

Beneficios de Gestión Visual sobre Justo a Tiempo en la industria maquiladora

Benefits of Visual Management over Just in Time in the maquiladora industry

José Roberto Díaz-Reza¹✉, Jorge Luis García-Alcaraz², Luis Javier Márquez Figueroa¹

¹Depto. de Ing. Eléctrica y Computación, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

²Depto. de Ing. Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

RESUMEN

Lean Manufacturing es un conjunto de herramientas enfocadas en la mejora continua de los procesos de producción mediante la reducción de los desperdicios para ofrecer un buen servicio al cliente mediante la calidad. En este artículo se presenta un modelo de ecuaciones estructurales que relaciona tres herramientas de Lean Manufacturing (Andon, Gestión Visual y Justo a Tiempo). En este modelo se proponen tres hipótesis que se validaron utilizando la información de 240 empresas maquiladoras del norte de México obtenida mediante un cuestionario. El objetivo de este artículo es cuantificar el efecto de las herramientas de Gestión Visual y Andon sobre Justo a Tiempo dentro de las empresas maquiladoras. Para validar las hipótesis del modelo se utilizó el software WarpPls 7.0[®] con la técnica de mínimos cuadrados parciales. Los resultados indican que existe una relación directa de Gestión Visual sobre Andon con un tamaño de $\beta=0.525$, Gestión Visual afecta de manera positiva a Justo a Tiempo con un tamaño de $\beta=0.256$ y, por último, Andon también tiene un efecto sobre la filosofía Justo a Tiempo con $\beta=0.373$. El análisis de sensibilidad mostró que es importante que los administradores se aseguren de ejecutar las actividades de implementación de Gestión Visual y Andon para garantizar el correcto funcionamiento de Justo a Tiempo.

PALABRAS CLAVE: Andon; Gestión Visual; Justo a Tiempo; industria maquiladora; modelado de ecuaciones estructurales.

ABSTRACT

Lean Manufacturing is a set of tools focused on improving production processes by reducing waste to provide good customer service through quality. This paper presents a structural equation model that relates three Lean Manufacturing tools (Andon, Visual Management and Just-in-time). This model proposes three hypotheses validated using information from 240 maquiladora companies in northern Mexico obtained through a questionnaire. This article aims to quantify the effect of Visual Management and Andon tools on Just-in-time within maquiladora companies. WarpPls 7.0[®] software that integrates the partial least squares (PLS) technique was used to validate the model's hypotheses. The results indicate a direct relationship between Visual Management on Andon with a size of $\beta=0.525$, and Visual Management positively affects Just-in-time with a size of $\beta=0.256$ and, finally, Andon also has an effect on the Just-in-time philosophy with $\beta=0.373$. The sensitivity analysis showed that it is essential for managers to execute the implementation activities of Visual Management and Andon to ensure the proper functioning of Just-in-time.

KEYWORDS: Andon; Visual Management; Just-in-time; maquiladora industry; Structural Equation Modeling.

Correspondencia:

DESTINATARIO: José Roberto Díaz-Reza.

INSTITUCIÓN: Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, col. Partido Romero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C. P. 32310.

CORREO ELECTRÓNICO: inv.pos07@uacj.mx

Fecha de recepción: 27 de julio de 2023. **Fecha de aceptación:** 17 de agosto de 2023. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2023.



I. INTRODUCCIÓN

La industria maquiladora ha sido el principal motor del comercio transfronterizo a lo largo de la frontera entre México y los Estados Unidos durante décadas. Las primeras maquiladoras fueron establecidas en los años sesenta y desde entonces se les permitió importar material y equipo con aranceles preferenciales para después exportar producto terminado principalmente a los Estados Unidos. Además, en combinación con los bajos salarios, resultaba atractivo para las empresas multinacionales establecer filiales de procesamiento de exportaciones en México [1]. Para mantenerse competitivas en los mercados cambiantes de hoy en día, estas empresas buscan nuevas estrategias que las ayude a mejorar sus procesos de fabricación para ofrecer una mejor respuesta al cliente en cuanto a calidad, tiempo de entrega y servicio, al menor costo posible.

Esas empresas implementan Lean Manufacturing (LM) en sus líneas de producción, que es un conjunto de métodos y técnicas desarrollado por los ingenieros de Toyota y es muy popular en las empresas del mundo para aumentar el valor del producto mediante la eliminación de los residuos [2]. LM es una filosofía de trabajo de mejora continua y optimización de un sistema de producción o de servicio, la cual tiene por objetivo la reducción de los diferentes desperdicios generados en la industria [3].

