de tiempo en la producción. La falta de estas herramientas lleva a que las colaboradoras adquieran materiales de baja calidad, lo que provoca roturas y desgaste. Se recomienda que la empresa proporcione el herramental necesario mediante un sistema de vales de resguardo que responsabilice a las colaboradoras de su uso y seguimiento. Implementar estas herramientas mejorará los tiempos de cambio de lote y producción, y su aplicación puede extenderse a otras áreas de la planta. Además, una buena comunicación entre departamentos es clave para mantener el orden y la imagen de la empresa durante auditorías y visitas.

Conclusiones

La implementación de la metodología SMED en la planta de producción de envases plásticos de Cajaplax S. A. ha demostrado ser altamente efectiva para reducir los tiempos de preparación en el área de *Heat Transfer*. Al identificar factores clave cómo herramientas, materiales, ajustes y pruebas de calidad, y aplicar fases preliminares cómo la separación de operaciones internas y externas, se logró una mejora significativa en la eficiencia del proceso. La reducción de tiempos improductivos y la optimización de los cambios de lote no solo aumentaron la productividad, sino que también permitieron una mejor organización del flujo de trabajo, lo cual es replicable en otras áreas de la planta. Este enfoque garantiza una mayor competitividad y optimización de los recursos operativos.

Referencias

[1] C. Lucar Romero y R. del Pilar Romero Vásquez, *Redistribución de planta para elevar la eficiencia de la producción en la fábrica Grupo Italtacones, Trujillo,2019*, Universidad Privada del Norte, 2020.

[2] F. Guevara Sánchez, *Lean Manufacturing: Los Siete Desperdicios Mortales y Cómo Eliminarlos Eficazmente*. Hoopla, 2019.

[3] H. G. Espinoza Gonzales, *Análisis y aplicación mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta en el proceso productivo de la planta de inyección de plásticos de Faber-Castell*, Univ. de Lima, 2019.

[4] L. C. Palacios Acero, *Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones, 2020.

[5] L. Castellano Lendínez, *Kanban: Metodología para aumentar la eficiencia de los procesos*, 3C Tecnología, 2019.

[6] M. Chávez y R. Mamani, *La metodología SMED para la mejora de la productividad en una empresa metalmecánica*, Universidad César Vallejo, 2019.

OPTIMIZACIÓN DE ALMACENES CON MEDIA PONDERADA Y TÉCNICAS DE LOCALIZACIÓN DISCRETA

Calderón Jiménez Antonio [1], Hernández Sánchez Luis A.[1], Méndez Rivera Caín [1], Valdés Álvarez Alejandra C.[1] , González González Eric [1]*
[1]Tecnologico Nacional de México / ITS de Ciudad Serdán, Av. Tecnológico S/N, Col. La Gloria, Cd. Serdán puebla, México, C.P. 75520
**acalderon@cdserdan.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El estudio analiza la gestión de un almacén que abastece dos áreas de surtido de bobinas de hilo. Se identificaron ineficiencias debido a la alta variabilidad de la demanda, lo que ocasionó retrasos y mal uso del espacio. Con datos de demanda anual, se observó un cumplimiento del 60.25%, debido al uso de la media aritmética para calcular el stock. Se propuso emplear la media ponderada, mejorando el cumplimiento al 83.91%. Para lograr esto, se plantearon dos soluciones de distribución del almacén: una con ropaks, que cubre el 85% del material más utilizado y da un 71% de cumplimiento, y otra que combina ropaks y racks, optimizando el espacio y alcanzando el 100% del material y da como resultado el 83.91% del cumplimiento.

Palabras clave: Almacén, Ropaks, racks, Distribución

Abstract

The study analyzes the management of a warehouse that supplies two areas with thread coil stock. Inefficiencies were identified due to the high variability in demand, which caused delays and poor use of space. Using annual demand data, a 60.25% fulfillment rate was observed, attributed to the use of the arithmetic mean for stock estimation. It was proposed to use the weighted average, improving the fulfillment rate to 83.91%. To achieve this, two warehouse distribution solutions were presented: one using ropaks, covering 85% of the most frequently used material and yielding 71% fulfillment, and another combining ropaks and racks, optimizing space, handling 100% of the material, and resulting in 83.91% fulfillment.

Keywords: *Warehouse, Ropaks, racks, distribution.*

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo explorar en profundidad la gestión del almacén dentro de un sistema de producción, un elemento crítico en la optimización de los flujos de materiales y el abastecimiento oportuno de las áreas de Unidad de Servicio y Línea de Servicio. Este estudio parte de la identificación de problemas clave que afectan la eficiencia del sistema, tales como la alta variabilidad en la demanda y la ineficaz estimación de inventarios utilizando la media aritmética, recordando que esta se utiliza comúnmente en situaciones donde los datos son homogéneos y no

requieren un tratamiento especial en términos de ponderación o distribución [1], lo que resultó en un cumplimiento del 60.25% en el suministro de materiales a lo largo del año de estudio. Para abordar estos problemas, se propuso un nuevo enfoque basado en la media ponderada en el cual Según Bluman (2018), "la media ponderada es útil cuando los valores tienen distintas relevancias o frecuencias, y se calcula multiplicando cada valor por su peso correspondiente y dividiendo entre la suma de los pesos" [2], el cual mejoró significativamente el cumplimiento de la demanda, alcanzando un 83.91%. Este enfoque no solo permitió una gestión más precisa del inventario, sino que también optimizó el uso del espacio en el almacén, reduciendo los tiempos de recorrido y los retrasos en la producción. Además, se presentaron dos soluciones de distribución: una centrada en el uso de ropaks para gestionar el 85% del material más utilizado equivalente al 71% del cumplimiento de la demanda, y otra que combina ropaks y racks, permitiendo una gestión más eficiente del 100% del inventario, dando como resultado el 83.91% del cumplimiento. El estudio empleó el caso minimax número 8 de un método cuantitativo de localización de planta para definir las mejores ubicaciones para el material dentro del almacén, este problema tiene como objetivo Localizar múltiples nuevas facilidades a través de un número discreto de posibles localizaciones o sitios, las cuales estarán influenciadas por facilidades fijas con las que tendrán relación entre sí [3], y se utilizó el software POM para resolver los problemas de asignación. Es fundamental el uso de metodologías cuantitativas y herramientas tecnológicas en la mejora de la eficiencia operativa dentro de los sistemas de producción. Estas permiten optimizar procesos como la gestión de inventarios y la distribución de materiales, ofreciendo soluciones escalables aplicables a diversos entornos industriales [4].

Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo del estudio se basa en un enfoque cuantitativo para mejorar la eficiencia del almacén en un sistema de producción caso 8 del método minimax.

Análisis de la demanda:

Se recopilaron datos del almacén durante todo el año 2023 con los cuales se obtuvo: el número de identificación del código del producto (CP) y el comportamiento de la demanda de ese año. Al obtener los datos de la demanda se pudo observar que existe una gran variabilidad, lo cual hace difícil de calcular un stock factible para el almacén. La demanda consta de los siguientes elementos:

1. **12 meses con 317 días analizados (los cuales fueron laborables).**
2. **La cantidad total de códigos de producto (CP) es de 123 elementos.**
3. **47,121 lotes**
4. **549,806 bobinas de hilo.**

Obtención de las demandas

Cada CP tiene una demanda diferente con una alta variabilidad y no se observó ninguna estacionalidad en los datos por lo que hace difícil la obtención de la demanda, desde el año pasado hasta antes del presente estudio, cabe mencionar que para llegar a esta premisa se analizaron un total 123 CP y cada uno sigue una distribución diferente. La estimación que se utilizó para el cálculo de la demanda actual con la cual está la distribución del almacén, fue la media aritmética y durante

este análisis al parecer no se tomó en cuenta la tendencia de los datos, lo cual trajo como consecuencia un incumplimiento en algunas ocasiones de la demanda, además de que en el almacén se encuentra material que no se utiliza actualmente o de lo contrario no se encuentra dentro de él. La Figura 1 muestra el comportamiento de todo el año de un CP.

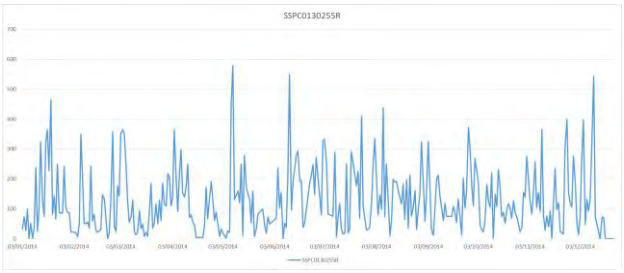


Figura 1. Gráfico del comportamiento de la demanda de un CP

Como se puede observar, la demanda presenta una alta variabilidad, con picos de alta demanda en algunos periodos y ausencia total en otros. Al utilizar únicamente la media aritmética como estimador principal para el cálculo del stock, se registraron varios incumplimientos en el abastecimiento a lo largo del año. En la Figura 2, se muestra el estimador utilizado (línea roja), donde se evidencia claramente que no se alcanzó a satisfacer una parte significativa de la demanda, esto es debido a que la línea roja representa el abastecimiento en el almacén y todo lo que está por debajo de esa línea logró cumplircon la demanda requerida,y lo que está arriba fue incumplimiento.

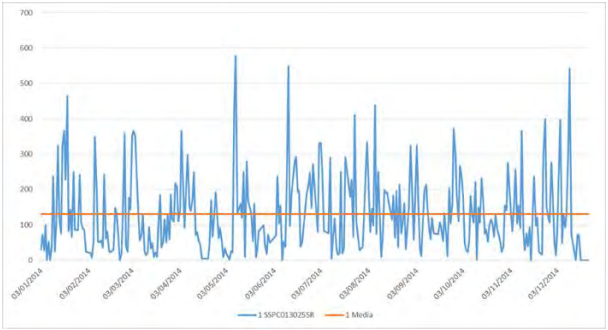


Figura 2 Gráfica de media aritmética del año 2023

Con los datos de 2023, se determinó que no se cumplió con el 60.25% (ver tabla 1) de la demanda, lo que provocó retrasos y un mayor recorrido del personal de almacén. Para solucionar esto, se aplicó la media ponderada, usando como factor el promedio de los datos que superaban la demanda. Esto incrementó el cumplimiento al 83.91% (Ver tabla 2), el cual se valida tomando en cuenta la línea gris de la figura 3 donde todo lo que se encuentre por encima de ella se considera desabasto, según la Figura 3. Aunque los 123 CP presentaron variabilidad, no se observó un patrón estacionario. Los resultados fueron presentados al jefe de almacén, gerente de tintorería y jefe de operaciones, quienes aceptaron la propuesta de utilizar la media ponderada para estimar la demanda de cada CP.

Una vez obtenido la demanda se procedió a realizar propuestas las cuales contaran con las siguientes características:

1. Realizar una distribución del almacén en la cual pueda contener la mayor cantidad de almacén.

2. La distribución debe estar basada en la demanda.

3. Dado que se comparte material la propuesta debe incluir la menor cantidad de distancia recorrida los operarios de ambas facilidades (dos áreas de distribución K).

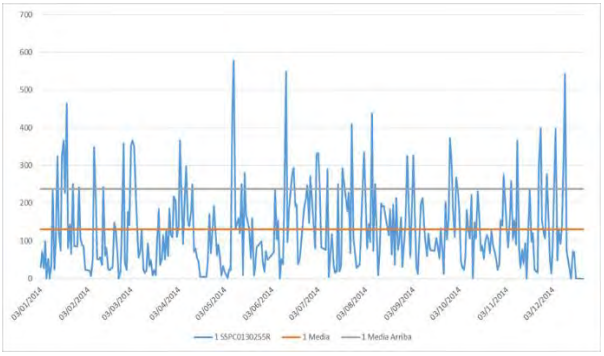
4. El hilo crudo debe estar distribuido de tal manera que satisfaga el punto 3 basándose en los más demandados.

5. En el caso de ocupar un nuevo contenedor, este debe cumplir con el espacio destinado para el almacén.

6. La propuesta debe incluir seguridad tanto para el operador de almacén como para los cargadores de ambas áreas.

Tabla 1 Datos de cumplimiento e incumplimiento (Elaboración: Propia)

Media	129.8958991
Desviación	109.6521769
Cantidad de días no cumplidos	126
Cantidad de días cumplidos	191
% de incumplimiento	39.75%
% de cumplimiento	60.25%



Gráfica 3 Grafico de media ponderada en los datos del año 2023

Tabla 2 Datos del cumplimiento utilizando la media ponderada (Elaboración: propia)

Media nueva	237.8571429
Datos por encima de la media	51
Datos por debajo de la media	266
% de incumplimiento	16.09%
% de cumplimiento	83.91%

Propuesta distribución 1

Para esta primera propuesta se pensó realizar una distribución simple mediante el uso de ropaks y los CP más usados, los ropaks son los contadores que almacenan temporalmente la materia prima, el almacén solo tiene espacio para un total de 36 ropaks.

Para el desarrollo de las propuestas se utilizó el caso número 8 de un método cuantitativo de localización de planta y cumple con las características anteriormente enlistadas, para poder hacer uso de este método fue necesario determinar [3]:

El modelo de asignación se muestra en los siguientes puntos:

1. Suponer que existen ***i*** nuevas facilidades a localizar (departamentos, máquinas) en ***j*** posibles lugares **i ≤ j i >1.**
2. Suponer que existen ***k*** facilidades ya fijas, con las cuales las nuevas facilidades tendrán relación (movimiento de productos, etc.).
3. Se desea asignar las nuevas facilidades ***i*** en los ***j*** posibles lugares, a fin de minimizar la distancia viajada (movimientos).

La función de costos se muestra en la ecuación siguiente:

$$C_{ij=} \sum_{k=1}^{k} W_{ik} D_{kj}$$

Dónde: i=1,……., m (Facilidad a localizar), j= 1,……..,n (Posible lugar)

En donde la nomenclatura es:

$$W_{ik} = \left(\frac{\text{No. de viajes entre la nueva facilidad i y la facilidad existente k}}{\text{Unidad de tiempo}}\right)\frac{\$}{\text{Unidad de distancia}}$$

$$D_{kj} = \text{La distancia viajada entre la facilidad existente k y el posible lugar j}$$

$$C_{ij} = \text{Costo si la nueva facilidad i es localizada en el sitio j}$$

1. Las facilidades "k" (cargadores), representadas con la letra K en la figura 4, corresponden a los puntos de carga y descarga dentro del sistema. Por otro lado, los posibles lugares de ubicación "j"

(ropaks), que están enumerados con números en color amarillo en la misma figura, representan los puntos donde se almacenarán temporalmente los materiales.

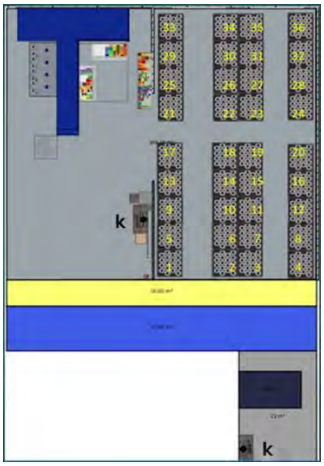


Figura 4 Facilidades y posibles lugares de ubicación (Elaboración: Propia)

2. Para poder determinar la matriz Wik fue necesario primeramente establecer cuáles eran los 36 sustratos (CP) más utilizados, para lo cual se realizó un análisis ABC. Una vez obtenido este listado, se determinó la cantidad de viajes por día de cada facilidad "k" a la facilidad localizar "i", los cuales están basados en la demanda de unidad de servicio y de línea de servicio.

