

Desarrollo de contenidos para la formación en Ingeniería Industrial utilizando robots DOBOT. Caso de estudio en ICE – Electronics Costa Rica

Díaz Jiménez, Heylin 

Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica, hdiaz@uned.ac.cr

Resumen– Los avances tecnológicos aplicados a los procesos industriales del presente y el futuro demandan una actualización en los procesos de enseñanza en la formación de las personas ingenierías industriales, integrando tecnologías como la robótica y la automatización. Este artículo aborda cómo hacer uso de equipamiento tecnológico en la formación académica mediante ejercicios prácticos que permitan a las personas estudiantes desarrollar contenidos y habilidades clave para enfrentar los desafíos del sector.

Se presentan tres ejercicios aplicados a la formación de la persona ingeniera industrial; el primero, enfocado en la mejora de la productividad, permite a las personas estudiantes analizar y optimizar procesos mediante la automatización de procesos; el segundo, centrado en el control de calidad, utiliza herramientas de inspección automatizada para evaluar la calidad en la producción; y el tercero,

relacionado con la estadística, emplea técnicas de análisis de datos para la toma de decisiones basadas en evidencia.

Estos ejercicios no solo refuerzan los contenidos teóricos de la carrera, sino que también desarrollan competencias prácticas en el uso de tecnología avanzada, preparando a los futuros profesionales para diseñar, operar y mejorar sistemas productivos en entornos industriales cada vez más tecnológicos.

Se concluye que la enseñanza de la ingeniería industrial debe evolucionar en sincronía con los avances tecnológicos, adoptando metodologías que fomenten el aprendizaje práctico. La implementación de ejercicios con robótica y automatización fortalece la capacidad analítica y de toma de decisiones de las personas estudiantes, asegurando su adaptación a la industria moderna.

Palabras claves: Ingeniería, educación a distancia, laboratorio, método de aprendizaje, trabajo práctico.

Development of content for Industrial Engineering training using DOBOT robots. Case study at ICE – Electronics Costa Rica

Díaz Jiménez, Heylin 

Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica, hdiaz@uned.ac.cr

Abstract – *Technological advances applied to present and future industrial processes demand an update in teaching processes for industrial engineering training, integrating technologies such as robotics and automation. This article addresses how to use technological equipment in academic training through practical exercises that allow students to develop key content and skills to address the challenges of the sector.*

Three exercises are presented for the training of industrial engineers. The first, focused on productivity improvement, allows students to analyze and optimize processes through process automation; the second, focused on quality control, uses automated inspection tools to assess production quality; and the third, related to statistics, employs data analysis techniques for evidence-based decision-making.

These exercises not only reinforce the theoretical content of the program but also develop practical skills in the use of advanced technology, preparing future professionals to design, operate, and improve production systems in increasingly technological industrial environments. It is concluded that industrial engineering teaching must evolve in sync with technological advances, adopting methodologies that foster practical learning. The implementation of exercises involving robotics and automation strengthens students' analytical and decision-making skills, ensuring their adaptation to modern industry.

Keywords— *engineering, distance education, laboratory, activity learning, practical tasks.*

I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de la robótica y la automatización en los procesos de producción es una práctica cada vez más extendida, lo que exige cambios en la manera en que las personas aprenden. En este contexto, es fundamental que las personas estudiantes desarrollen capacidades que les permitan tomar decisiones en entornos laborales altamente tecnológicos. Por ello, las instituciones de educación superior deben valorar el uso de equipamiento tecnológico que facilite el desarrollo de los contenidos temáticos de la carrera, incorporando tecnologías actuales como la robótica y la automatización [1].

Estas tecnologías han asumido tareas repetitivas y procesos de toma de decisiones programables mediante algoritmos matemáticos. Desde la Primera Revolución Industrial, la tecnología ha sido utilizada para liberar al ser humano de labores mecánicas, primero reemplazando la fuerza física, luego especializando la mano de obra en las cadenas de montaje, y, con el tiempo, desplazando tareas que no requieren del mayor valor del ser humano: su capacidad de cuestionamiento, innovación y resolución de problemas. En la

actualidad, el desafío es diseñar sistemas de producción eficientes que respondan a la demanda real, reduciendo la sobreproducción y el consumismo [2].

En este artículo se presentan tres ejercicios prácticos que abordan temas clave en la formación del ingeniero industrial: mejora de la productividad, control de calidad y estadística aplicada a los procesos industriales [3]. Para su desarrollo, se emplea una celda de manufactura equipada con dos brazos robóticos marca DOBOT y una banda transportadora. Estos tres elementos se disponen en diferentes configuraciones con el fin de adaptarse para las diferentes actividades. Cada práctica detalla los contenidos específicos que se abordan, haciendo uso de este equipamiento, demostrando cómo la tecnología, tradicionalmente utilizada en asignaturas de automatización y robótica, puede aplicarse a otras áreas clave de la ingeniería industrial.