En ese sentido, existen diferentes herramientas de LM que ayudan a reducir los diferentes desperdicios y potencian la mejora continua. Una de ellas es la Gestión Visual (GV) que se utiliza para comunicar los requisitos y gestionar la eficacia de las acciones, los semáforos y las señales y la alarma de evacuación. Las tarjetas Kanban y los tableros Andon (AN) son algunos ejemplos de estas herramientas [4].

AN es un dispositivo de control visual en un área de producción que alerta a los trabajadores sobre los defectos, las anomalías del equipo u otros problemas mediante señales como luces, alarmas sonoras, etc. [5]. De esta manera, los operarios saben cuándo deben dejar de producir para corregir cualquier anomalía y evitar que los productos defectuosos pasen a la siguiente operación y, en el caso más grave, que se entreguen al cliente.

Otra de las herramientas o filosofías que ayuda a las empresas a obtener una ventaja competitiva en el mercado

es Justo a Tiempo (JIT), cuyos objetivos son entregar la cantidad adecuada en el tiempo adecuado y con la calidad demandada por el cliente mediante el involucramiento de todos los trabajadores de la empresa. Para realizar esto, en JIT se deben cumplir diferentes principios, por ejemplo, en el de producción el objetivo ideal es sincronizar la demanda y la producción para que no haya unidades de producto hasta que se haga un pedido, lo que elimina la producción innecesaria, el inventario no deseado y todos los desperdicios asociados a ellos [6].

La GV se ha aplicado en diferentes empresas para mejorar las actividades diarias, por ejemplo, Steenkamp et al. [7] desarrollaron un sistema de GV para investigar la gestión de recursos para mostrar indicadores clave del desempeño (KPI, por sus siglas en inglés) de fabricación. En Airbus UK utilizan tableros de procesos visuales para gestionar un complejo proceso [8]. Shinde et al. [9] presentan la implementación de gestión visual en combinación con otras herramientas como SMED para reducir el tiempo de cambio de modelo.

AN se ha implementado en diferentes escenarios como una herramienta de mejora, por ejemplo, Kattman et al. [10] presentan un caso de estudio dentro de una compañía aeroespacial. Wojakowski [11] utiliza un sistema AN como herramienta de información para controlar las pérdidas de producción necesarias para calcular los indicadores clave de rendimiento. Naciri et al. [12] encontraron que AN ayuda a mejorar la tasa de ocupación de la máquina y la productividad. También AN se ha analizado como herramienta de soporte de la maquinaria y equipo, así como por su contribución en la sustentabilidad ambiental en empresas maquiladoras [13]. Esto último, mediante ecuaciones estructurales.

Como se puede observar, dentro de la literatura se puede encontrar información sobre la implementación de estas herramientas (JIT, AN, GV) de forma individual para mejorar las operaciones en las empresas de manufactura. Además, se ha analizado el efecto de AN como soporte de maquinaria y equipo mediante ecuaciones estructurales. Lo que no se ha encontrado son investigaciones que relacione la GV, AN con una estrategia JIT.

En ese sentido, el objetivo de este trabajo es cuantificar, mediante un modelo de ecuaciones estructurales, la relación de la GV y AN sobre la estrategia JIT dentro de las empresas maquiladoras del norte de México y, de manera específica, en Ciudad Juárez, ya que es-

tas empresas son la principal fuente de inversión y de empleo en la ciudad. De acuerdo con la Asociación de Maquiladoras, A.C., Index Juárez, en el mes de mayo de 2022 se tenía contratadas a 336 018 personas en las 325 maquiladoras de esta ciudad, lo que representa el 6.25 % de las empresas a nivel nacional. De ahí la importancia de encontrar las mejores estrategias para que las empresas permanezcan en esta urbe para poder continuar generando empleos y atraer mayor inversión extranjera.

A continuación, se describen cada una de las herramientas de LM y, asimismo, se justifican las hipótesis a proponer.

GESTIÓN VISUAL (GV)

La GV es una estrategia de gestión que hace hincapié en la comunicación visual de proximidad y se realiza a través de diferentes herramientas, incluidos los controles visuales, que es fácil de entender en su contexto y cuyo objetivo es mejorar el rendimiento de una organización [7], [14], [15]. Un sistema de GV puede implantarse en un entorno de sistema de producción inteligente centrado en el aumento de la eficacia de la producción y la reducción de costes, y además puede ayudar a reducir o eliminar los desperdicios y crear una empresa más productiva y rentable [14], [16], [17].

ANDON (AN)

AN es un tipo de control visual que indica el estado actual del trabajo y se presenta en forma de tableros electrónicos que contienen luces para mostrar el estado de las operaciones en curso, en función de las alarmas seleccionadas y relacionadas con un color determinado. De alguna manera, busca crear conciencia basada en la información visual para mejorar la eficiencia de la industria [18]. Esto ayuda a detener el trabajo cuando se producen errores, lo que ahorra a la organización problemas importantes y costosos en el futuro [19].