3. Para poder determinar la matriz Dkj primeramente se realizó un plano cartesiano en donde se ubicaron las facilidades a localizar y las facilidades existentes, en donde su ubicación se basó mediante los ejes "x" y "y" y se calculó usando distancias rectilíneas. Ejemplo: para poder determinar la distancia que se recorre desde línea de servicio hacia la posible facilidad a localizar 1 se cuentan cuantas posiciones avanza en los ejes de las X y los ejes de las Y, dando en este caso un total de 22 posiciones. Cabe aclarar que para unidad y servicio existe una ruta permanente la cual se muestra con una línea amarilla en la figura 5, esta línea es debido a que, por procedimiento, el operador parte del centro del Almacén de unidad de servicio y por lo tanto dicha distancia es fija. Dicha figura también muestra una posible ruta de línea de servicio a la posible ubicación del sustrato, la cual está marcada con el color verde. Puede existir una variedad diferente de rutas. Sin embargo, siempre darán misma longitud de distancia.

4. La determinación de la matriz de costo es la multiplicación de las matrices Wik y Dkj dando como resultado para este caso una matriz de 36 x 36. En la tabla 3 se muestra el producto generado de estas matrices. Una vez completada esta matriz se puede resolver mediante un problema de asignación, sin embargo, para una matriz con esas dimensiones es recomendable apoyarse en un software que pueda realizar esos cálculos, ya que de no ser así desarrollarlo manualmente puede tomar un tiempo bástate prolongado por la cantidad de cálculos que este puede generar.

Este procedimiento fue utilizado para cada una de las diferentes asignaciones realizadas durante este trabajo. Tomando en cuenta al análisis ABC se dice que el Almacén contendrá hasta un 85% aproximadamente del material [5].

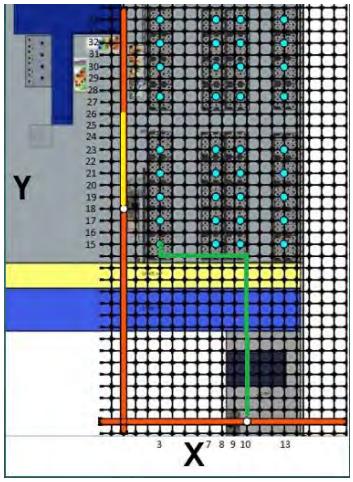


Figura 5 Localización de facilidades existentes propuesta 1 (Elaboración: propia)

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SSPC0130255R	388	369	360	412	397	377	369	421	405	386	377	429	414	395	386	438	422	403	395	446	469	450
SSPA01902HAR	334	318	311	355	341	325	318	362	348	332	325	370	355	339	332	377	362	346	339	384	402	386
SSPA01302HAR	357	323	308	353	373	338	323	368	388	354	338	384	403	369	354	399	419	384	369	414	471	436
PCCA03252HAR	227	217	213	244	231	221	217	248	235	226	221	252	239	230	226	256	243	234	230	260	269	260
TRPA01332IBR	430	383	362	417	450	404	383	437	471	424	404	458	492	445	424	478	512	466	445	499	578	531
PPCA02052HAR	230	214	207	237	237	221	214	244	244	228	221	251	251	235	228	258	258	242	235	265	288	272
TXPA01671JBR	221	234	240	273	215	228	234	267	209	222	228	261	203	216	222	255	197	211	216	249	211	224
CFPA02263IBR	165	170	172	195	163	167	170	193	160	165	167	191	158	163	165	189	156	161	163	187	169	174
PPCA01522HAR	203	186	178	204	210	193	186	212	218	201	193	219	226	208	201	227	233	216	208	235	261	244
TXPA01672JBR	316	304	298	341	322	309	304	346	327	315	309	352	333	320	315	358	338	326	320	363	375	362
PPCA04003HAR	179	173	170	194	182	175	173	197	185	178	175	200	187	181	178	202	190	184	181	205	210	204
IBNA02353QBR	157	163	165	188	155	160	163	186	153	158	160	183	150	156	158	181	148	153	156	178	160	165
PCCA04902HAR	165	156	151	173	169	160	156	177	173	164	160	182	178	168	164	186	182	172	168	190	202	193
PPCA01252HAR	248	213	197	228	263	228	213	243	279	244	228	259	295	260	244	274	310	275	260	290	352	317
TRPA0133295R	270	231	214	247	287	248	231	264	304	266	248	281	322	283	266	298	339	300	283	316	385	346
CFPA04553IBR	101	108	110	125	98	105	108	122	95	102	105	120	92	99	102	117	89	96	98.8	114	95	102
PCCA02002HAR	115	107	103	118	118	110	107	122	122	114	110	125	125	117	114	129	129	121	117	132	144	136

Como anteriormente se mencionó, el desarrollar algún método de asignación manualmente puede tomar un tiempo bastante largo, es por ello que para la solución de esta matriz se utilizó el Software de distribución libre POM el cual dio como resultado la asignación mostrada en la tabla 4.

La lectura de la tabla es relativamente simple, la primera columna son los sustratos a los cuales se les debe asignar un lugar, la primera fila son los posibles lugares de asignación, el cero indica que no existe asignación alguna entre las intercesiones y el número uno indica que en esa intersección existe una asignación, por ejemplo: para el SSPC0130255R está diciendo que este debe estar colocado en el lugar número 11 de las posibles localizaciones.

Tabla 3 Ejemplo de una parte de la matriz Cij (Elaboración: propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	2
SSPC0130255R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SSPA01302HAR	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA03252HAR	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA01332IBR	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA02052HAR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01671JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CFPA02263IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01522HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TXPA01672JBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
PPCA04003HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
IBNA02353QBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCCA04902HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCA01252HAR	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRPA0133295R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CFPA04553IBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
PCCA02002HAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con esta propuesta se logra cumplir el 71% de cumplimiento colocando el 85% del material.

Propuesta distribución 2

Para la segunda propuesta nuevamente se aplica el caso 8 del método minimax en donde primeramente se hace la asignación de ropaks y posteriormente en el espacio sobrante los racks, por lo que, se coloca todo el material mediante el uso de racks y ropaks, se estableció, mediante el equipo operativo y el jefe de almacén, que se asignarían sólo 10 ropaks, cabe aclarar que se volvió a seguir los pasos anteriores para la aplicación del método y acontinuación se muestra sólo los resultados. Estos ropaks encabezan la lista de los más demandados según el análisis ABC. El motivo de colocar sólo 10 ropaks fue basándose en que la capacidad para el resto de material excedía la demanda por lo cual se considera un exceso de espacio.

Asignación 10 ropaks: Primeramente, se asignaron los 10 ropaks mediante el mismo método descrito en el punto anterior. Para este caso primeramente se observó en donde se encontraban ubicados los sustratos en la primera propuesta, estos se muestran resaltados de color rojo en la figura 3, y como se puede observar ocupan una mitad del espacio del Almacén, por lo que se partió de esta observación y se determinó que se deberían distribuir en esa mitad. Se llevó a cabo 5 asignaciones posibles en estos 20 espacios disponibles, en la primera de ellas no se consideró ningún criterio por lo que solo se realizó la asignación de manera natural, en la figura 3 B se puede observar la nueva distribución. De ello se puede concluir de manera intuitiva que si se realiza una asignación en la parte del centro esta será la mejor opción, sin embargo, para poder comprobar esta conjetura se realizaron 5 distribuciones más.

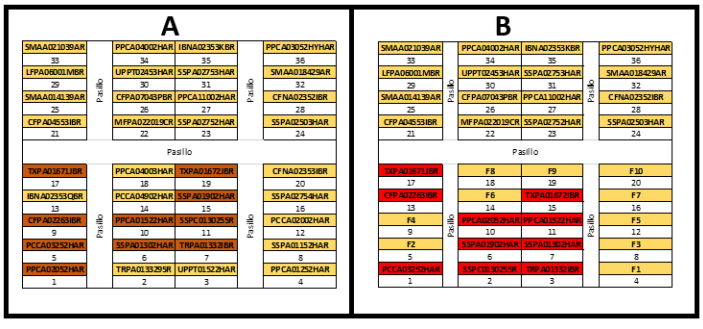


Figura 6 Distribución 10 ropaks en 20 lugares (Elaboración: propia).

Tabla 4 se muestra los resultados en donde indica la distancia total de recorrido en cada una de ellas, por lo que al comparar y elegir se concluyó que la mejor alternativa es la que se le dio una asignación en la parte central de los 20 lugares disponibles mostrada de color verde, ya que esta tiene el recorrido más corto de 2718.76 metros. También se puede observar que la peor de las alternativas es la de los laterales la cual se muestra de color rojo.

Tabla 4 Resultados de alternativas de distribución (metros)

Con orden	
Tipo de asignacion	**Total**
Asignación centro	2718.76
Asignación izquierda	2802.55
Asignación derecha	2846.3
Asignación laterales	2934.59

Determinación del espacio de los racks: El espacio por lote que ocupará cada división fue determinado en base al volumen que representa cada sustrato (tamaño de la bobina). Para este punto, el jefe de almacén proporcionó los datos necesarios en donde indicaba el diámetro de las bobinas y sus límites inferior como superior, para lo cual se tomó como referencia el límite superior.

Para poder realizar esta estandarización de tamaños primeramente se agregó un ID para poder clasificarlos el cual cuenta con las siguientes partes:

1. La Cantidad total de bobinas que entran en los ropaks.
2. El diámetro de la bobina.
3. El radio de la bobina.

Distribución final

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procedió a realizar la distribución en cada uno de los niveles de los racks, considerando que la primera asignación corresponde a la parte central del rack dado que son los CP más demando, seguido de la distribución en el nivel de abajo y para terminar con la distribución de arriba. Cada uno de estas distribuciones fueron realizadas con el procedimiento anterior expuesto, cabe recordar que cada modelación matemática se realiza de la misma manera de cómo se realizó la primera.

Resultados y discusión

Se realizaron dos propuestas, en la primera solo incluye ropaks, en donde mediante un análisis ABC se determinaron los primeros 36 espacios disponibles cumpliendo de esta manera con el 85% del material más usado dando como resultado el 71% del cumplimiento. La segunda propuesta incluye la asignación de 10 ropaks y el resto del material en racks, donde para poder realizar la distribución se utilizó el mismo caso que la primera propuesta. En total se realizaron 17 problemas de localización discreta con sus respectivas restricciones por volumen, donde se logro introducir el 100% del material cumpliendo con el 83.91%, Es importante aclarar que no se puede realizar un concentrado de las operaciones o un resumen de la misma debido a la cantidad de información, que es bastante amplia, ya que como lo indica la ecuación de costo antes mencionados son operaciones matriciales.

Trabajo a futuro

Se propone la implementación de un sistema automatizado para el control y monitoreo en tiempo real del buffer, lo cual permitirá una mayor precisión en la gestión de inventarios y una reducción significativa en los tiempos de respuesta ante fluctuaciones en la demanda. Además, es necesario profundizar en la optimización del espacio utilizando técnicas avanzadas de simulación y modelos predictivos que consideren escenarios más complejos de variabilidad en la demanda. Otro aspecto pendiente es la evaluación del impacto de las propuestas en la eficiencia general de la producción, mediante un estudio a largo plazo que permita ajustar los parámetros del sistema.

Conclusiones

La disponibilidad de la materia prima es muy importante es por ello que para este punto se realizaron dos propuestas de distribución de los diferentes sustratos, buscando colocar la mayor cantidad de hilo crudo dentro del Almacén, para lo cual inicialmente se calculó la demanda mediante la analogía de la media ponderada y en base a esto se utilizó el caso ocho del método minimax de localización de planta. En la primera propuesta se planteó solo usar los espacios disponibles con ropaks, en donde se determinó que el 85% del material sería colocado en el Almacén. La segunda propuesta consistió en utilizar solo 10 ropaks y 14 racks para la distribución del material donde se colocó el 100% del material.

Referencias

[1] W. Mendenhall, R. J. Beaver y B. M. & Beaver, Introduction to Probability and Statistics, Cengage Learning, 2019.

[2] A. G. Bluman, Mathematics for Business and Economics, McGraw-Hill Education, 2018.

[3] F. Ortiz Flores, “Material no publicado, Apuntes de la clase. -Sistemas de manufactura”, Orizaba: Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, 2013.

[4] J. González y L. & Ramírez, Herramientas tecnológicas para la optimización en sistemas de producción, Revista de Ingeniería Industrial, 2020.

[5] E. A. Silver, D. F. Pyke y R. Thomas, Inventory Management and Production Planning and Scheduling, Nueva Jersey: Wiley, 2017.

[6] M. González y L. Ramírez, Metodologías cuantitativas aplicadas a la optimización de sistemas de producción, México: Técnica Industrial, 2020.

[7] J. Heizer, B. Render y Munson, Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management, Boston, Massachusetts: Pearson Education, 2017.

[8] J. García y P. & Martínez, Estadística aplicada para la toma de decisiones., México: Académica, 2019.

[9] A. Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES, México: RIL, 2009.

SISTEMA PARA LA TRAZABILIDAD Y CONTROL DE COMPRAS EN UNA EMPRESA TEXTIL

Lara Martínez, José Jair[1*], Báez Sentíes, Oscar[2*], Gurruchaga Rodríguez, Ma. Eloísa[3], Heredia Roldán, Miguel Josué[4]
[1]Tecnológico Nacional de México, Orizaba Instituto Tecnológico de Orizaba,
M16010046@orizaba.tecnm.mx[1*],oscar.bs@orizaba.tecnm.mx[2*], eloisa.gr@orizaba.tecnm.mx[3],
miguel.hr@orizaba.tecnm.mx[4]

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

La metodología TWI (Training Within Industry) se implementó en el área de compras de una empresa textil con el objetivo de mejorar la calidad del trabajo y la satisfacción del cliente. Este enfoque se centró en capacitar al personal para desarrollar sus habilidades y estandarizar los procedimientos, lo que permitió minimizar errores y fomentar la mejora continua. Se realizó un análisis de las actividades productivas para identificar errores y mermas debido a la falta de estandarización y se diseñó una macro en Excel que permitió generar órdenes de compra estandarizadas y detalladas, mejorando la trazabilidad y reduciendo el tiempo de elaboración de 20 a 5 minutos, logrando una eficiencia del 90%. Aplicar TWI no solo optimizó la eficiencia operativa, sino que también aumentó la competitividad de la empresa. Su flexibilidad para aplicarse en distintos sectores la convierte en una herramienta clave para mejorar procesos, reducir errores y garantizar la satisfacción del cliente, estableciendo un entorno de trabajo más eficiente y enfocado en la mejora continua.

Palabras claves: TWI, Trazabilidad, compras.

Abstract

The TWI (Training Within Industry) methodology was implemented in the purchasing area of a textile company with the aim of improving work quality and customer satisfaction. This approach focused on training personnel to develop their skills and standardize procedures, thus minimizing errors and promoting continuous improvement. An analysis of production activities was carried out to identify errors and waste due to the lack of standardization, and an Excel macro was designed to generate standardized and detailed purchase orders, improving traceability and reducing processing time from 20 to 5 minutes, achieving 90% efficiency. Applying TWI not only optimized operational efficiency, but also increased the company's competitiveness. Its flexibility to be applied in different sectors makes it a key tool to improve processes, reduce errors and ensure customer satisfaction, establishing a more efficient work environment focused on continuous improvement.

Keywords: TWI, Traceability, purchasing.