El objetivo de este artículo es demostrar cómo los equipos automatizados disponibles en las universidades o bien que se proyectan adquirir, pueden utilizarse más allá de las asignaturas específicas de robótica y automatización, incorporándolos en el desarrollo de otros contenidos esenciales en la formación de la persona ingeniero industrial. Esta iniciativa surge de la necesidad de que los docentes aprovechen al máximo el equipamiento tecnológico, promoviendo su integración en distintas áreas del currículo académico y enriqueciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje con experiencias prácticas alineadas con las demandas de la industria actual.

II. MARCO TEÓRICO

A. Procesos de manufactura: mejora de la productividad.

Los procesos de fabricación transforman las materias primas en productos terminados. Su eficiencia afecta la productividad y la competitividad de una empresa. Mejorar la productividad implica optimizar el uso de los recursos para producir más con menos esfuerzo y costo. Este marco explora ideas y métodos clave de varios estudios sobre la mejora de la productividad de la fabricación. La productividad en la fabricación significa obtener más resultados con los mismos insumos o menos. Se trata de trabajar de manera eficiente y eficaz. Existen diferentes tipos de productividad, como la productividad laboral (cuánto trabajo realiza cada trabajador), la productividad del capital (qué tan bien se utilizan las máquinas y el equipo) y la productividad total de los factores (eficiencia general). El objetivo principal de mejorar la

productividad es aumentar la producción mientras se reducen los insumos, lo que ayuda a ahorrar costos y aumentar las ganancias [4].

La tecnología y la automatización son clave para mejorar la productividad en la fabricación. Las tecnologías avanzadas como la robótica, la inteligencia artificial (IA) y la Internet de las cosas (IoT) han cambiado el funcionamiento de los procesos de producción [5]. La automatización reduce el error humano, aumenta la precisión y permite una producción continua, lo que impulsa la productividad. Los estudios muestran que el uso de tecnologías de la Industria 4.0 puede mejorar significativamente la eficiencia operativa y la productividad [6].

La productividad es un indicador que mide la eficiencia con la que una empresa transforma insumos en productos o servicios. Se calcula dividiendo la producción total entre las horas trabajadas:

$$\text{Productividad} = \text{Producción total} / \text{Horas trabajadas} [7].$$

Para el cálculo de las horas trabajadas se pondrá en práctica los contenidos del tiempo estándar. El tiempo estándar es una medida fundamental en la ingeniería industrial que representa el tiempo requerido para que un operario calificado, trabajando a un ritmo normal, complete una tarea específica. Este tiempo se determina a través de estudios de tiempos que analizan detalladamente cada elemento de una operación. Adicionando los respectivos suplementos, la incorporación de tiempos adicionales para cubrir necesidades personales, fatiga y demoras inevitables, obteniendo así el tiempo estándar:

$$\text{Tiempo Estándar} = \text{Tiempo Normal} \times (1 + \text{Porcentaje de Suplementos}) [7].$$

Otro indicador que permite establecer la capacidad de un sistema productivo es el Takt Time, representa el ritmo al que debe producirse un producto para satisfacer la demanda del cliente. Se calcula dividiendo el tiempo de producción disponible entre la demanda del cliente:

$$\text{Takt Time} = \text{Tiempo de producción disponible} / \text{Demanda del cliente} [8].$$

Existen otros indicadores, sin embargo, para el desarrollo del ejercicio, se hace uso de estos dos con el fin de valorar el desempeño en el proceso productivo, luego de la incorporación de elementos de automatización con el uso de la robótica.

B. Control de calidad

El control de calidad garantiza que los productos y servicios cumplan con los estándares mediante inspección, pruebas y mediciones. Su objetivo es prevenir defectos, garantizar una calidad constante, satisfacer a los clientes y reducir los costos de reprocesamiento y desperdicio.

Se han desarrollado varias metodologías para implementar el control de calidad de manera efectiva. Una de ellas y que será aplicada en este artículo corresponde al:

1. Control estadístico de procesos (CEP): el CEP implica el uso de técnicas estadísticas para monitorear y controlar los procesos de producción. Los gráficos de control se utilizan para detectar variaciones en el proceso e identificar problemas potenciales antes de que resulten en defectos. El CEP ayuda a

mantener la estabilidad del proceso y lograr una calidad constante. El mapeo del flujo de valor se utiliza para identificar y eliminar actividades que no agregan valor [9]. Estas decisiones se toman con base en los resultados del CEP.