Las herramientas de GV se entienden como dispositivos visuales que proporcionan información precisa cuando y donde se necesita [20], que da soporte a los principios lean y que están alineados con los comportamientos sostenibles, ya que pretende optimizar las tareas eliminando las pérdidas, permitiendo productos y servicios de alta calidad a bajo coste [21]. AN ayuda a los equipos a identificar cuándo hay una contrariedad en un proceso o una máquina y, al implementar el mecanismo, los pro-

blemas ya no se ocultan, sino que se pueden detectar y también se pueden arreglar para conseguir una calidad a la primera [22]. En ese sentido, se plantea la siguiente hipótesis:

H1: La GV tiene un efecto directo y positivo sobre AN.

JUSTO A TIEMPO (JIT)

El concepto Justo a Tiempo (JIT) se refiere a qué producir, cuándo producir y en qué cantidad y, además, garantiza la reducción del tiempo (de producción y de respuesta) y de los costes de inventario en el sistema de producción [23]. JIT es un concepto idealizado de la gestión de la cadena de suministro en el que no es necesario gestionar el inventario, pues este se suministra en el lugar y en el momento necesarios y ello trae muchos beneficios, tales como la reducción del tamaño del inventario, la reducción de los costes de almacenamiento, el aumento de la producción y una mayor eficiencia [24]. La parte central de los principios del JIT es la garantía de la satisfacción del cliente y las mejoras continuas motivadas hacia la eliminación de los residuos y la perfección [25].

La GV nació con el objetivo de eliminar los retrasos, generados por los desperdicios, que se presentan en los sistemas donde la orden es fija. Precisamente, ahí es donde AN y Kanban contribuyen a suprimirlos [26]. Ambas herramientas forman parte de dos pilares llamados automatización y JIT. Un sistema de control visual bien desarrollado aumenta la productividad, reduce los defectos y los errores, ayuda a cumplir los plazos, facilita la comunicación, mejora la seguridad y reduce los costes [5]. En ese sentido, se propone la siguiente hipótesis:

H2: La GV tiene un efecto directo y positivo sobre JIT.

AN contribuye a la reducción de los residuos de la producción ajustada reduciendo el tiempo de respuesta a los problemas [27] y puede ayudar a visualizar y controlar el progreso de la manipulación de residuos, como la recogida, el almacenamiento, la carga de camiones y la entrega [28]. Además, AN ayuda en el incremento de la productividad, las ventas y los beneficios de la empresa, y ayuda a satisfacer la demanda de los clientes en tiempo y forma [18]. En ese sentido, se plantea la siguiente hipótesis:

H3: AN tiene un efecto directo y positivo sobre JIT.

II. METODOLOGÍA

EL CUESTIONARIO

Para validar las hipótesis planteadas, se recolectó información con la ayuda de un cuestionario que se creó a partir de una revisión de literatura y que consta de 204 preguntas divididas en 25 herramientas de LM y 27 beneficios divididos en las tres categorías de sustentabilidad. Para realizar esta investigación se utilizaron solo tres variables: GV, AN y JIT, todas con tres ítems.

Para contestar las preguntas se utilizó una escala de tipo Likert de cinco puntos, donde el 1 significa totalmente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 neutral, 4 de acuerdo y el 5 totalmente de acuerdo. Además, se agregaron preguntas del tipo demográfico. Antes de utilizar el cuestionario, este se validó por juicio de expertos con la ayuda de cinco gerentes con amplia experiencia dentro de la industria y cinco académicos con el objetivo de depurar las preguntas y adaptarlo a la región. Además, se contó con la aprobación del comité de ética en la investigación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

El cuestionario se aplicó a través Google Forms, dado que se vivían periodos de pandemia y estaba dirigido a gerentes, ingenieros, técnicos, supervisores y operarios con experiencia en la implementación de estas herramientas de LM. Para establecer contacto con los participantes, se utilizó la ayuda del Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX). A cada uno de los posibles colaboradores se les envió un mensaje de correo electrónico invitándolo a participar en este proyecto y se agregó un enlace al cuestionario en línea. El periodo de administración del cuestionario fue de enero a junio de 2022.

Una vez finalizado el periodo de administración del cuestionario, se descargó la información en una hoja de Microsoft Excel y después se pasó a SPSS v.25, donde se depuró para identificar a los participantes no comprometidos, es decir, se calculó la desviación estándar de cada ítem, y si esta resultó menor de 0.5, el cuestionario fue eliminado. Además, se identificaron los valores extremos y se remplazaron por la mediana.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA Y DE LOS ÍTEMS

Para caracterizar la muestra, se analizó toda la información demográfica obtenida, la cual se organizó me-

dante tablas cruzadas, en donde se enlistaron las categorías. Como medida de tendencia central sobre la opinión de los participantes, se calculó la mediana de los ítems, mientras que el rango intercuartílico (IQR) se usó como medida de dispersión, donde valores altos indicaron falta de concordancia entre los encuestados.