Introducción

La industria textil en México tiene una gran representación en el palmarés de la economía mexicana, en el año 2023, la industria textil y de la confección representó 1.9 % de las industrias manufactureras con respecto al PIB [1]. Esta cifra refleja la relevancia del sector textil como uno de los pilares fundamentales de la economía en el país. Esta industria no solo es un aporte económico vital, sino que también es un sector ampliamente atractivo para la inversión interna como externa, lo que ha impulsado un crecimiento considerable en los últimos años. Sin embargo, a pesar de este crecimiento, las empresas dedicadas en este sector enfrentan desafíos constantes de mejorar la calidad y la satisfacción del cliente para lograr una competitividad a nivel mundial. Esto ha llevado a muchas empresas a adoptar e implementar mejoras tecnológicas en sus procesos productivos, con el objetivo de alcanzar la máxima eficiencia y minimizar las fallas que pueden afectar la producción.

En este contexto, es importe entender que las fallas humanas en los procesos, que se manifiestan a menudo como errores en la producción, son el resultado de acciones que no han sido debidamente planeadas. Estos errores no solo afectan a la eficiencia, sino que también generan mermas, las cuales son pérdidas que se producen en diversas etapas del proceso productivo. Estas mermas impactan directamente en los costos, tanto directos como indirectos, de la empresa o del proyecto, ya que no aportan ningún valor al producto final. La raíz de muchas de estas fallas humanas se encuentra en la forma en que empleadores y empleados organizan y ejecutan el trabajo, destacando la importancia de las decisiones y acciones tomadas.

Con la competitividad en el mercado en constante crecimiento, tanto a nivel nacional como internacional, las demandas y expectativas del cliente se han vuelto cada vez más exigentes. En este escenario, las empresas que logran producir de manera más eficiente y con menos errores se posicionan con una ventaja competitiva significativa. Una estrategia efectiva para lograrlo es la implementación de metodologías como TWI (Training Within Industry), que se centra en mejorar las habilidades de los supervisores y estandarizar los procesos, reduciendo así la incidencia de fallas humanas y mejorando la eficiencia general de la producción.

Metodología

La metodología TWI fue uno de los principales servicios de emergencia que fueron establecidos por la junta de producción de guerra del gobierno de los Estados Unidos, con la finalidad de “ayudar a la industria a ayudarse a sí misma a sacar más materiales de los que nunca se había pensado posible, y a una velocidad de constante aceleración" [2]. TWI se desarrolló como parte de la ayuda a las industrias de defensa que con el fin de satisfacer sus necesidades, entrenando a cada uno de los trabajadores para sacer el máximo provecho de sus habilidades individuales durante la segunda guerra mundial. El programa se centra en la capacitación de líderes de producción, maestros, capataz y operadores experimentados. El libro Greatingn an Efective Management System [3] menciona a Training Within Industry (TWI) como una serie de metodologías en torno a las habilidades básicas que necesitan los supervisores de primera línea para dirigir eficazmente una fuerza laboral. El supervisor, definido en TWI como "cualquier persona a cargo de las personas o que dirija el trabajo de los demás", es el primer punto de contacto que la organización tiene con cada empleado. La orientación y dirección que cada empleado

recibe de su "supervisor", la persona que inspecciona y controla el trabajo es sin duda el factor más influyente en el éxito del trabajo de esa persona y de la organización en general.

TWI ayuda a transferir conocimientos y habilidades de gestión en la instrucción de los empleados, la generación de relaciones entre los empleados y la mejora de los métodos de trabajo. El impacto de este método esta influenciado por la gestión, ya que la persona encargada de impartir esta metodología debe tener un conocimiento amplio del problema antes de entrenar a otras personas. Para conseguir este objetivo, TWI tiene una forma efectiva para lograr este propósito basa en tres programas J (J=Trabajo), instrucciones laborales (JI) , métodos de trabajo (JM) y las relaciones laborales (JR), así como ciertas habilidades por parte del supervisor:

- Conocimiento del trabajo y las responsabilidades inherentes al mismo
- Habilidad para instruir, mejorar los métodos y liderar al personal

Patrick Graupp y Robert J. Wrona es su libro Implementing TWI [4], mencionan como los tres programas se destacan al momento de su implementación:

Formación en Instrucción Laboral (JI): El objetivo principal de JI (Instrucción del Trabajo) se basa en la estandarización del trabajo y en capacitar a los instructores para que puedan enseñar de manera efectiva a los empleados, con el fin de desarrollar una fuerza laboral bien preparada. Un instructor, en esencia, debe ser experto en la instrucción o capacitación para poder reducir las mermas que se generan dentro de la empresa.

Formación en métodos de trabajo (JM): Esta formación tiene como objetivo ayudar a los instructores a lograr una producción de calidad en el menor tiempo posible, optimizando el uso de la mano de obra, las máquinas y los materiales disponibles. JI (Instrucción del Trabajo) es similar a JM (Métodos del Trabajo), ya que ambas se basan en el análisis detallado de una tarea por parte del trabajador guiado por el instructor. Sin embargo, la diferencia radica en la manera en que se realiza el trabajo, puesto que JM se enfoca en reducir errores

Formación en Relaciones Laborales (JR): La formación JR (Relaciones en el Trabajo) tiene como objetivo enseñar a los instructores cómo guiar a las personas para prevenir problemas y fomentar la colaboración en el área de trabajo. JR también influye en la gestión positiva de los problemas del personal, al tratar a cada individuo de manera personalizada.

James R. Huntzinger en su libro Lean Cost Management [5], la estructura de cuatro pasos de TWI no solo fue fundamental para su éxito, sino que también sirvió como base para el desarrollo del trabajo estándar y el proceso de Kaizen. Huntzinger realizó una investigación exhaustiva sobre la conexión entre TWI y Toyota, destacando cómo los cuatro pasos de TWI y Kaizen comparten similitudes clave, lo que permite una implementación más rápida y eficiente de estas metodologías.

La comparación de estos cuatro pasos entre TWI y Kaizen se presenta en la Tabla 1, mostrando cómo estos enfoques pueden integrarse y reforzarse mutuamente en la práctica.

Tabla 1 Comparación de los pasos de TWI y el Kaizen, según Huntzinger

Pasos	Instrucciones de trabajo	Métodos de trabajo	Relaciones laborales	Kaizen
1	Prepara al trabajador	Desglosar el trabajo	Obtenga los hechos	Observar y cronometrar el proceso actual
2	Presentar la operación	Cuestionar cada detalle	Pesar y decidir	Analizar el proceso actual
3	Probar el rendimiento	Desarrollar el nuevo método	Actuar	Implementar y probar un nuevo proceso
4	Seguimiento	Aplicar el nuevo método	Probar resultados	Supervisar y revisar

La implementación de TWI como método de preservación y transferencia del conocimiento entre empleados es esencial para optimizar la capacitación en el lugar de trabajo. En el artículo "Acelerar el proceso de transferencia de habilidades a través de TWI - Instrucciones laborales" [6], se resalta la importancia de agilizar la transferencia de habilidades mediante la "Instrucción laboral", un enfoque en el cual los empleados más experimentados capacitan a los nuevos. Este enfoque no solo incrementa la eficiencia y efectividad en la capacitación, sino que también fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo, mejorando la retención de conocimientos.

Por otro lado, el artículo "Programa de formación dentro de la industria (TWI-JS) como herramienta para mejorar la seguridad en el trabajo en la industria del acero en Polonia" [7], explora cómo la metodología TWI puede mejorar la seguridad laboral. En el contexto de la industria del acero en Polonia, se destaca la importancia de abordar los desafíos de seguridad mediante TWI. El estudio muestra cómo la implementación de esta metodología resultó en una reducción significativa de incidentes y mejoras en la seguridad laboral, concluyendo que TWI es una herramienta efectiva para este propósito.

Adicionalmente, el artículo "Reducción del fracaso humano en la construcción con el método de formación dentro de la industria" [8] aborda cómo TWI puede reducir las fallas humanas en la industria de la construcción. El estudio resalta que las fallas humanas son una causa importante de accidentes y pérdidas en este sector. A través de la implementación de TWI, se mejoró la capacitación de supervisores y trabajadores, enfocándose en habilidades clave como la resolución de problemas y la comunicación.

En conjunto, estos artículos evidencian la importancia de la metodología TWI en diversos contextos industriales. Sus beneficios incluyen mejoras en eficiencia, calidad del producto, desarrollo de habilidades, gestión del conocimiento, y seguridad laboral, lo que subraya su valor como una estrategia integral para la optimización en distintos sectores.

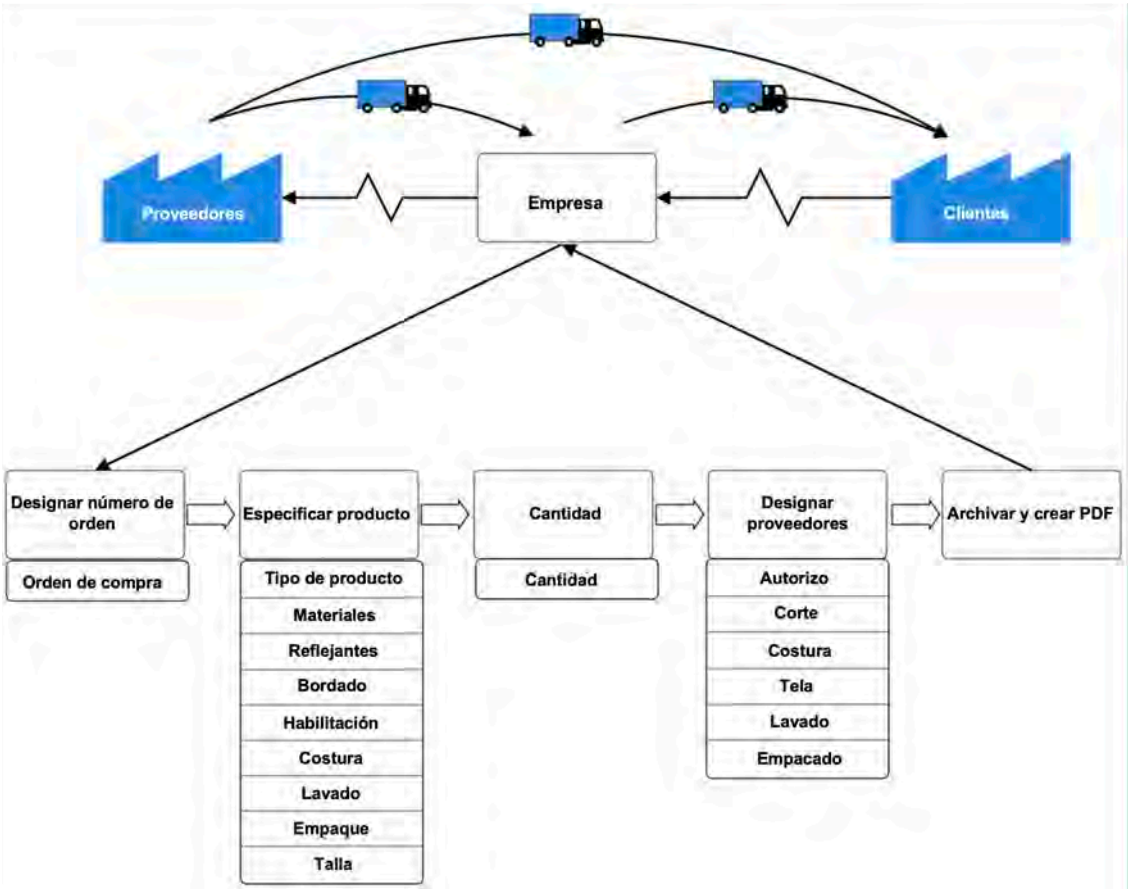
Resultados y metodología

Paso 1

El primer paso fue realizar un análisis detallado de las actividades productivas de la empresa, con el objetivo de comprender todos los procesos involucrados en la elaboración de la mercancía, desde la recepción de la solicitud del cliente hasta la entrega del producto final. Este análisis requirió 20 días de observación y seguimiento para entender cómo funciona cada etapa del proceso y localizar posibles errores.

Paralelamente, se completaron los pasos correspondientes de los tres programas de TWI. En primer lugar, se preparó a los trabajadores, informándoles sobre el análisis que se estaba realizando en el proceso productivo. Luego, se desglosó el trabajo para analizar el comportamiento de cada actividad. Finalmente, se recopilaron los datos necesarios para identificar los hechos relacionados con la ejecución de las operaciones. Como resultado, se elaboró un diagrama de flujo que refleja de manera general las actividades realizadas en el proceso productivo. Véase Ilustración 1.

Ilustración 1 Proceso actual de operaciones



En la Ilustración 1, se pueden observar tres entidades involucradas: el cliente, la empresa y los proveedores. Es importante destacar que la empresa subcontrata la mayor parte de su producción mediante outsourcing, lo que genera que los problemas surjan, ya que la empresa cuenta con 9 proveedores encargados de hacer diferentes actividades como son proporcionar la tela, cortar, coser, lavar y empacar, por lo cual vuelve difícil darle un seguimiento adecuado para cada proveedor. Esta variedad de proveedores propicia que la información tenga que ser clara para la fabricación, es aquí donde surge un inconveniente dado que las órdenes de compra no contienen la información necesaria y generan errores, además de que existen al menos 400 combinaciones posibles diferentes para la fabricación de la mercancía.

El proceso comienza cuando el cliente genera pedido con las especificaciones necesarias para su producto. Al recibir esta orden, la empresa se encarga de gestionarla y crear una orden de compra interna, que incluye detalles más específicos. A esta orden interna se le asigna un número y se detallan las características del producto, tales como el tipo de producto, materiales, reflejante, bordado, habilitación, costura, lavado, empaque y talla. Además, se especifican las cantidades requeridas y se asignan las tareas correspondientes a los proveedores. Finalmente, la orden se archiva y se genera un PDF para su registro. Según lo establecido en la orden de compra interna, los proveedores pueden enviar el producto terminado directamente al cliente o a la empresa.

Paso 2

Al analizar el proceso interno que la empresa sigue para generar las órdenes de compra, se identificó la ausencia de un procedimiento estandarizado. Estas órdenes se crean de manera empírica, lo que da lugar en variaciones significativas entre ellas. Esta falta de estandarización provoca errores, confusiones y fallas, lo que a su vez impide satisfacer las necesidades del cliente. Como consecuencia, se generan retrabajos, pérdidas económicas, deterioro de la reputación de la empresa y la pérdida de clientes. Véase Ilustración 2,3 y 4.

Ilustración 2 Primer formato


OXFORD BLANCO

ARTICULO	BLUSA DAMA MANGA LARGA			APLICACIONES		MANGA LARGA			
ORDEN DE COMPRA		03-jun-22 BIO		PATRON	BIOPAPPEL	DOS BATA			
PROCESO				ACABADO	PUÑO CONVINADO POR DENTRO				
ETIQUETA	BORDADA	COMPOSICIO 100%ALG		CUELLO	SIN BOTON CUELLO				
ETIQUETA	APLICACIÓN			TIPO	CUELLO COMBINADO POR DENTRO				
	OXFORD AZUL MARINO								
TELAS	ANCHO	METROS	COMPOSICIO	COLOR		TELA	SALDO		
OXFORD	1.72	105	100%ALG	OXF MARINO		367	262		
SUGERIDO		0			oxfrod	342	342		

CINTA REFLEJANTE		
COLOR	MEDIDA	CANTIDAD
N/A		

BOTONES	TAMAÑO		MAZOS
BLANCO	18	945	0.546875
BLANCO	16	0	0
HILO			
EXTERIOR	INTERIOR	SOBREHILADO	

MUESTRA	1	CIERRES	N/A
TELA		CINTA REF	N/A
ETIQUETA	0	VARILLAS	
		ELASTICO	N/A

	XCH/30,32	CH/34,36	MED/38	GDE/40	XG/42,44	XXG/46,48	XXXG/50,52	TOTAL
TALLAS			30	30	30	10	5	105
CORTES								
SUGERIDO								0

Ilustración 4 Segundo formato


DESCRIPCION PANTALON BASICO
REFLEJANTE SIN REFLEJANTE
ANCHO TRAZO
SIN BORDADO

TALLA	
28	
30	30
32	30
34	30
36	10
38	
40	
42	
44	
46	
48	
50	
52	
54	
TOTAL	100

Ilustración 3 Tercer formato

CAMISA CABALLERO MANGA LARGA			
MOLDE BIOPAPPEL CAMISA MEZCLILLA			
orden	4350	4116	TOTAL
XCH/30,32			
CH/34,36	10	28	38
MED/38	20	22	42
GDE/40	18	10	28
XG/42,44	10		10
XXG/46,48	6		6
	64	60	124

Como se observa en las Ilustraciones 2, 3 y 4, existían diferentes formatos para generar órdenes de compra, ninguno de los cuales estaba estandarizado ni seguía una estructura clara, lo que ocasionaba errores y evidenciaba problemas de comunicación con los proveedores debido a la información solicitada por cada uno. En la Ilustración 2, se presenta el primer formato, que organiza de manera más detallada las requisiciones del cliente, incluyendo tallas, tipo de material, acabados, metros de tela necesarios y

otras características esenciales para el desarrollo de la prenda. En la Ilustración 3, se puede ver que la información se simplificó, reduciéndose a los datos más básicos y esenciales. Finalmente, en la Ilustración 4, la información se redujo aún más, omitiendo incluso las fotografías.

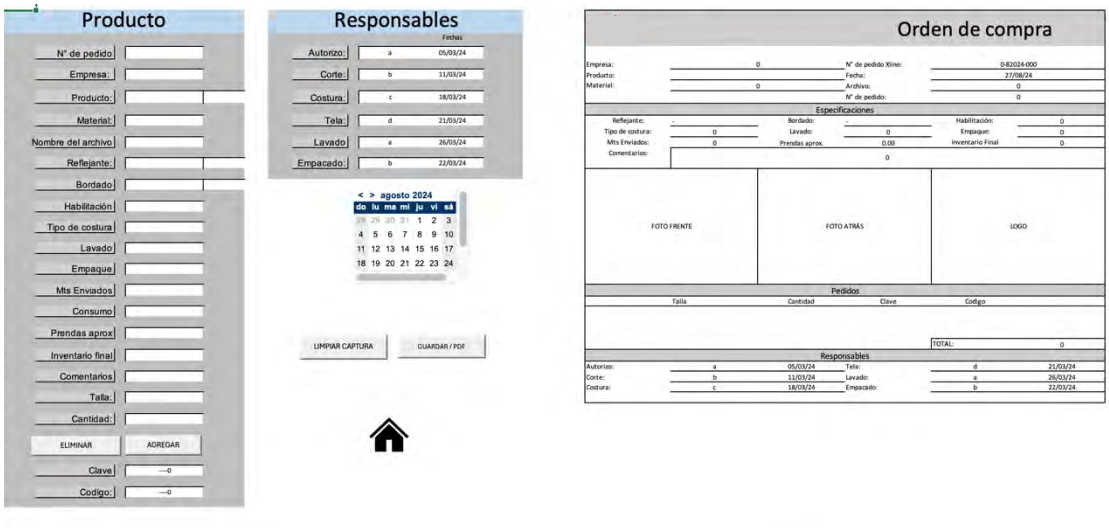
Siguiendo los principios de los tres programas, se analizó la operación actual de las órdenes de compra, cuestionando cada aspecto del proceso para explorar alternativas que pudiera combatir esta falta de estandarización.

Paso 3

Este paso es crucial, ya que se desarrolló una macro en Excel, se ha optado por elegir esta opción por la adaptabilidad y la interfaz de usuario amigable, además de es que la mejor que se adapta a los recursos con los cuales cuenta la empresa, la creación de la macro permitió la generación de órdenes de compra estandarizadas y detalladas para cada uno de los productos solicitados por los clientes, a su vez, permite homologar la información para los proveedores designados para la producción de los productos. Durante el desarrollo de esta macro, se tomaron en cuenta todas las requisiciones, productos y especificaciones que la empresa ofrece.

Además de generar órdenes de compra, esta macro ofrece varias ventajas: permite crear un historial de órdenes, generar y guardar un archivo en formato PDF, y facilita el seguimiento de los proveedores a quienes se les asignan las requisiciones de trabajo. Véase Ilustración 5.

Ilustración 5 Macro para generar órdenes de compra



En la ilustración 5, se puede observar la interfaz de la macro de Excel, una propuesta estandarizada para la generación de órdenes de compra para los productos que le empresa ofrece. La interfaz está dividida en tres secciones:

- Secciones del producto: Esta sección incluye campos para ingresar datos como el número de pedido, empresa, producto, nombre del archivo, tipo de costura, bordado, y varios otros

detalles relacionados con el producto y también cuenta con campos para comentarios, talla, cantidad, y códigos, con botones para agregar o eliminar entradas.

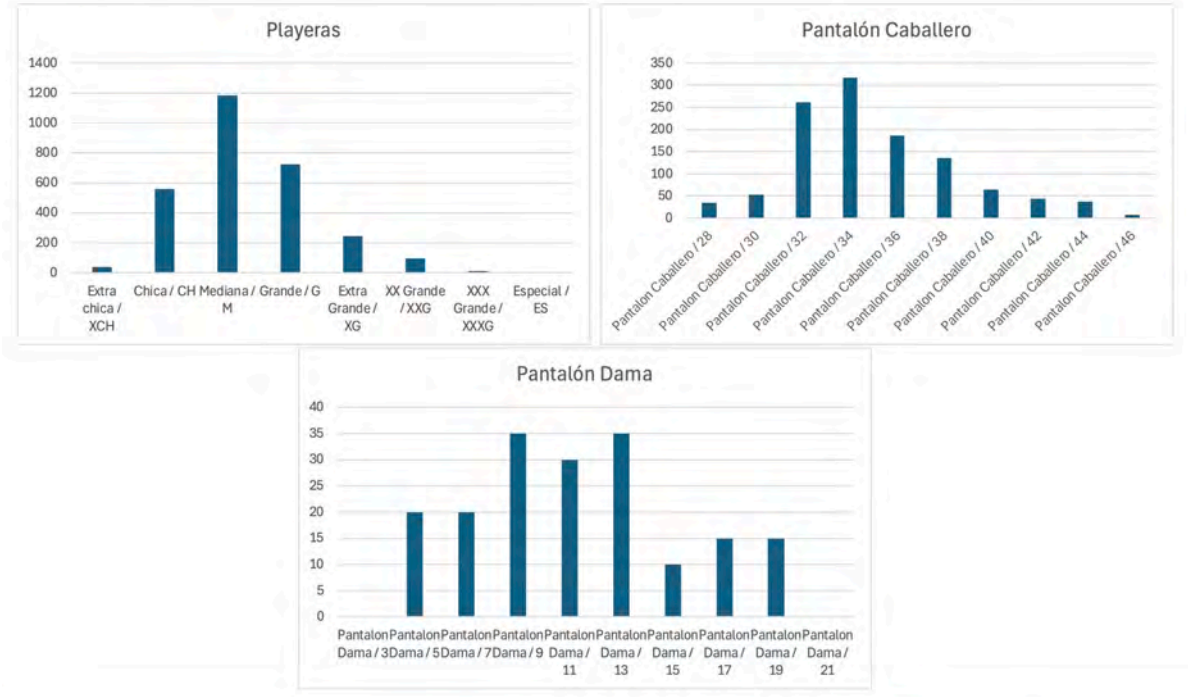
- Sección de responsables: Presenta una lista de responsables con fechas asignadas para diferentes tareas como autorizar, cortar, costura, tela, lavado, y empaque. También incluye un calendario para seleccionar fechas.
- Sección de órdenes de compra: Muestra un formato de orden de compra donde se presenta la información otorgada en las secciones anteriores. Hay un espacio para insertar imágenes de referencia (frontal y trasera) y un logo.

La interfaz está estructurada para facilitar la generación y gestión de órdenes de compra, permitiendo un control detallado de la información relacionada con cada pedido y el seguimiento de responsabilidades.

Paso 4

En este último paso, se analizó el uso de la macro durante un período de 30 días para evaluar su desempeño en el entorno laboral. Se capacitó a la persona encargada del proceso en un lapso de una semana, mostrándole el funcionamiento completo del sistema con ayuda de un manual se usuario, y estuvo involucrada al 100% en todas las etapas del desarrollo de la macro. Los resultados fueron favorables, con una eficiencia del 90%. La generación de órdenes de compra se redujo de 20 minutos a solo 5 minutos, y durante ese tiempo no se registraron errores en la elaboración de los productos, a diferencia del escenario anterior donde se detectaban de 2 a 3 errores en el mismo lapso. Además, se analizaron las requisiciones de los productos más solicitados, lo que permitió llevar un registro detallado de estos artículos. Véase ilustración 6.

Ilustración 6 Tablas de los comportamientos de los pedidos



En general, la gráfica de playeras muestra que las tallas medianas y grandes son las más populares. En cuanto a los pantalones de caballero, las tallas medias, como la 34 y la 36, predominan la demanda, mientras que en los pantalones de dama, las tallas intermedias, como la 11 y la 13, son las más solicitadas. En todas las categorías, las tallas más pequeñas y más grandes tienden a tener una menor demanda. Con base en esta información, la empresa podría optimizar su inventario y proceso de compras aplicando varias estrategias: ajustar el inventario para priorizar las tallas más demandadas, negociar mejores condiciones con los proveedores de estas tallas, implementar la producción personalizada para las tallas menos solicitadas y realizar un análisis continuo de la demanda para mantener la oferta alineada con las tendencias. Estas acciones contribuirían a mejorar la eficiencia en la gestión del inventario y a reducir costos innecesarios.

Trabajo a futuro

El siguiente paso en el proyecto es desarrollar una aplicación basada en la macro actual para optimizar aún más el proceso de gestión de órdenes de compra. Esta aplicación permitirá controlar factores críticos del proceso productivo, como el tiempo de ejecución y la coordinación entre clientes, la empresa y proveedores. Además, ofrecerá un entorno de comunicación más eficiente, mejorando la trazabilidad de los pedidos y reduciendo errores. La flexibilidad de la aplicación permitirá ajustes continuos en función de las necesidades del mercado, incrementando la eficiencia operativa y mejorando la satisfacción del cliente.

Conclusiones

La implementación de la metodología TWI ha demostrado ser clave para mejorar la eficiencia operativa, la calidad del trabajo y la reputación de la empresa. Al centrarse en la capacitación en áreas clave como la instrucción de trabajo, las relaciones laborales y la mejora de métodos, TWI facilita la estandarización de procesos y fomenta un ambiente de colaboración, lo que garantiza una optimización duradera de las operaciones.

Además, TWI contribuye a aumentar la eficacia organizacional, promoviendo una capacitación adecuada que desarrolla habilidades clave y minimiza errores. No solo mejora los procesos, sino que también actúa como un catalizador de transformación cultural, fomentando una cultura de mejora continua y fortaleciendo la posición competitiva de la empresa. En resumen, TWI es una estrategia integral que impulsa el crecimiento sostenible y la competitividad a largo plazo.

Referencias

[1] INEGI, «LA INDUSTRIA TEXTILY DE LA CONFECCIÓN,» Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascaliente , 2024.

[2] P. Graupp y R. Wrona , THE TWI WORKBOOK, New York: CRC Press, 2010.

[3] P. Graupp, S. Steward y B. Parsons, GREATINGNAEFECTIVE MANAGEMENTSYSTEM, New York: CRC PRESS, 2020.

[4] P. Graupp y R. J. Wrona, IMPLEMENTING TWI, New York : CRC Press, 2010.

[5] J. R. Huntzinger, Lean Cost Management, Florida: J.ROSS PUBLISHING, 2006.

[6] M. Tyagi, «Expediting the Process of Skill transfer through Training Within Industry-"Job Instruction",» *International Journal of AdvancedScience and Technology,* vol. 29, n° 4, pp. 3179-3188, 2020.

[7] J. FURMAN, «TRAINING WITHIN INDUSTRY (TWI-JS) PROGRAM AS A TOOLTO IMPROVE WORK SAFETY IN THE STEEL INDUSTRY IN POLAND,» *Metalurgija,* vol. 62, n° 3-4, pp. 477-479, 2023.

[8] L. G. Mollo, E. Emuze y J. Smallwood, «REDUCING HUMAN FAILURE IN CONSTRUCTION WITH THE 'TRAINING- WITHIN-INDUSTRY' METHOD,» *Proceedings IGLC-26,* vol. 26, p. 923–932, 2018.

[9] M. Tyagi, «Expediting the Process of Skill transfer through Training Withnin Industry- "Job Instruction",» *International Journal of AdvancedScience and Tecnology ,* vol. 49, n° 4, pp. 3179-3188, 2020.

PROCESO TECNOLÓGICO PARA ELABORACIÓN DE PLANTAS ORNAMENTALES EN ATLIXCO, PUEBLA

L. Martínez Zacatenco[1], F. Olvera Torres [2],
[1]Posgrado, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Prolongación Heliotropo 1201, Col. Vista Hermosa, Atlixco, Puebla, México, C.P. 74218.
[2]Ingeniería Industrial, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Atlixco, Prolongación Heliotropo 1201, Col. Vista Hermosa, Atlixco, Puebla, México, C.P. 74218.
mi230016@itsatlixco.edu.mx

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

El presente trabajo está relacionado con la producción de plantas ornamentales que es parte del viverismo, esta actividad en Atlixco es considerada parte fundamental del turismo, ya que, al producir diversas variedades, como pueden ser rosas, geranios, suculentas, petunias, margaritas, entre otras, se atrae más turistas y personas que les gusten las plantas. Para la obtención de las mismas se realiza una serie de actividades, entre ellas: el pedido de materia prima, el transporte, el uso de un almacén, el mezclado para la obtención del sustrato adecuado para el desarrollo y crecimiento de la planta, el trasplante de las plántulas/esquejes, el traslado al área de crecimiento, por último, su exhibición y venta. Por otra parte, se hace un análisis de todas las actividades mencionadas por medio un estudio de tiempos con cronómetro para identificar las operaciones que agregan valor en la producción y como consecuencia obtener el tiempo de ciclo.

Palabras clave: *Viverismo, Mezclado, Sustrato, Producción*

Abstract

This present work is related to the production of ornamental plants, which is part of the nursery industry. This activity in Atlixco is considered a fundamental part of tourism, since the production of diverse varieties, such as roses, geraniums, succulents, petunias, daisies, among others, attracts more tourists and plant enthusiasts. To obtain these plants, a series of activities are carried out, including: raw material ordering, transportation, storage, mixing to obtain the suitable substrate for plant growth and development, transplanting of seedlings/cuttings, transfer to the growth area, and finally, exhibition and sale. On the other hand, an analysis of all the mentioned activities is carried out through a time study using a chronometer to identify the operations that add value to the production and, as a result, obtain the cycle time.

Key words: *Nursery, Mixed, Substrate, Production*

Introducción

El presente estudio está enfocado en el análisis de las actividades que se ejecutan durante la producción de plantas ornamentales en el viverismo de la región de Atlixco y colindantes. El viverismo es una actividad enfocada en la producción de organismos vegetales a través de viveros que son instalaciones agronómicas creadas para el cultivo, germinación y maduración de diversas clases de plantas. Esto se logra gracias a la implementación de maquinaria, equipos, herramientas e insumos que, en conjunto, permiten una producción exitosa [7].

Para el municipio de Atlixco es importante la actividad del viverismo, puesto que de ella se generan numerosos empleos directos e indirectos, debido a que en la región se producen plantas ornamentales dentro de los viveros y a su vez en diferentes áreas de alrededor de la región de Atlixco,

posterior a la producción los productores las llevan a ofrecer a los viveros establecidos en la zona de cabrera, el corredor gastronómico de Atlixco en donde se enfoca la mayor venta de estas plantas, incluso da oportunidad a la venta en otros estados.