VALIDACIÓN DE LAS VARIABLES LATENTES

Antes de integrar las variables latentes al modelo, se realizó una validación estadística, por lo que se usaron los coeficientes recomendados por Kock ^[29]. Para medir la validez predictiva paramétrica, se utilizaron los índices R2 y R2 ajustada, con valores mínimos aceptables de 0.02. La validez interna se midió con los índices de alfa de Cronbach y confiabilidad compuesta, con valores mínimos aceptables de 0.7. Para medir la validez convergente y discriminante se usó el promedio de la varianza extraída, con valores de corte de 0.5. La colinealidad se midió con los índices de inflación de la varianza (VIF), con valores máximos aceptables de 5 e idealmente menores a 3.3, y para medir la validez predictiva no paramétrica se utilizó el índice Q2, con valores aceptables mayores a 0 y cercanos a R2.

MODELADO DE ECUACIONES ESTRUCTURALES

Para validar la hipótesis se utilizó el modelado de ecuaciones estructurales mediante la técnica de mínimos cuadrados parciales (PLS-SEM, por su siglas en inglés) que se ejecuta en el software WarpPLS 7.0*. PLS-SEM permite estimar modelos complejos con muchos constructos, variables indicadoras y trayectorias estructurales sin imponer supuestos de distribución a los datos ^[30]. Dentro de los modelos se pueden identificar tres efectos diferentes entre las variables: los *principales* o *directos* (representan cada una de las hipótesis), los *indirectos* (se dan a través de variables mediadoras) y los *totales* (suma de efectos directos e indirectos). Para cada uno de estos se establece una hipótesis en donde H0: $\beta=0$ y H1: $\beta\neq 0$ con un nivel de confianza del 95 %, en el que β es un valor estandarizado y representa el tamaño del efecto.

Antes de interpretar cada uno de los resultados de estos efectos, es importante analizar los índices de calidad y ajuste del modelo. Por tanto, para evaluar la validez predictiva se usó el coeficiente promedio de trayectoria (APC, por sus siglas en inglés), R2 ajustada (ARS, por sus siglas en inglés) y el promedio de la R2, con p-valo-

res menores a 0.05, ya que se utilizó un nivel de confianza del 95 %. Para medir la colinealidad se utilizó el índice factor de inflación varianza (VIF, por sus siglas en inglés) y colinealidad completa promedio VIF (AFVIF, por sus siglas en inglés), con valores recomendados menores a 5 y de forma ideal menores a 3.3. Por último, se utilizó el índice de bondad de ajuste de Tenenhaus (GoF, por sus siglas en inglés) para medir el ajuste de los datos, cuyo valor recomendado mínimo fue de 0.36.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Si un análisis sugiere que dos variables están vinculadas causalmente, significa que un aumento de la variable de predicción conduce a un aumento de la probabilidad condicional de que la variable de criterio esté por encima de un determinado valor [29]. En este documento se presentan las probabilidades condicionales (IF), las probabilidades de ocurrencia conjunta (&) y las probabilidades para cada una de las variables de forma individual.

III. RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Para determinar el tamaño de muestra mínimo para obtener un 95 % de confianza, un nivel de potencia de la muestra del 80 % y un mínimo coeficiente de ruta significativo absoluto en el modelo de 0.250, se utilizó el método de la raíz cuadrada inversa, la cual arrojó una muestra mínima de 95 y el método Gamma-Exponencial que arrojó una muestra mínima de 81. Después de la administración del cuestionario y la depuración de este, se obtuvo un total de 240 respuestas válidas, las cuales son suficientes.

Del análisis demográfico se concluyó que hubo una participación del 39 % del sexo femenino y 61 % masculino, los ingenieros son quienes participaron en mayor medida (39 %), seguidos por supervisores (17 %), técnicos (15 %), gerentes (11 %) y otras posiciones (18 %). El sector industrial que más participó fue el automotriz (39 %), seguido por el médico (15 %) y electrónico (13 %), entre otros.

VALIDACIÓN DE LAS VARIABLES LATENTES

La **Tabla 1** muestra los resultados para los coeficientes de las variables latentes. Se puede observar que se tiene suficiente validez predictiva paramétrica y no paramé-

trica, ya que los valores de R2 y R2 ajustada son mayores a 0.02, mientras que los de Q2 son mayores a 0 y similares a R2. Asimismo, las variables cuentan con suficiente validez interna, ya que los índices alfa de Cronbach y de validez compuesta son mayores a 0.7. Asimismo, las variables tienen suficiente validez discriminante, ya que los valores de AVE son mayores a 0.5. Además, no se tiene problemas de colinealidad, ya que el VIF es menor a 3.3. Por lo tanto, es posible integrar las variables latentes en una modelación de ecuaciones estructurales.

TABLA 1
COEFICIENTES DE VARIABLES LATENTES

ÍNDICE	VM	AN	JIT
R ²		0.276	0.309
R ² ajustado		0.273	0.303
Confiabilidad compuesta	0.950	0.936	0.932
Alfa de Cronbach	0.921	0.898	0.889
AVE	0.864	0.831	0.819
VIF	0.411	0.503	0.422
Q ²		0.275	0.312

La **Tabla 2** muestra el análisis descriptivo de los ítems, la mediana y el IQR de cada uno de estos. En cuanto a la variable GV, se puede concluir que la mayoría de los participantes concuerdan que dentro de las empresas se proporcionan señales e indicadores visuales para guiar a los empleados hacia las tareas y ubicaciones adecuadas. Esto porque el valor de la mediana es el más alto, con 4.23, y el IQR es el más bajo, lo que indica que hay un alto consenso.

Además, la mayoría de los participantes coinciden en que dentro de las empresas se fomenta la aplicación de mejoras para reducir los desperdicios, ya que la mediana es 4.11 y el IQR es 1.55. Por último, dentro de las empresas se utilizan indicadores (luminosos o sonoros) para que el operador pueda intervenir en caso de una anomalía.

MODELO DE ECUACIONES ESTRUCTURALES

En relación con el SEM, se concluye que existe asociación entre las variables, ya que los índices APC, ARS y AARS tienen valores de 0.385, 0.292 y 0.288 respectivamente, además es $p < 0.001$ para todos estos. Tampoco se tienen problemas de colinealidad, ya que los índices AVIF = 1.426, AFVIF = 1.445 son menores a 3.3 y se tiene un ajuste adecuado del modelo, ya que el GoF es 0.495. De acuerdo con esos valores, se pueden interpretar los efectos directos, indirectos y totales del PLS-SEM.

TABLA 2
ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS ÍTEMS

VAR	DESCRIPCIÓN	MEDIANA	IQR
VM	¿Están a la vista todas las herramientas, piezas, actividades de producción e indicadores de rendimiento del sistema de producción?	4.22	1.61
	¿Se proporcionan señales e indicadores visuales para guiar a los empleados hacia las tareas y ubicaciones adecuadas?	4.23	1.54
	¿Está la visualización de la información integrada en los elementos del proceso (espacio, maquinaria, equipos, componentes, materiales, herramientas)?	4.21	1.57
JIT	Se fomenta la aplicación de mejoras para reducir los desperdicios.	4.11	1.55
	Se minimiza el transporte de materiales.	3.99	1.69
	Se identifican los desperdicios en el proceso de producción y en la cadena de suministro.	4.09	1.63
AN	¿Está el botón para enviar una alerta al alcance del operario?	4.12	1.61
	¿Es breve el tiempo de respuesta tras el envío de una alerta?	4.15	1.60
	¿Se utiliza algún indicador (luminoso, sonoro) para que el operario pueda intervenir en caso de anomalía?	4.19	1.64

En la Figura 1 se muestra un resumen para cada hipótesis, en donde se observa el valor del efecto directo (β), el p-valor y la varianza explicada (R^2) por la variable latente independiente.

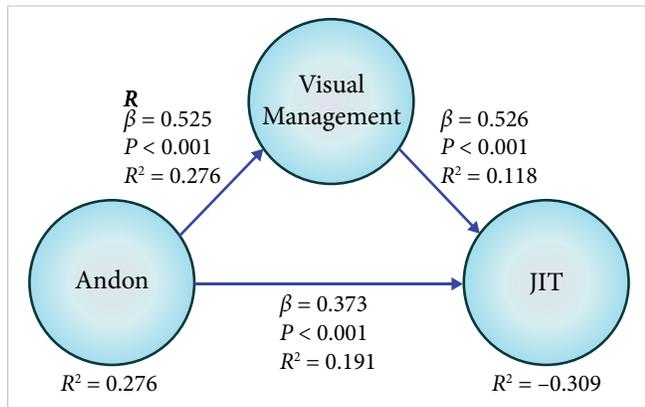


Figura 1. Modelo evaluado.

La Tabla 3 muestra la suma de efectos indirectos y totales (suma de los efectos directos e indirectos). Se puede observar que el efecto más grande es el que se da de GV sobre AN con $\beta=0.525$ (hipótesis H1), seguido por GV sobre JIT (suma del efecto directo y el efecto indirecto) que, como se mencionó anteriormente, GV tiene

un efecto sobre JIT a través de la implementación de herramientas como AN.