La producción de plantas ornamentales se basa fundamentalmente en la utilización de macetas llenas de material sólido sustrato que sirve de medio de cultivo; Manuel Abad Berjon menciona que son múltiples las propiedades de los sustratos que son empleados para la producción de plantas, así como sus características físicas, químicas y biológicas [1]. El sustrato se considera que es cualquier material diferente al suelo que se utiliza para retener el agua y los nutrientes que sirve de anclaje al sistema radicular (las raíces) de la planta, el cual es vertido en un contenedor (maceta), los sustratos pueden estar formados por materiales orgánicos, inorgánicos o por una combinación de ambos tipos [8]. En México es común usar como sustrato a la tierra de monte para producir plantas ornamentales, también se usan tezontle, tepojal, perlita, turbas, fibra de coco, vermiculita, tierra negra, termolita, tierra triturada, entre otros [2]. Cabe mencionar que se puede hacer uso de componentes orgánicos para formar el sustrato, los más populares incluyen: musgo de turba (peat moss), productos de madera (corteza, aserrín, virutas), composta de materia orgánica o desechos de jardinería, polvo de coco, lodos de depuradora, fango, estiércol, paja, cascarilla de arroz y de cacahuete, etc [3]. El sustrato que se obtenga dependerá de la combinación de los materiales que se elijan y la finalidad de su aplicación al producir plantas, puesto que cada variedad requiere nutrientes diferentes para su desarrollo y crecimiento.

Al investigar más sobre el mismo tema, se encuentra que, en países desarrollados, la producción de plantas se refiere al trasplante de plántulas, esta actividad pertenece al área de la horticultura a la cual se le ha puesto mayor atención desde el punto de vista tecnológico debido a su alto precio y las rigurosas condiciones ambientales requeridas para asegurar su crecimiento y desarrollo [4]. Por lo tanto, se presenta como ejemplo la producción en la región de Atlixco, en la que las actividades se realizan de manera manual entre las que sobresalen el mezclado de sustrato que se realiza por medio de palas, bieldos y rastrillos, el trasplante de las plántulas y en general el cuidado de las plantas. Sin embargo, a pesar de las tareas exhaustas que conlleva el viverismo es importante mencionar que fomenta la incorporación de áreas verdes a un sistema ecológico urbano para tener una ciudad más sana y bella. [6]

Metodología

Materiales

Para el estudio de los tiempos del mezclado se midió por medio de tiempos con cronómetro (toma de video con celular cronometrado) con el objetivo de tener mayor exactitud y veracidad. Esta técnica nos proporcionó el tiempo de cada tarea realizada ya sea que el tiempo sea extenso o breve, el instrumento del cronómetro se considera una excelente herramienta en la detección de tiempos muertos, también apoya en la identificación del rendimiento del personal que ejecutan las actividades designadas, así mismo se obtiene el tiempo total del proceso y por consecuencia se determina el tiempo de ciclo de cada una de las 7 muestras que se obtuvieron de los cinco viveros involucrados.

Preparación

Se entrevistaron a las personas de los viveros para realizar el análisis de las actividades de la producción, posteriormente se realizó una lista las actividades identificadas que presentan en un diagrama de operaciones, por consiguiente, se seleccionan las tareas que agregan valor al proceso colocando los datos en una tabla y por último se diseña un Value Stream Mapping (VSM) en el que se integra toda la información para tener un panorama más amplio a cerca de la producción de plantas ornamentales.

Desarrollo

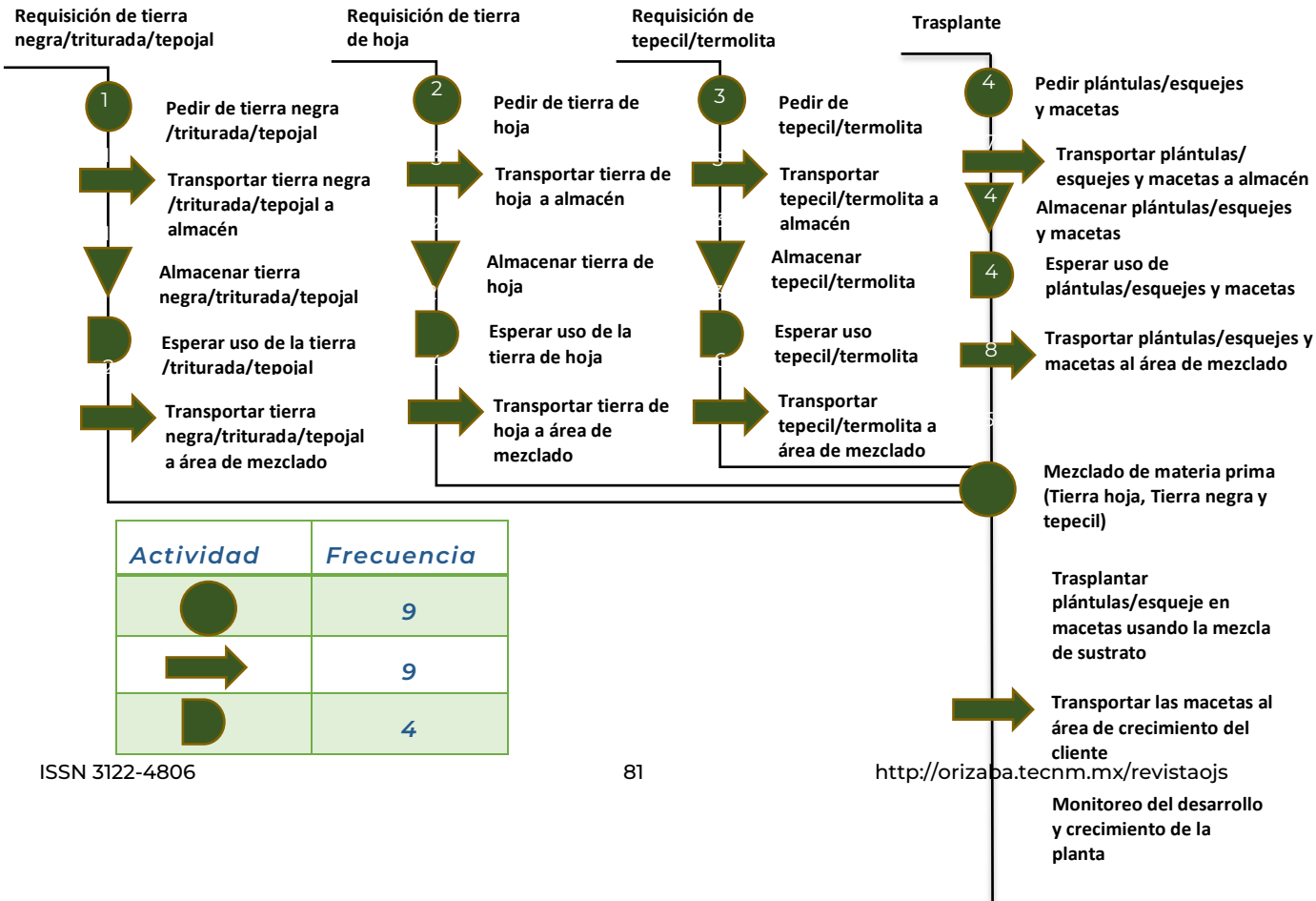
Derivado de lo anterior en este trabajo se realizó el análisis de las actividades que integran la producción de plantas ornamentales, considerando tiempos y número de operadores, enfocando el estudio en el mezclado del sustrato, por lo que se cronómetro el tiempo de cada actividad que se realiza durante la mezcla de los componentes, los viveros que participaron en el trabajo son: Xochiquetzal con 2 muestras, Flor Natura con 2 muestras, Jardín de San Francisco con 1 muestra, Tecno Rojas con 1 muestra y Xalpatlaco con 1 muestra.

Para presentación de la información recabada se realizó un diagrama de operaciones en las que se integran todas las actividades de la producción, se hizo una tabla para incorporar los tiempos y por último se elaboró un Value Stream Mapping (VSM) de las operaciones que integran la producción de plantas ornamentales.

Resultados y discusión

Procesos para la producción de plantas ornamentales

Al realizar las visitas a cinco viveros se identificaron las actividades que se realizan durante la producción de plantas ornamentales en el área del viverismo, el diagrama de la figura 1, muestra el requerimiento de materia prima tales como: tierra de hoja, tierra negra, tepecil/termolita/tezontle, maceta de 6" y plántulas/esquejes la cual al llegar al almacén se transporta al área asignada para mezclar los tres componentes y formar el sustrato una vez listo se utiliza para la plantación de los esquejes/plántulas, posteriormente se acomoda en el área de crecimiento del cliente para su monitoreo del desarrollo de las mismas que al ser cumplir con las características necesarias son exhibidas para su venta.



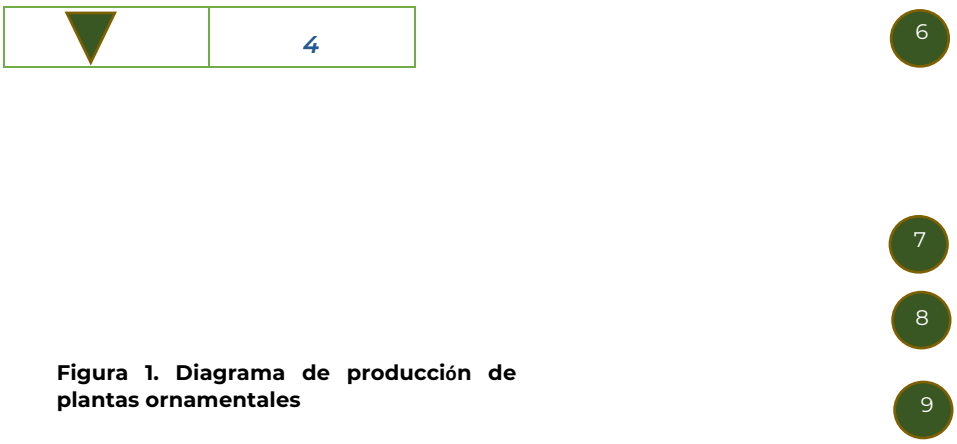


Figura 1. Diagrama de producción de plantas ornamentales

Tiempo de desarrollo de las operaciones

En colaboración con cinco viveros para la toma de tiempos por medio de un cronómetro, se identifican siete actividades que se realizan durante la mezcla de sustrato para posteriormente utilizarlo en el trasplante de plántulas/esquejes, entre las tareas destacadas se encuentran el transporte de tierra negra, tierra de hoja, transporte de tepecil/termolita, cada vez que se llevan estas tierras a al área de mezclado se deben esparcir adecuadamente en el área para tener una mezcla de los componentes. En la tabla 1 se muestra la información referente a los cinco viveros que participaron en el estudio, esto incluye: 2 operadores que se necesitan para realizar el mezclado de sustrato, 7 muestras, posteriormente se coloca una columna con las operaciones que agregan valor con sus respectivos tiempos cronometrados en minutos (TC min), en la penúltima fila se observan el tiempo total al mezclar el sustrato y por último se coloca el tiempo promedio de cada ciclo.

VIVEROS							
Operadores	2		1		2	2	2
Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Actividad	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min	TC min
Transportar de tierra negra /triturada/tepojal	16	20	16	0	14	0	0
Esparcir la tierra negra/triturada/tepojal	2	3	2	4	4	3	4
Transportar de tierra de hoja	6	8	0	0	6	0	0
Esparcir la tierra de hoja	2	3	3	6	4	2	3
Transportar de tepecil/termolita	0	0	10	16	16	0	0
Esparcir el tepecil/termolita	4	5	3	6	6	1	3
Demora mezclar los componentes	0	0	0	0	1792	0	0
Mezclar las tres tierras	18	20	27	20	18	14	16
Tiempo total	48	59	61	52	1860	20	26
Tiempo de ciclo	6.0	7.4	7.6	6.5	232.5	2.5	3.3

Tabla 1. Tiempos del mezclado de sustrato

Al analizar los tiempos cronometrados se puede observar que el vivero Tecno rojas y vivero Xalpatlaco tienen los menores tiempos de ciclo que son: 2.5 min y 3.3 min, lo cual se debe a que la materia prima no necesita ser traslada de lugar ya que al recibirla del proveedor ya se cuenta con una área designada para descargarla, mientras que en los viveros Xochiquetzal y Flor Natura tienen tiempo de ciclo 6.0 min, 7.4 min, 7.6 min y 6.5 min, ya que transportan las tierras al área donde se mezclara el sustrato y esto hace que el tiempo sea mayor, así mismo se puede observar que el tiempo de ciclo mayor es de 232.5 min en el Vivero Jardín de San Francisco ya que al no contar con áreas designadas para la descarga de las tierras, dar prioridad a otras actividades y tener frecuente rotación de personal hace que el proceso se pause y demore el tiempo de ejecución.

Mapeo de proceso por VSM

Con la colaboración de cinco viveros se logró identificar las actividades y el tiempo promedio de ejecución que se realizan durante el mezclado de sustrato para plantas ornamentales como se muestra en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM), en el diagrama se observa la cantidad de producción de plantas que pide el cliente, la materia prima que se necesita que es la tierra de hoja, tierra negra, tepecil/termolita/tezontle, maceta de 6", plántula, posteriormente se transporta la materia prima al almacén de los viveros, el siguiente paso es llevar los materiales que conforman el sustrato al área de mezclado, esta operación la ejecutan dos personas (el personal debe estar libre de lesiones físicas) de manera manual utilizado palas derechas, palas de cuchara, bieldos y rastrillos, el tiempo de ciclo del proceso tecnológico de mezcla dura 19 minutos. La siguiente actividad es transportar las plántulas/esquejes y las macetas de 6" al área de mezclado para la plantación en la que se utiliza el sustrato que se ha mezclado, al terminar de plantar se transportan las macetas al área de crecimiento del cliente en donde se monitorea el desarrollo de las mismas que una vez pasado el tiempo promedio de 20 días habrán cumplido con las características para que sean exhibidas y venderlas.

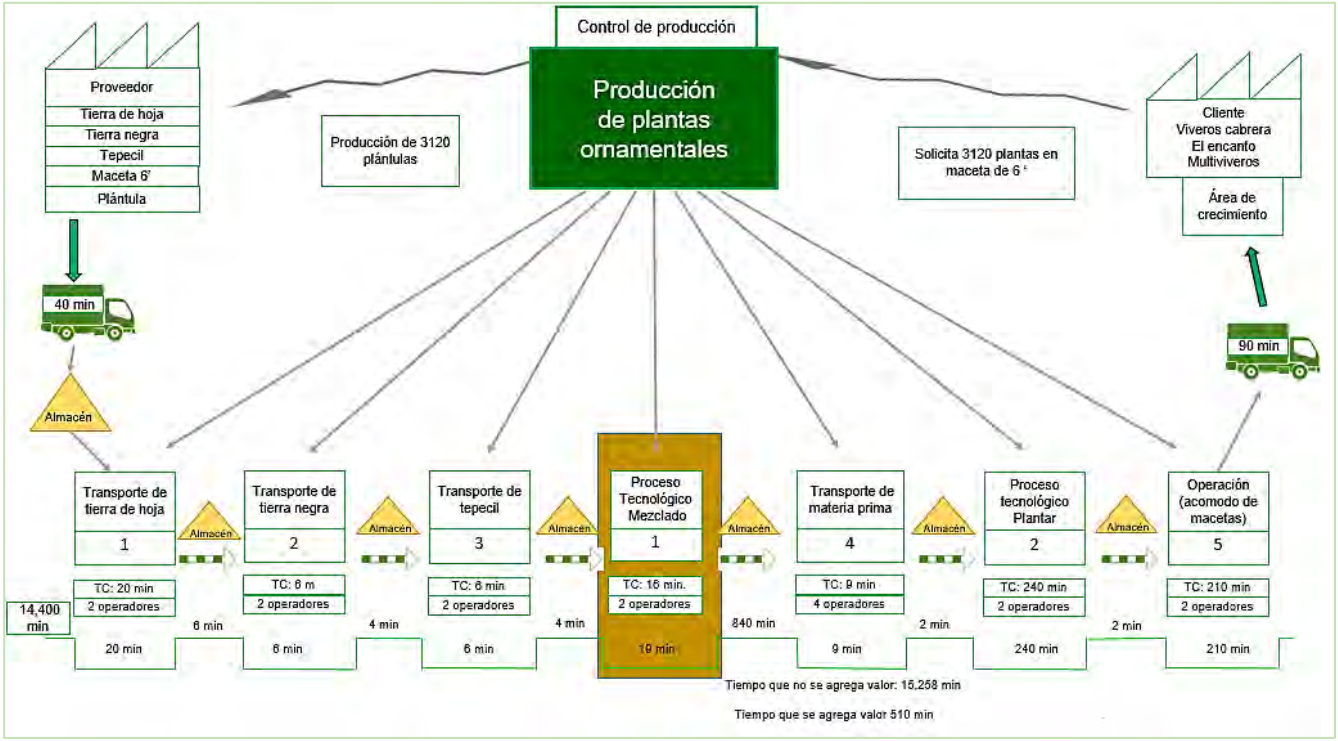


Figura 2. VSM del mezclado de sustrato para plantas ornamentales

La producción de plantas ornamentales conlleva diversas operaciones como se presenta en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM), este diagrama permite observar que el primer proceso tecnológico y del cual depende para el seguimiento de producción es el mezclado de sustrato que se obtiene de la combinación de tres materiales dependiendo del uso o aplicación que se le dé, cabe mencionar que para la producción de plantas el uso de sustrato es fundamental puesto que los nutrientes que lo conforman ayudan al crecimiento y desarrollo de la misma. El sustrato cumple también con la función de drenar el agua para evitar la pudrición de los esquejes, pero a su vez conserva la humedad necesaria.

Trabajo a futuro

Automatización del mezclado de sustrato

En la actualidad más empresas apuestan por mejorar los procesos utilizando máquinas automáticas para simplificar las actividades que son repetitivas. Por lo tanto, la automatización se ha convertido en un beneficio y oportunidad de crecimiento para la empresa que decida invertir en ella. [5]

El diseño de un sistema automatizado del mezclado del sustrato es una propuesta que ayudará a la reducción del tiempo de realización, ya que actualmente se mezcla de forma manual y esto conlleva numerosas repeticiones, así como posibles riesgos de salud en los operadores. Al aplicar la automatización se aumentará la productividad, se reducirá la mano de obra la cual se puede ocupar para realizar otras actividades relacionadas con la producción de plantas ornamentales.

Conclusiones

Durante el estudio de la producción de plantas ornamentales, se identificaron las actividades que agregan valor y aquellas que no agregan valor mediante un previo diagnóstico de toda la producción de plantas. Las tareas que agregan valor son las siguientes: la requisición de materia prima, el transporte de la misma, el mezclado de sustrato, el trasplante de las plántulas/esquejes, y el transporte de las macetas al área del crecimiento. Por lo que se concluye que el mezclado de sustrato es el proceso tecnológico que agrega valor y el tiempo de elaboración es de 19 min, también se pudo observar que esta actividad se realiza de forma manual en los cinco viveros involucrados en la investigación, por lo que proponer e implementar innovación es fundamental para una mayor producción. Por otra parte, las actividades que no agregan valor son los 7 almacenamientos presentados en la figura 2 Value Stream Mapping (VSM) y así también se determina que el tiempo que agrega valor es de 510 min.

Referencias

[1] M. Alonso y M. López, "La viveristica de plantas ornamentales", julio 2002.

[2] S. Gayosso, L. Borges, E. Villanueva, M. Estrada y R. Garduña, "Sustrato para producción de flores",
AGROCIENCIA, 1 de julio - 15 de agosto, 2016

[3] R. Iskander, "Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta", Buenavista,
Saltillo, Coahuila, 8 de octubre del 2002

[4] A. Ayala-Sierra y L. A. Valdez-Aguilar, "El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de
plantas ornamentales para trasplante", Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 161-167, 2008.

[5] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán "Fundamentos de Automatización y Redes Industriales", 20 de junio de
2021

[6] J. Ana Mate, V. Guerra, M. Záccaro, N. Zapata, L. Olivera, T. Vásquez, S. García, S. Carrillo y V. Busca,
“Manual del vivero", edición marzo 2018

[7] R. Accietto, "Viverismo de especies nativas", 2014/07/01

[8] Universidad Nacional de Rosario, "Sustratos", Argentina, marzo 2020.

ANALISIS DE REDUCCIÓN DE COSTOS POR CONSUMO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN DE OBRA SUBTERRÁNEA

Baltazar-Vera, Juan Carlos[1], Patlán-Valdez, Jesús Enrique[2], Rodríguez-Rodríguez, Carolina de Jésus[3], Ontiveros-Ibarra, Roberto[4], Valtierra-Olivares, Joel Everardo[5]*

[1]Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. jc.baltazarvera@ugto.mx

[2]Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. enrique_patlan1916@hotmail.com

[3]Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. carolina.rodriguez@ugto.mx

[4]Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. rontiver@ugto.mx

[5]Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Sede San Matías, Ex-Hacienda San Matías S/N, Col San Matías, C.P 36020, Guanajuato, Guanajuato, México. valtierra.je@ugto.mx*

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

En este trabajo se muestra el estudio comparativo de costos por consumo energético al implementar un variador de velocidad en el ventilador para regular el caudal proporcionado por el sistema de ventilación con respecto al sistema que trabaja al 100 % del caudal, en este sentido los resultados muestran que se tiene un ahorro anual de aproximadamente 42%, lo cual es atractivo ya que permite dilucidar que al realizar esta modificación se tiene un abatimiento considerable de los gastos por consumo energético propios de esta actividad.

Palabras clave: Sistema de ventilación, Ventilador, Consumo energético, Ahorro.

Abstract

This work shows the comparative study of energy consumption costs when implementing a variable speed drive in the fan to regulate the flow provided by the ventilation system with respect to the system that works at 100% of the flow. In this sense, the results show that there is an annual saving of approximately 42%, which is attractive since it allows us to elucidate that by making this modification, there is a considerable reduction in energy consumption costs typical of this activity.

Key words: *Ventilation system, Fan, Energy consumption, Savings*

Introducción

La minería es un conjunto de actividades que tiene que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales, esta se lleva a cabo para obtener los recursos acumulados en el suelo y subsuelo. La minería también se relaciona con los trabajos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena [1, 2, 3]. En las obras de ejecución de túneles, así como en las labores mineras que no son ventiladas por la corriente principal, es necesario una ventilación específica para asegurar que tenemos en el frente de trabajo el aire necesario para remover los gases emitidos por los vehículos, la voladura u otros como el metano. Es también necesario controlar el polvo y la temperatura. Esta ventilación es comúnmente conocida como ventilación secundaria. [4, 5, 6]. En este sentido, toda mina subterránea deberá disponer de Circuitos de Ventilación, natural o forzado, para mantener un suministro permanente de aire fresco y retorno del aire viciado, en el cual el caudal de aire que circule por la mina dependerá del número de trabajadores, la extensión y sección de las labores, el tipo de maquinarias de combustión interna y las emanaciones de gases naturales de la mina [7, 8, 9].

En México la NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y Minas a cielo abierto indican los parámetros adecuados para implementar un sistema de ventilación entre los cuales destacan: Suministrar al interior de la mina un volumen de aire de 1.50 m^3/min por cada trabajador, 2.13 m^3/min por cada caballo de fuerza de la maquinaria accionada por motores de combustión diésel, localizados en el interior de la mina y mantener una velocidad mínima del aire de 15.24 m/min, cuando en cualquier frente, galería o tiro se opere maquinaria impulsada por motores de combustión diésel [10]. De acuerdo con esto, en este trabajo se presenta un análisis de consumo energético y costos al implementar un variador de frecuencia para optimizar el sistema de ventilación estudiado.

Metodología

Criterios para la definición del caudal

Para poder determinar el caudal necesario para el caso de estudio presentado se tomaron en cuenta las especificaciones dentro de la normatividad mexicana correspondiente, sin embargo, de manera complementaria se consideraron aspectos de normativas de otros países para abordar aspectos que la normativa nacional con considera. En este sentido, El Art. N° 204 del D.S. N° 055-2010-EM de Perú, indica que cuando los túneles o minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, se debe aumentar un factor de altura como sigue: De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%, de 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%, sobre los 4,000 metros aumentará en 100% [11].

El caudal de aire para personal se calcula mediante la siguiente formula:

$$QP = KN \quad (1)$$

Donde:

QP= caudal de aire requerido por persona

K= Caudal mínimo por persona

N= Número de personas.

De igual manera el caudal requerido por cada HP de equipo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$QE = LE \quad (2)$$

Donde:

QE= caudal de aire requerido por cada HP de los equipos diesel.

L= Caudal mínimo por HP de equipo

E= Número de HPs de equipos diesel.

De acuerdo con lo anterior se tiene que para calcular el caudal real necesario para la obra subterránea se tiene la siguiente fórmula:

$$Qfinal = Q\left(1 - \frac{F}{100}\right)^{-\frac{L}{100}} \quad (3)$$

Donde:

QF= Caudal real necesario para ventilar la obra.

Q= la suma de QP y QE

F= Factor de fuga de la tubería

L= Longitud equivalente de la tubéría.

Cálculo de las perdidas de carga de instalación y potencia instalada

Una vez calculado el caudal necesario para ventilar la obra del caso de estudio se determinará la presión necesaria de salida del ventilador para mover dicho caudal, para tal fin se calcularán las

pérdidas de carga de instalación y con estos datos la potencia instalada del motor a emplear para el funcionamiento del ventilador.

Cuando el aire fluye a través de un ducto u obra subterránea, la presión requerida para mover el aire a través de él depende no sólo de la fricción interna, sino también del tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad y densidad del aire mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{MCLV^2}{A} \qquad 4$$

Dónde:

P: Caída de presión (Pa).

M: Factor de fricción de la tubería.

C: Perímetro del ducto (m).

L: Longitud del túnel (m).

V: Velocidad (m/s).

A: Área del ducto (m2).

Las pérdidas singulares son aquellas que se producen cuando el flujo de aire cambia de dirección o el conducto cambia de sección. Estas pérdidas se calculan como un porcentaje sobre la presión dinámica del fluido calculada en el punto singular:

$$\Delta Psin = \frac{\varepsilon \rho v^2}{2} \qquad 5$$

Dónde:

ΔP_{sin}: Es la pérdida de carga del aire [Pa].

Ɛ: Es el coeficiente de pérdida del elemento.

ρ : Es la densidad del aire [kg/m3].

v: Es la velocidad del aire en el conducto [m/s].

Finalmente, para el cálculo de la potencia instalada propia del motor para el funcionamiento del ventilador se puede calcular de la siguiente manera:

$$BHP = \frac{QHDE}{6350\eta} \quad (6)$$

Donde:

Q = Caudal de aire en m^3/s.

H =Depresión del circuito en Pa (presión estática en Pascales)

η = Eficiencia del ventilador, la cual varía entre 70 a 85% (dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo).

BHP = Potencia del ventilador en Kw.

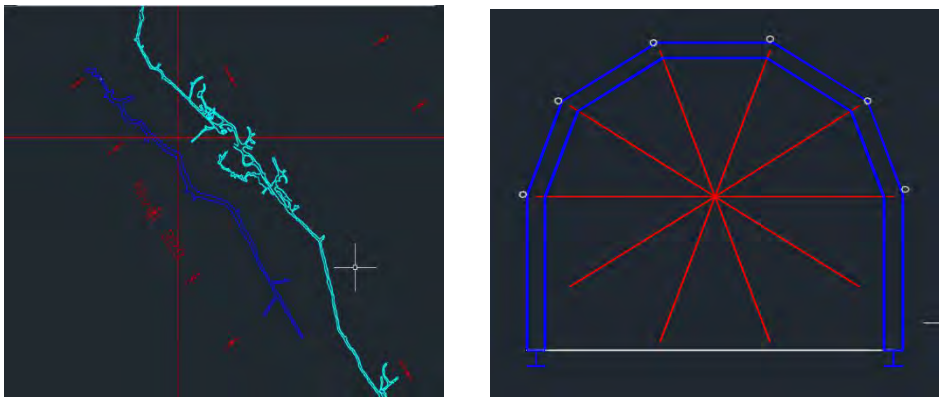
DE = Eficiencia de la transmisión, la cual varía entre 90% para transmisión por poleas y correas, y 100% para transmisión directa.

Resultados y discusión

Datos de la obra

En concordancia con lo mostrado en la sección de metodología se llevó a el cálculo y selección del sistema de ventilación en el nivel 320 en la mina San Vicente a continuación se presentan los datos correspondientes de la obra:

El nivel de la mina tiene una longitud aproximada de 500 m con una sección de 3.5 de ancho y 3.5 de alto (Figura 1).



a) b)

Figura 1. a) Plano del nivel. (Minera Villa Seca), b) Sección de la obra (Elaboración propia)

Se requiere:

- 1 cargador frontal de 3.7 yd^3 CAT modelo R1300 de 165 HP.
- 1 camión bajo perfil de 14 yd^3 CAT modelo AD30 de 377 HP.

- 1 perforista, 1 Ayudante de perforista, 1 Operador de R1300,1 Operador de AD30, 1 Supervisor, 1 persona de servicio, 1 Ayudante de servicios, dando un total de cuadrilla de 7.

Cálculo de los requerimientos del ventilador

Tomando como base los parámetros descritos en la metodología se calcularon los requerimientos necesarios para el sistema de ventilación (Tabla 1) en los cuales se puede observar que los requerimientos de caudal y presión se encuentran dentro de los rangos típicos para este tipo de sistemas manteniendo una velocidad de aire acorde a lo indicado en la norma dando un tiempo de renovación del aire de 8 min con 30 segundos lo cual es sumamente atractivo en términos de la optimización de tiempos de espera derivados del proceso de ventilación después de voladura.

Tabla 1. Requerimientos de ventilación para la obra subterránea

Obra	Longitud	Caudal-Ventilador	Presión Estática	Presión Dinámica	Presión total	Velocidad final en la obra	Diámetro de Mangas	Tiempo de limpieza
Nivel 320	500m	1162.51 m3/min	24.41713	0.896557	25.313686	26.086 m3/s	36"	0:8:30 min

Con los requerimientos de ventilación obtenidos para la obra a ventilar que corresponde al nivel 320 se pudo determinar el BHP necesario para el funcionamiento del ventilador y por lo tanto poder conocer la capacidad del motor que provea esta potencia, en este sentido el motor debe dar una potencia de 110 HP el cual se encuentra dentro del rango de los motores comerciales comúnmente utilizados para esta actividad.

A continuación, se hace un estudio de consumo energético comparando los datos del sistema de ventilación implementando un variador de velocidad para optimizar el gasto de energía (Figura 3) contra el sistema sin este dispositivo (Figura 2), lo anterior con la finalidad de dilucidar si esta modificación representa un ahorro considerable con respecto al sistema sin cambios.

Tabla 2. Costo de consumo energético del sistema de ventilación sin variador de velocidad.