TABLA 3
EFECTOS INDIRECTOS Y TOTALES

VARIABLES LATENTES	EFECTOS TOTALES		EFECTOS INDIRECTOS
	VLD/ILV*	GV	AN
AN		$\beta = 0.525$ $P < 0.001$ $ES = 0.276$	
JIT		$\beta = 0.425$ $P < 0.001$ $ES = 0.208$	$\beta = 0.373$ $P < 0.001$ $ES = 0.191$
			$\beta = 0.196$ $P < 0.001$ $ES = 0.090$

*VLD: variable latente dependiente; ILV: variable latente independiente.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

La Tabla 4 muestra el análisis de sensibilidad del modelo, es decir, muestra todos los escenarios posibles y la combinación de estos para cada hipótesis. Por ejemplo, la fila y la columna llamada probabilidad muestra cada una de las probabilidades de que sucedan dos escenarios: el primero, en el que todas las actividades de cada herramienta se realicen de forma adecuada y se denota por el signo “+” y, el segundo, en el que las actividades no se realicen de forma adecuada “-”. En ese sentido, es más probable que dentro de las empresas se implementen estas herramientas de LM. Asimismo, se puede observar la probabilidad de la combinación los escenarios de dos variables, lo cual se denota por “&”. En ese sentido, es más probable que ambas variables se presenten en sus escenarios más adecuados (+ & +) que en sus escenarios no adecuados (- & -) o la combinación de estos (- & +), (+ & -).

TABLA 4
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

NIVEL	PROB.*	GV+	GV-	AN+	AN-
		0.287	0.179	0.271	0.133
AN+	0.271	&=0.175 IF=0.609	&=0.008 IF=0.047		
AN-	0.133	&=0.017 IF=0.058	&=0.050 IF=0.279		
JIT+	0.221	&=0.129 IF=0.449	&=0.017 IF=0.093	&=0.121 IF=0.446	&=0.013 IF=0.094
JIT-	0.158	&=0.025 IF=0.087	&=0.063 IF=0.349	&=0.017 IF=0.062	&=0.063 IF=0.469

*Prob.: Probabilidad.

Por último, y lo más importante de este análisis de sensibilidad, es la probabilidad condicional denotada por

IF. Por ejemplo, si dentro de las empresas se aseguran de que las actividades de GV se desarrollen de manera adecuada (GV+), hay una probabilidad de 0.446 de establecer una filosofía JIT. Por el contrario, si GV no se implementa de forma adecuada (GV-), existe una probabilidad de 0.349 de que no se trabaje adecuadamente la filosofía JIT.

IV. CONCLUSIONES

La GV es un facilitador de herramientas como AN, dado que tiene un efecto de tamaño $\beta = 0.525$, y también es un facilitador de la filosofía JIT, dado que GV tiene un efecto de tamaño $\beta = 0.256$ dentro de las empresas maquiladoras. Por lo tanto, es importante que los administradores de estas empresas, al momento de implementar herramientas de GV, se aseguren de que las herramientas, piezas, actividades de producción e indicadores de rendimiento del sistema de producción, así como la información que se pretende mostrar en los espacios, maquinaria, equipo, componentes y herramientas, estén debidamente colocadas a la vista. Lo anterior dotará de información para identificar y reducir los desperdicios y minimizar el transporte de materiales.

La implementación de AN facilita la implementación de JIT, ya que al tener indicadores luminosos o sonoros al alcance del operario que le permitan detectar e intervenir cuando hay una avería, se pueden identificar los defectos en un producto y, también, parar el proceso para evitar que se sigan produciendo de forma inadecuada, por lo que este desperdicio se ve reducido de manera importante. Esto se puede ver en el efecto que se da entre AN y JIT que tiene un tamaño de $\beta = 0.373$, por lo que AN explica un 19.1 % de JIT.

En análisis de sensibilidad permite vislumbrar qué pasaría si cada una de las herramientas se implementan de una forma adecuada o inadecuada. Para cada una de las herramientas de manera individual, la probabilidad de que se presente un escenario positivo es más alta que para el caso contrario. Es decir, $P(GV+) = 0.287$; $P(AN+) = 0.271$; $P(JIT+) = 0.221$; $P(GV-) = 0.179$; $P(AN) = 0.133$; $P(JIT-) = 0.158$, lo que implica que dentro de las empresas es más probable que la implementación se realice de forma adecuada cada una de las herramientas.

Cuando se habla de una probabilidad conjunta, implica, en este caso, que dos herramientas se implementen conjuntamente o que una dependa de la implementación

de otra, es decir, $P(GV+\&AN+) = 0.175$; $P(GV+\&JIT+) = 0.129$; $P(AN+\&JIT+) = 0.121$ y, en el caso contrario, $P(VM-\&AN-) = 0.025$; $P(VM-\&JIT-) = 0.063$; $P(AN-\&JIT-) = 0.063$. Esto indica que es más probable que dos herramientas se implementen de manera adecuada dentro de la industria maquiladora.