Actividad	CICLO (Hrs.)	% de Caudal	Caudal (cfm)	% de consumida (Kw)	Potencia consumida (HP)	Potencia consumida (Kw)	Costo total tomando $ 1.8112 MXN por Kw
Perforación	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Cargado de barrenos	1	100%	43413.119	100%	110	85	154
Voladura/Ventilación	0.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Amacice	1.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Fortificación	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Lanzado de concreto	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
Retiro de rezaga	2	100%	43413.119	100%	110	85	154
						Costo por turno ($MXN)	1070

Tabla 2. Costo de consumo energético del sistema de ventilación con variador de velocidad.

Actividad	CICLO (Hrs.)	% de Caudal	Caudal (cfm)	% de consumida (Kw)	Potencia consumida (HP)	Potencia consumida (Kw)	Costo total tomando $ 1.8112 MXN por Kw
Perforación	2	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Cargado de barrenos	1	60%	26047.8714	22%	24.2	18.7	34
Voladura/Ventilación	0.5	100%	43413.119	100%	110	85	154
Amacice	1.5	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Fortificación	2	70%	30389.1833	34%	37.4	28.9	53
Lanzado de concreto	2	90%	39071.8071	73%	80.3	62.05	154
Retiro de rezaga	2	100%	43413.119	100%	110	85	113
						Costo por turno ($MXN)	614

Estos resultados muestran que al hacer una reducción del caudal de acuerdo a las características propias de las actividades de la obra se logra tener un panorama de optimización del consumo de energía, el cual indica que al no implementar el variador de velocidad el costo anualizado del consumo energético es de $ 9,373,200 MXN, en este sentido el costo del consumo energético anualizado al implementar el variador de velocidad es de $ 5,378,640 MXN al cual hay que agregarle el costo anualizado del variador de velocidad lo que da un total de $ 5,446,640 MXN, lo que se traduce en un ahorro anual de $ 3,926,560 MXN representando una reducción aproximada del 42%.

Trabajo a futuro

Con este trabajo se puede dilucidar el impacto en los costos de energía que representa el implementar un variador de velocidad en el ventilador del sistema a suministrar aire, en este sentido este estudio es la fase inicial de un proyecto mas amplio el cual contempla analizar de manera integral todos los circuitos de ventilación implicados en el conjunto de obras subterráneas ya sea para minado o para desarrollo de otras actividades, para tal fin se desarrollarán metodologías que permitan analizar de manera conjunta las diversas obras mediante softwares de diseño y simulación de circuitos de ventilación, así como, técnicas de optimización apropiadas.

Conclusiones

En este trabajo se presentó un análisis en los costos de consumo energético al implementar un variador de velocidad en el ventilador con respecto al sistema sin implementarlo. Los resultados muestran que al realizar la modificación antes mencionada se logra tener un ahorro del 42% correspondiendo a $ 3,926,560 MXN anuales, estos resultados son alentadores ya que se debe tomar en cuenta que en las unidades mineras o de obras de desarrollo se tienen varios frentes de trabajo, lo que indica que se requieren varios sistemas de ventilación simultáneos, lo cual representa un aumento drástico de los costos generados por consumo energético y por lo tanto la modificación implementada para generar un ahorro en este parámetro aumenta su valor agregado.

Referencias

[1] C. Estrada, L. Villareal, E. Cruz, C.A Pérez, “La minería en México: formas de acumulación y efectos ambientales”, *Caminhos de Geografia”,* vol. 1, no. 1, pp. 308-337, 2017.http://dx.doi.org/10.14393/RCG186314

[2] S. Hu and T. Yu, "Study on overlying rock movement and mine pressure behavior in shallow-buried close coal multi-seam mining" *Alexandria Engineering Journal,* vol. 105, no. 1, pp. 578-587, 2004. https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.08.041

[3] A. Gholami, B. Tokac, Zhang Q. "Knowledge synthesis on the mine life cycle and the mining value chain to address climate change " *Resources Policy,* vol. 95, no. 1, pp. 105183, 2024. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105183

[4] E. Angeles, M. Balci, M. Kumral, L. Sushama. "Quantification of relationship between greenhouse gas emissions and equipment management in mineral industries" *Process Integration and Optimization for Sustainability*, vol. 6, no 3, pp. 669-679, 2022. https:// doi.org/10.1007/s41660-022-00239-1

[5] C. Baah, D. Opoku-Agyeman, I.S.K. Acquah, Y. Agyabeng-Mensah, E. Afum, D. Faibil, F.A.M. Abdoulaye, " Examining the correlations between stakeholder pressures, green production practices, firm reputation, environmental and financial performance: evidence from manufacturing SMEs" *Sustainable Production and Consumption,* vol. 27, no 1, pp. 100-114, 2021. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.015.

[6] C. Quevedo " Sistema de ventilación de diez kilometros del túnel de conducción de la Central Hidroeléctrica Huanza " *Universidad Nacional Mayor de San Marcos,* vol. 1, no 1, pp. 25-29, 2014. https://es.scribd.com/document/416112260/Quevedo-Chaname-Carlos-Manuel-2013-converted-docx

[7] E.T. Asr, R. Kakaie, M. Ataei, M.R.T. Mohammadi, " A review of studies on sustainable development in mining life cycle" *Journal of Cleaner Production*, vol 229, no 1, pp. 213-321, 2019. https:// doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029

[8] L. Cabernard, S. Pfister, S. Hellweg, " A new method for analyzing sustainability performance of global supply chains and its application to material resources" *Science of The Total Environment,* vol 681, no 1, pp. 164-177. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.434

[9] E. Vargas, “Ventilacion de Minas” *Servivio Nacional de Geología y Minería,* vol. 1, no 1, pp. 1-36. https://issuu.com/isemvirtual/docs/_16__ventilaci_n_en_minas_subterr_n/1

[10] NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, "Minas subterráneas y minas a cielo abierto" 2012, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5272056&fecha=11/10/2012

[11] Manual de minería, estudios mineros del Peru, “Mineria a cielo abierto” 2018. https://issuu.com/isemvirtual/docs/_3__manual_de_miner__a__estudios_mi

COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE CAPTURA DE HUELLAS DE EDIFICIOS PARA EL ANÁLISIS DE LA MOVILIDAD HUMANA EN CONTEXTOS URBANOS

Estévez Dorantes Thelma Leonor [1], Panzi Utrera Manuel[2], Vázquez Trujillo Cesar Roberto[3] Venegas García José Alberto[4], Colohua Castillo Cutberto[5],

[1]TecNM/ITOrizaba thelma.ed@orizaba.tecn.mx [2]TecNM/ITOrizaba manuel.pu@orizaba.tecn.mx
[3]TecNM/ITOrizaba cesar.vt@orizaba.tecnm.mx [4]TecNM/ITOrizaba jose.vg@orizaba.tecn.mx
[5]TecNM/ITOrizaba L19020397@orizaba.tecn.mx

Área de participación: **Sistemas Computacionales**

Resumen

La investigación analiza tecnologías para la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana en la planificación urbana. Emplea un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, Inteligencia Artificial y ML. El objetivo es comparar la efectividad de estas tecnologías y su impacto en la toma de decisiones urbanas, respondiendo a la necesidad de herramientas precisas para una mejor gestión. urbana.

Palabras clave: *Huellas de edificios, SIG (Sistemas de Información Geográfica), Planificación urbana,* Estudio de movilidad

Abstract

The research examines technologies for generating information on building footprints and human mobility in urban planning. It employs a mixed-methods approach, combining qualitative and quantitative methods to evaluate technologies such as GIS, IoT, satellite imagery, big data, AI, and ML. The goal is to compare the effectiveness of these technologies and their impact on urban decision-making, addressing the need for precise tools for better urban management.

Key words: Building footprints, GIS (Geographic Information Systems), Urban planning, Mobility study

Introducción

Esta investigación emplea un enfoque mixto para evaluar tecnologías en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana. Utiliza métodos cualitativos y cuantitativos para analizar tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, Inteligencia Artificial y ML. Desde el objetivo general de evaluar la efectividad de tecnologías para la información sobre huellas de edificios y movilidad humana en la planificación urbana. Para pasar específicamente al análisis de tecnologías clave y sus criterios de evaluación respondiendo a la necesidad de herramientas precisas en la planificación urbana, proporcionando una base para decisiones informadas. Desde el planteamiento de la problemática cuando el fenómeno de la urbanización

rápida exige una evaluación comparativa de tecnologías para mejorar la gestión urbana, algo que falta actualmente en la literatura.

Metodología

El enfoque de esta investigación es mixto porque combina métodos cualitativos y cuantitativos para ofrecer una evaluación integral y detallada de las tecnologías utilizadas en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana. La parte cualitativa se centra en el análisis de literatura existente sobre diversas tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, INTELIGENCIA ARTIFICIALy ML que para realizarlas implica comprensión profunda de conceptos, teorías y estudios previos, así como estudios de caso de cómo se han implementado estas tecnologías en contextos específicos a través de entrevistas y análisis de documentos. La parte cuantitativa incluye análisis donde se recopilan y analizan datos cuantitativos de múltiples estudios para identificar tendencias y resultados comunes, así como estudios de casos que incluyen datos numéricos sobre el rendimiento de tecnologías

Objetivo General

Evaluar las tecnologías más efectivas para la generación de información utilizando la tecnología Building Footprint y la afluencia o movilidad humana para analizar cómo su uso optimiza la toma de decisiones políticas urbanas**.**

Objetivos Específicos

Analizar las principales tecnologías utilizadas en la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana.

Producir criterios de evaluación para medir la eficacia de estas tecnologías en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración.

Explicar el impacto de la información generada por estas tecnologías en la toma de decisiones políticas urbanas.

Justificación.

La investigación propuesta es importante para abordar los problemas actuales en la planificación y gestión urbana mediante evaluación de tecnologías avanzadas como Building footprint y movilidad humana. En un contexto de rápida urbanización, las ciudades necesitan herramientas precisas y efectivas para optimizar la toma de decisiones y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. En la actualidad la literatura carece de evaluaciones comparativas que midan la eficacia de tecnologías como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, INTELIGENCIA ARTIFICIALy ML en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración, Esta investigación llenará vacíos proporcionando un análisis comparativo basado en evidencia, desarrollando bajo criterios de evaluación específicos y presentando casos reales. Los resultados permitirán a los responsables de generación de información y de planificación urbana toma de decisiones más informadas, optimizando el uso de recursos así también contribuirá al avance del conocimiento en TICs aplicadas para impactar la vida de los ciudadanos.

Planteamiento del problema.

La rápida urbanización ha generado desafíos significativos en la planificación y gestión de las ciudades, requiriendo soluciones tecnológicas avanzadas como SIG, IoT, imágenes satelitales, big data, IA y ML para mejorar la toma de decisiones políticas urbanas. Sin embargo, existe una carencia

de estudios comparativos exhaustivos que evalúen la eficacia de estas tecnologías en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración. Además, hay una falta de investigación sobre el impacto directo de la información generada por estas tecnologías en las decisiones políticas urbanas. Esta investigación busca llenar estos vacíos proporcionando una evaluación sistemática y basada en evidencia, desarrollando criterios específicos y analizando casos de estudio reales. Sin esta evaluación integral, las ciudades corren el riesgo de gestionar ineficientemente sus recursos y tomar decisiones subóptimas, afectando negativamente la calidad de vida de sus habitantes. Por lo tanto, es esencial una evaluación rigurosa para guiar la adopción efectiva de estas tecnologías en la gestión urbana.

Alcance

Roberto Hernández Sampieri define un estudio con alcance exploratorio como “Investigación exploratoria es una investigación inicial que ayuda a definir el problema y establecer una hipótesis. Se utiliza cuando el problema no está claramente definido y el investigador necesita recolectar más información. [1]

Esta investigación tiene un alcance exploratorio ya que examina nuevas tecnologías y su potencial aplicación en la planificación urbana, especialmente con tecnologías que aún no han sido ampliamente estudiadas o utilizadas en ciertos contextos. [1]

Según García R. en su obra Métodos y técnicas de investigación en ciencias sociales "La investigación descriptiva se centra en detallar las características de un fenómeno, objeto o población, proporcionando una descripción precisa y sistemática de las variables o elementos estudiados. Su objetivo principal es presentar un retrato fiel y detallado de la realidad observada sin intervenir o manipular las variables." [2]

Hipótesis

Las métricas de evaluación desarrolladas para medir la eficacia de las tecnologías avanzadas en términos de precisión, costo, tiempo y facilidad de integración permiten identificar claramente las tecnologías más adecuadas para la planificación urbana.

Población

La población está integrada por el conjunto de conjunto de tecnologías utilizadas para la generación de información sobre huellas de edificios y movilidad humana y los proveedores que las ofrecen.

Huellas de Edificios:

Sistemas de Información Geográfica (SIG): ArcGIS (Esri), QGIS (Quantum GIS, Google® Earth Engine, MapInfo (Pitney Bowes), GeoMedia (Hexagon Geospatial) [3]

Internet de las Cosas (IoT): Cisco Kinetic, IBM Watson IoT, Microsoft® Azure IoT Suite, Google® Cloud IoT, PTC ThingWorx [4]

Imágenes Satelitales: Sentinel-2 (European Space Agency, Landsat (US Geological Survey),

WorldView-3 (DigitalGlobe), TerraSAR-X (Airbus Defence and Space), PlanetScope (Planet Labs) [5]

Big Data: Apache Hadoop, Apache Spark, Google® BigQuery, Amazon Redshift, Microsoft® Azure HDInsight [6]

Inteligencia Artificial (IA): TensorFlow (Google®), PyTorch (Facebook, IBM Watson, Microsoft® Azure AI, Google® Cloud AI [7]

Aprendizaje Automático (ML): Scikit-learn, Keras, XGBoost, H2O.ai, Amazon SageMaker [8]

Muestra

La muestra utilizada en este estudio es una muestra no probabilística dirigida [1], seleccionada específicamente para centrarse en tecnologías de acceso libre y bajo costo, ya sea total o parcial, que no generan costos adicionales a los usuarios en el aprendizaje y uso de estas tecnologías. De todas las tecnologías disponibles en la población, se han incluido en esta investigación únicamente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Imágenes Satelitales, dado que son fundamentales para la creación de las huellas de edificios. Estas tecnologías fueron elegidas por su alta precisión en la captura y análisis de datos espaciales, lo que permite obtener resultados confiables y reproducibles, esenciales para los objetivos del estudio.

Se eligieron cinco proveedores principales de huellas de edificios (building footprints): Microsoft® (Azure Maps), Esri (ArcGIS), OpenStreetMap (OSM), Google® Maps Platform y Google® Open Buildings. Aunque todos ofrecen datos sobre huellas de inmuebles, cada uno emplea tecnologías y enfoques distintos. Microsoft® y Google® se centran en soluciones empresariales con integraciones en sus plataformas en la nube, mientras que Esri es líder en sistemas de información geográfica avanzados. OSM se distingue por su modelo colaborativo y abierto, ideal para aplicaciones de mapeo accesibles. Google® Open Buildings, por su parte, sobresale en la provisión de datos abiertos orientados al desarrollo sostenible en regiones en desarrollo.

Resultados y discusión

Proveedores y tecnologías de Building footprint

En esta sección se presentan las tecnologías y los proveedores clave que juegan un papel central en la generación de huellas de edificios (Building Footprints). Se analiza la variedad de enfoques tecnológicos, destacando las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) e Imágenes Satelitales, así como las plataformas y proveedores que ofrecen estas soluciones. La comparación entre los diferentes proveedores permite identificar las fortalezas y limitaciones de cada uno, proporcionando un panorama integral de las opciones disponibles para la captura y análisis de datos espaciales en el contexto de la creación de huellas de edificios.

1. Microsoft® (Azure Maps)

Microsoft® es una de las empresas tecnológicas más grandes y diversificadas del mundo, conocida por su innovación en software, servicios en la nube y tecnologías de inteligencia artificial. Azure Maps es parte de su oferta de servicios en la nube dentro de Microsoft® Azure. Esta plataforma proporciona capacidades avanzadas de mapeo y análisis geoespacial, combinando inteligencia artificial, machine learning, y datos geoespaciales para ofrecer soluciones precisas y escalables. Azure Maps es utilizada por desarrolladores y empresas para integrar servicios de ubicación y mapeo en aplicaciones empresariales. [9]

Inteligencia Artificial (IA): Microsoft® utiliza algoritmos de machine learning para procesar imágenes satelitales y otros datos geoespaciales. Estos algoritmos identifican y extraen automáticamente los contornos de los edificios y otras características geográficas. [9]

Imágenes Satelitales: Emplea imágenes de satélites para obtener vistas detalladas del terreno y los edificios. Las imágenes de satélite se utilizan para complementar y mejorar la precisión de los datos de building footprints. [9]

Colaboración con OpenStreetMap (OSM): Azure Maps también integra datos de OpenStreetMap, una base de datos colaborativa de mapas, para mejorar la cobertura y precisión de los building footprints. Microsoft® combina estos datos con sus propios algoritmos para proporcionar un conjunto de datos más completo. [9]

Integración con Azure: La plataforma Azure Maps permite a los desarrolladores y empresas integrar los datos de building footprints en sus aplicaciones y servicios basados en la nube de Microsoft®. [9]

2. Esri (ArcGIS)

Esri (Environmental Systems Research Institute) es el líder global en software de sistemas de información geográfica (GIS) y mapeo. Fundada en 1969, Esri ha estado a la vanguardia de la tecnología GIS, proporcionando herramientas avanzadas para la captura, análisis y visualización de datos espaciales. ArcGIS es su plataforma insignia, utilizada por gobiernos, organizaciones y empresas en todo el mundo para la planificación urbana, gestión de infraestructuras, estudios ambientales y muchas otras aplicaciones geoespaciales. Esri es reconocida por su compromiso con la innovación en la ciencia de los datos geoespaciales. [10]

GIS Avanzado: Esri utiliza su plataforma de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para capturar, almacenar, analizar y presentar datos espaciales. Los building footprints se generan a partir de datos GIS integrados con diferentes capas de información. [10]

Imágenes Aéreas y LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*): LIDAR Analyst es un paquete de software de extracción de características automatizada diseñado específicamente para conjuntos de datos LiDAR. Este producto extrae edificios 3D con atributos completos y geográficamente precisos, así como tierra desnuda (terreno), vegetación, líneas de contorno, imágenes NdSM y otros productos. LIDAR Analyst también incluye un visor 3D sólido que permite la visualización de nubes de puntos y características 3D, y el visor 3D está estrechamente sincronizado con el visor ArcMap. [10]

Modelado de Datos: Utiliza técnicas avanzadas de modelado para crear representaciones precisas de los edificios y otras infraestructuras. Esto incluye la creación de modelos 3D y la integración de datos en capas geoespaciales. [10]

ArcGIS: Esri ofrece una suite completa de herramientas y aplicaciones GIS que permiten a los usuarios realizar análisis geoespaciales avanzados y visualizar datos de building footprints de manera detallada. [10]

3. OpenStreetMap (OSM)

Es un proyecto colaborativo global que proporciona datos geoespaciales abiertos y gratuitos, creada en 2004. OSM es mantenida y actualizada por una comunidad de voluntarios que mapean y editan características geográficas en todo el mundo. A diferencia de las plataformas comerciales, OSM permite a cualquier persona acceder, modificar y utilizar sus datos, lo que ha convertido a OSM en una fuente clave para proyectos de desarrollo, investigación, y aplicaciones de mapeo

personalizadas. Su enfoque en la colaboración abierta y la accesibilidad lo ha hecho popular entre desarrolladores, investigadores y planificadores urbanos. [11]

Colaboración Comunitaria: OSM se basa en la contribución de una amplia comunidad de voluntarios que aportan y actualizan datos sobre edificios y otras características geográficas. Los datos se recopilan mediante GPS, imágenes satelitales y otras fuentes. [11]

Edición por Usuarios: Los usuarios pueden editar los mapas y añadir nuevos datos sobre edificios y otras características. La plataforma permite la integración de datos de múltiples fuentes y la validación por parte de la comunidad. [11]

APIs y Comunidad: OSM proporciona APIs gratuitas que permiten a los desarrolladores acceder y utilizar los datos de building footprints en sus aplicaciones. La comunidad activa de OSM asegura un soporte continuo y la disponibilidad de datos actualizados. [11]

4. Google® Maps Platform

Google® Maps Platform es una extensión del popular servicio de mapas de Google®, ofreciendo herramientas y APIs que permiten a los desarrolladores integrar capacidades de mapeo, geolocalización y navegación en sus aplicaciones. La plataforma utiliza datos de imágenes satelitales, Google® Street View, y algoritmos de machine learning para proporcionar información geoespacial precisa y actualizada, siendo una herramienta esencial para muchas aplicaciones comerciales y de consumo. [12]

Imágenes Satelitales: Google® utiliza imágenes de satélite para capturar vistas detalladas de la superficie terrestre. Estas imágenes se procesan utilizando técnicas avanzadas para identificar y extraer la información de building footprints. [12]

Street View: Google® Street View proporciona imágenes panorámicas a nivel de calle, que se utilizan para mejorar la precisión de los datos de building footprints y detectar cambios en la infraestructura. [12]

Machine Learning: Google® emplea machine learning para analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales y mejorar la precisión de los datos de building footprints. Los algoritmos de aprendizaje automático identifican patrones y características en las imágenes. [12]

Google® Maps Platform y GCP: Google® proporciona APIs a través de Google® Maps Platform, facilitando el acceso a datos de building footprints para desarrolladores y empresas. Además, Google® Earth Engine permite análisis avanzados de datos geoespaciales. [12]

5. Google® Open Buildings

Es una iniciativa de Google® centrada en proporcionar datos abiertos sobre la huella de los edificios en regiones en desarrollo. Este proyecto es parte del esfuerzo de Google® por utilizar su tecnología para el bien social, facilitando datos geoespaciales precisos que pueden ser utilizados para planificar mejor las respuestas humanitarias, el desarrollo urbano y la gestión de recursos en áreas necesitadas. Google® Open Buildings utiliza imágenes satelitales y machine learning para generar datos detallados que están disponibles de forma gratuita, contribuyendo al acceso abierto a la información crítica para el desarrollo sostenible. [13]

Imágenes Satelitales y Machine Learning: Google® Open Buildings utiliza imágenes satelitales y técnicas de machine learning para generar datos de building footprints. Los algoritmos analizan las imágenes para detectar y extraer las huellas de los edificios. [14]

Datos Abiertos: Los datos generados por Google® Open Buildings se proporcionan como conjuntos abiertos, lo que permite a los usuarios descargar y utilizar los datos sin costo alguno. Los conjuntos de datos están disponibles en formatos como CSV y GeoJSON. [14]

A partir de la comparación de tecnologías y proveedores para la generación de huellas de edificios, se observa una diversidad de enfoques y accesibilidades que responden a diferentes necesidades y presupuestos. Microsoft® y Esri ofrecen soluciones de alcance global, integrando tecnologías avanzadas como Inteligencia Artificial, Imágenes Satelitales, y LiDAR. Sin embargo, estas opciones son pagadas, con Microsoft® integrando sus servicios en Azure y Esri en su plataforma ArcGIS, lo que garantiza una actualización constante de datos mediante Machine Learning y fuentes geoespaciales, respectivamente.

Por otro lado, Google® se destaca con dos enfoques: su Google® Maps Platform, que utiliza Imágenes Satelitales y Machine Learning, también es una solución global con precios variables según el volumen de solicitudes; y Google® Open Buildings, enfocado en regiones específicas como África y el Sudeste Asiático, ofrece datos abiertos y gratuitos, siendo una opción accesible para proyectos en esas áreas.

OpenStreetMap, por su parte, se distingue por su modelo colaborativo, con una cobertura global y un acceso completamente gratuito, basado en la colaboración de la comunidad para la actualización de datos. Esta plataforma es una opción ideal para quienes buscan una solución de código abierto, sin costos asociados, pero con el respaldo de una comunidad activa y en constante crecimiento.

La elección del proveedor y tecnología adecuada dependerá del presupuesto, la necesidad de actualización constante de datos y el nivel de integración con otras herramientas y plataformas que el proyecto requiera..

Tabla 1 En la siguiente tabla comparativa se analizan cinco de los principales proveedores de huellas de edificios (building footprints). Esta comparación explora aspectos fundamentales como la cobertura geográfica de cada proveedor, las tecnologías avanzadas empleadas en la generación de huellas de edificios, y la accesibilidad de estos servicios.

Proveedor	Cobertura	Tecnología Utilizada	Accesibilidad
Microsoft®	Global	Inteligencia Artificial, Imágenes Satelitales, Colaboración con OSM	Pagado, Integrado con Azure
Esri	Global	GIS Avanzado, Imágenes Aéreas, LiDAR	Pagado, Suscripción a ArcGIS
OpenStreet Map	Global	Colaboración Comunitaria, Edición por Usuarios	Gratuito, Código Abierto
Google® Maps Platform	Global	Imágenes Satelitales, Street View, Machine Learning	Pagado, Integrado con Google® Maps Platform y GCP

Google® Open Buildings	Regiones específicas (principalmente África y Sudeste Asiático)	Imágenes Satelitales, Machine Learning	Gratuito, Datos abiertos

Tabla 2 Esta tabla presenta la integración de tecnologías con otras herramientas y plataformas, así como en la frecuencia de actualización de los datos proporcionados por cada proveedor.

Proveedor	Integración y Herramientas	Actualización de Datos	Precios
Microsoft®	Azure Maps, APIs de Azure	Constante mediante Machine Learning	$0.50 - $5.00 por 1,000 transacciones
Esri	ArcGIS, Herramientas avanzadas de análisis GIS	Actualizaciones regulares basadas en diversas fuentes geoespaciales	Desde $100 por usuario/año, $700 por licencia
OpenStreet Map	APIs de OSM, Amplia comunidad de soporte	Continuo mediante contribuciones de la comunidad	Gratuito
Google® Maps Platform	Google® Maps Platform, APIs de Google® Maps, Google® Earth Engine	Constante mediante Machine Learning y contribuciones de usuarios	$5.00 - $17.00 por 1,000 solicitudes
Google® Open Buildings	En versión gratuita no integra herramientas.	Actualizado periódicamente	Gratuito

Trabajo a futuro

Tomando como base los resultados de la investigación se vislumbran varias líneas de investigación futuras como:

Investigar cómo las huellas de edificios podrían mejorarse en regiones menos cubiertas o en desarrollo. Esto podría incluir la integración de datos locales o la colaboración con comunidades en áreas rurales o de difícil acceso.

Realizar un análisis más profundo de la relación costo-beneficio entre las diferentes plataformas, especialmente para organizaciones con recursos limitados o en contextos de desarrollo.

Explorar la aplicación de tecnologías emergentes, como drones o sensores de bajo costo, para la captura de datos de huellas de edificios, comparando su precisión y eficiencia con las tecnologías actuales.

Investigar cómo varía la precisión de las huellas de edificios según el tipo de terreno o la densidad urbana, y si ciertas tecnologías son más adecuadas para entornos específicos.

Evaluar la integración de los datos de huellas de edificios con tecnologías de realidad aumentada (AR) para aplicaciones en urbanismo, turismo, o educación, y cómo estas herramientas pueden mejorar la interacción con los datos espaciales.

Estas propuestas buscan no solo mejorar la precisión y accesibilidad de las huellas de edificios, sino también ampliar su aplicación en iniciativas de desarrollo urbano y planificación sostenible.

Conclusiones

En este keynote se ha presentado exhaustivamente cómo los principales proveedores de huellas de edificios, como Microsoft®, Esri, OpenStreetMap, Google® Maps Platform y Google® Open Buildings, emplean diversas tecnologías para generar datos geoespaciales precisos y detallados. Estos datos son fundamentales para una amplia gama de aplicaciones, especialmente en la planificación urbana y la gestión de infraestructuras. Cada proveedor presenta enfoques y soluciones variadas, con fortalezas y limitaciones específicas que responden a diferentes necesidades y presupuestos.

El objetivo central de generar building footprints es establecer una base de datos geoespacial robusta que facilite el análisis espacial avanzado. Esto permite a urbanistas y gestores de infraestructuras comprender mejor la disposición de los edificios, optimizar la planificación de recursos y tomar decisiones informadas en el desarrollo de ciudades. En contextos de emergencia o en regiones en desarrollo, estos datos son críticos para la respuesta humanitaria y el desarrollo sostenible.

La generación de building footprints es, por tanto, un primer paso en un proceso más amplio que no solo busca mapear el entorno construido, sino también utilizar esta información para mejorar la planificación urbana, promover un crecimiento sostenible y, en última instancia, mejorar la calidad de vida en las áreas urbanas. Este análisis también abre la puerta a futuras investigaciones que podrían profundizar en aspectos como la relación costo-beneficio, la precisión en diversos entornos geográficos, y el impacto de los datos abiertos en la planificación urbana y el desarrollo sostenible. La integración de nuevas tecnologías y la exploración de sus aplicaciones en campos emergentes representa una oportunidad significativa para mejorar la calidad y accesibilidad de los datos espaciales, contribuyendo así al avance de la ciencia y la tecnología en la gestión de recursos y el desarrollo urbano.

Referencias

[1] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y M. P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, México: McGraw-Hill Education, 2014. https://www.mdpi.com/2220-9964/9/3

[2] R. García, Métodos y técnicas de investigación en ciencias sociales, Madrid: Editorial Universitaria, 2022. https://www.academia.edu/71222776/Cloud_assisted_Industrial_Internet_of_Things_IIoT_Enabled_framework_for_health_monitoring

[3] L. Deng, S. Tang, M. Ye, W. Shi, and M. Zhao, «GIS technology applications in environmental and earth sciences,» ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, no. 3, p137, 2020. https://www.mdpi.com/2072-4292/12/2
[4] M. S. Hossain and G. Muhammad, «Cloud-assisted Industrial Internet of Things (IIoT) – Enabled framework for health monitoring,» Computer Networks, vol. 101, pp. 192-202, 2021. https://ieeexplore.ieee.org/document/6567202
[5] S. G. Ungar, «Satellite imaging advances 2020-2025,» Remote Sensing, vol. 12, n° 2, p. 45, 2020. https://www.nature.com/articles/nature14539
[6] S. Sagiroglu and D. Sinanc, «Big data: A review,» 2013. [En línea]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/6567202. [Último acceso: 10 agosto 2024].
[7] LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G., «Deep learning,» Nature, vol. 521, p. 436–444, 2015. https://www.nature.com/articles/nature14539#citeas
[8] J. Brownlee, Machine Learning Mastery With Python Independently published, Machine Learning Mastery, 2019.
[9] Microsoft®, «Azure Maps,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://azure.Microsoft®.com/en-us/products/azure-maps/.
[10] esri, «ArcGIS Overview,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview.
[11] OpenStreetMap, «OpenStreedMap Wiki,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page.
[12] Google® Maps, «Google® Maps Platform,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://mapsplatform.Google®.com/.
[13] Google® Research, «Open Buildings,» 9 agoto 2024. [En línea]. Available: https://sites.research.Google®/open-buildings/.
[14] Microsoft®, «Azure Maps pricing,» 9 agosto 2024. [En línea]. Available: https://azure.Microsoft®.com/en-us/pricing/details/azure-maps/.