Por último, y quizá el escenario más importante, es la probabilidad condicional. En este caso, si los administradores o gerentes de las áreas correspondientes se involucran y aseguran la implementación de cada una de las herramientas, habrá una probabilidad muy alta de implementar otra herramienta que dependa de esta, por ejemplo, la probabilidad condicional (IF) de implementar un sistema AN de forma adecuada, dado que se ha implementado una GV $P(AN+/GV+) = 0.609$, pero la probabilidad de que un sistema AN no se implemente de manera adecuada, dado que un sistema de gestión visual no se haya implementado de forma correcta, es decir, $P(AN-/GV-) = 0.279$. Por tanto, es más probable que AN se implemente adecuadamente, si y solo si los administradores, gerentes o las personas encargadas de implementar estas herramientas se aseguran de hacerlo de forma correcta.

Lo mismo pasa con JIT+ y GV+: la probabilidad condicional de implementar JIT de forma adecuada, dado que se ha implementado una gestión visual adecuada, es decir, $P(JIT+/VM+) = 0.449$ y, por el contrario, $P(JIT-/VM-) = 0.349$. Por último, la probabilidad de tener JIT+, dado que se tiene AN+, es igual a 0.446, y el caso contrario, tener JIT-, dado que se tiene AN-, es 0.469.

Estos resultados otorgan un marco de referencia para las empresas que desean implementar este tipo de herramientas para mejorar sus procesos de producción, pero, sobre todo, para dar un mejor servicio al cliente.

REFERENCIAS

- [1] J. C. Castillo y G. de Vries, "The domestic content of Mexico's maquiladora exports: A long-run perspective", *J. Int. Trade Econ. Dev.*, vol. 27, no. 2, pp. 200-219, 2018, doi: 10.1080/09638199.2017.1353125.
- [2] B. Durakovic, R. Demir, K. Abat y C. Emek, "Lean manufacturing: Trends and implementation issues", *Period. Eng. Nat. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 130-143, 2018, doi: 10.21533/pen.v6i1.45.

- [3] A. P. Rojas y V. Gisbert, “Lean manufacturing: herramienta para mejorar la productividad en las empresas”, *3C Empresa*, ed. esp., pp. 116-124, 2017, doi: [10.17993/3cemp.2017.especial.116-124/](https://doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.116-124/).
- [4] Y. Eaidgah, A. A. Maki, K. Kurczewski y A. Abdekhodae, “Visual management, performance management and continuous improvement”, *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 7, no. 2, pp. 187-210, 2016, doi: [10.1108/IJLSS-09-2014-0028](https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028).
- [5] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill, 2004.
- [6] C. D. Singh, R. Singh, J. S. Mand y S. Singh, “Application of Lean and JIT principles in supply chain management”, *Int. J. Manag. Res. Bus. Strategy*, vol. 2, no. 1, pp. 85-98, 2013.
- [7] L. P. Steenkamp, D. Hagedorn-Hansen y G. A. Oosthuizen, “Visual Management System to Manage Manufacturing Resources”, *Procedia Manuf.*, vol. 8, pp. 455-462, 2017, doi: [10.1016/j.promfg.2017.02.058](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.058).
- [8] G. C. Parry y C. E. Turner, “Application of lean visual process management tools”, *Prod. Plan. Control*, vol. 17, no. 1, pp. 77-86, 2006, doi: [10.1080/09537280500414991](https://doi.org/10.1080/09537280500414991).
- [9] S. Shinde, S. Jahagirdar, S. Sane y V. Karandikar, “Set-up time Reduction of a Manufacturing Line using SMED Technique”, *Int. J. Adv. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 50-53, 2014.
- [10] B. Kattman, T. P. Corbin, L. E. Moore y L. Walsh, “Visual workplace practices positively impact business processes”, *Benchmarking*, vol. 19, no. 3, pp. 412-430, 2012, doi: [10.1108/14635771211243021](https://doi.org/10.1108/14635771211243021).
- [11] P. Wojakowski, “Plant performance calculation in automotive industry using Andon system”, *Research in Logistics & Production*, vol. 5, 2015.
- [12] L. Naciri, Z. Mouhib, M. Gallab, M. Nali, R. Abbou y A. Kebe, “Lean and industry 4.0: A leading harmony”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 394-406, 2022, doi: [10.1016/j.procs.2022.01.238](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.238).
- [13] J. L. García-Alcaraz, A. S. Morales, J. R. Díaz-Reza, E. Jiménez, C. Javierre y J. Blanco, “Effect of lean manufacturing tools on sustainability: the case of Mexican maquiladoras”, *Environ Sci Pollut Res*, vol. 29, no. 26, pp. 39622-39637, 2022, doi: [10.1007/s11356-022-18978-6](https://doi.org/10.1007/s11356-022-18978-6).
- [14] B. Tezel, L. J. Koskela y P. Tzortzopoulos, “The functions of visual management”, presentado en *International Research Symposium*, Manchester, R. U., 2009.
- [15] A. Tezel, L. Koskela y P. Tzortzopoulos, “Visual management in production management: a literature synthesis”, *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 27, no. 6, pp. 766-799, 2016, doi: [10.1108/JMTM-08-2015-0071](https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071).
- [16] N. Shimbun, ed., *Visual control systems*. Portland, OR: Productivity Press, 1995.
- [17] M. Bevilacqua, F. E. Ciarapica, G. Mazzuto y C. Paciarotti, “Visual Management implementation and evaluation through mental workload analysis”, *IFAC Proc. Vol.*, vol. 46, no. 7, pp. 294-299, 2013, doi: [10.3182/20130522-3-BR-4036.00065](https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00065).
- [18] S. E. Munive, V. D. Paucar, J. C. Alvarez y S. Nallusamy, “Implementation of a Lean Manufacturing and SLP-based system for a footwear company”, *Production*, vol. 32, p. e20210072, 2022, doi: [10.1590/0103-6513.20210072](https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210072).
- [19] M. Martinelli, M. Lippi y R. Gamberini, “Poka Yoke Meets Deep Learning: A Proof of Concept for an Assembly Line Application”, *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 21, 2022, p. 11071, doi: [10.3390/app122111071](https://doi.org/10.3390/app122111071).
- [20] G. D. Galsworth, *Visual systems: Harnessing the power of the visual workplace*. Nueva York: American Management Association, 1997.
- [21] H. C. Martínez y J. Calvo-Amodio, “Towards lean for sustainability: Understanding the interrelationships between lean and sustainability from a systems thinking perspective”, *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 4384-4402, 2017, doi: [10.1016/j.jclepro.2016.11.132](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.132).
- [22] S. Z. Ismail, “Design and Development of Andon System for Machining Machine at FKP Lab”, tesis de licenciatura, Universiti Malaysia Pahang, 2013.
- [23] N. Kumar, S. Shahzeb Hasan, K. Srivastava, R. Akhtar, R. Kumar Yadav y V. K. Choubey, “Lean manufacturing techniques and its implementation: A review”, *Materials*

- Today: Proceedings*, vol. 64, pp. 1188-1192, 2022, doi: [10.1016/j.matpr.2022.03.481](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481).
- [24] S. Singh y U. Soni, “Predicting Order Lead Time for Just in Time production system using various Machine Learning Algorithms: A Case Study”, *2019 9th Int. Conf. on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, Noida, India, 2019, pp. 422-425, doi: [10.1109/CONFLUENCE.2019.8776892](https://doi.org/10.1109/CONFLUENCE.2019.8776892).
- [25] S. Phogat y A. K. Gupta, “Evaluating the elements of just in time (JIT) for implementation in maintenance by exploratory and confirmatory factor analysis”, *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 36, no. 1, pp. 7-24, 2019, doi: [10.1108/IJQRM-12-2017-0279](https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2017-0279).
- [26] K. Murata, “On the Role of Visual Management in the Era of Digital Innovation”, *Procedia Manuf.*, vol. 39, pp. 117-122, 2019, doi: [10.1016/j.promfg.2020.01.246](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.246).
- [27] J. Hirvonen, “Design and implementation of Andon system for Lean manufacturing”, tesis de maestría, Aalto University, 2018.
- [28] N. D. Minh, N. D. Nguyen y P. K. Cuong, “Applying lean tools and principles to reduce cost of waste management: An empirical research in Vietnam”, *Manag. Prod. Eng. Rev.*, vol. 10, no. 1, pp. 37-49, 2019, doi: [10.24425/mper.2019.128242](https://doi.org/10.24425/mper.2019.128242).
- [29] N. Kock, *WarpPLS user manual: version 6.0*. Laredo, TX, EUA, 2021.
- [30] J. F. Hair, J. J. Risher, M. Sarstedt y C. M. Ringle, “When to use and how to report the results of PLS-SEM”, *Eur. Bus. Rev.*, vol. 31, no. 1, pp. 2-24, 2019, doi: [10.1108/EBR-11-2018-0203](https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203).

RECONOCIMIENTOS

El doctor José Roberto Díaz Reza recibió apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) para realizar su estancia posdoctoral con convenio 548515 y el maestro Luis Javier Márquez-Figueroa recibe una beca por parte de CONAHCYT con convenio 960749 para la realizar sus estudios de doctorado, ambos en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.