Los avances tecnológicos han impactado significativamente las prácticas de control de calidad. La integración de la automatización, la inteligencia artificial (IA) y la Internet de las cosas (IoT) ha revolucionado los procesos de control de calidad. Los sistemas de inspección automatizados, los algoritmos de aprendizaje automático y el análisis de datos en tiempo real permiten un control de calidad más preciso y eficiente. Estas tecnologías ayudan en la detección temprana de defectos, el mantenimiento predictivo y el monitoreo continuo de los parámetros de calidad. Si bien la tecnología juega un papel crucial en el control de calidad, los factores humanos siguen siendo esenciales. La capacitación y el desarrollo efectivos de los empleados son fundamentales para la implementación exitosa de las prácticas de control de calidad [10]. La participación y el empoderamiento de los empleados son clave para la mejora continua y la responsabilidad [11].

C. Estadística aplicada a los procesos industriales: el diseño de experimentos.

La aplicación de métodos estadísticos en procesos industriales, en particular a través del diseño experimental, desempeña un papel crucial en la optimización de la eficiencia de la producción y la calidad del producto. El diseño experimental implica la planificación sistemática de experimentos para investigar los efectos de múltiples factores en una variable de respuesta. Este enfoque permite la identificación de factores significativos y sus interacciones, lo que conduce a una toma de decisiones informada y a mejoras de procesos. Uno de los principios fundamentales del diseño experimental es el uso de diseños factoriales, que permiten el estudio simultáneo de múltiples factores variándolos juntos en lugar de uno a la vez. Los diseños factoriales, como los diseños factoriales completos y fraccionales, proporcionan una comprensión integral del comportamiento del sistema y facilitan la identificación de las condiciones óptimas [12].

La aplicación de la estadística en procesos industriales no solo mejora la comprensión del proceso, sino que también reduce la cantidad de ejecuciones experimentales necesarias, lo que ahorra tiempo y recursos [13].

La integración de métodos estadísticos en el diseño experimental ha revolucionado los procesos industriales al proporcionar un enfoque sistemático para la optimización de procesos y la mejora de la calidad [14]. El uso de diseños factoriales, permiten la identificación de factores significativos y el desarrollo de procesos robustos. Estas técnicas estadísticas no solo mejoran la comprensión del proceso, sino que también conducen a ahorros de costos y una mejor calidad del producto [15]. A medida que las industrias continúan evolucionando, la aplicación del diseño experimental seguirá siendo una piedra angular de la optimización de procesos, impulsando la innovación y la competitividad en el sector manufacturero.

III. CASO DE ESTUDIO

En cada uno de los ejercicios se especificará los contenidos que se podrán en práctica haciendo uso del equipamiento de robótica y automatizado, así como la explicación paso a paso del ejercicio y sus resultados. En una sección final, se indicará otros temas que se pueden aplicar.

A. Práctica 1: Procesos de manufactura: mejora de la productividad.

En esta práctica la persona estudiante va a comparar los tiempos y costos de llevar a cabo la producción de forma semimanual contra una solución semi automatizada y una final, completamente automatizada. Para lo que se presentarán tres escenarios en los que los que se incorpora de forma paulatina los elementos de automatización como lo son los brazos robóticos DOBOT.

En el desarrollo de este ejercicio se podrá aplicar contenidos de ingeniería industrial, tales como: procesos de manufactura, sistemas flexibles de manufactura, automatización, diagramas de proceso, toma de tiempos, tiempo de ciclo, tack Time, ingeniería económica, eficiencia, eficacia y productividad.

El proceso por analizar corresponde al siguiente:

En una empresa se procesan tres tipos de dispositivos médicos, estos son vertidos y clasificados según su tipo en 3 tipos de cajas según el dispositivo que contiene, una vez llenada cada caja alcanza un peso aproximado de 3 kilos.

Las cajas con producto se dirigen por medio de una banda transportadora hacia el área almacén, cuando la caja llega al almacén, un operario detiene la banda para poder tomar la caja y verificar el tipo de producto. Una vez identificado el tipo de producto, se solicita al personal de bodega que ubique la caja en el espacio del almacén destinado para este producto.

En el almacén se completan lotes con 3 cajas de un mismo tipo de producto, una vez se completa cada lote, se le solicita al operario del montacargas que tome el lote, lo traslade a despacho y lo cargue en el transporte interno para que sea distribuido en las bodegas de ensamble.

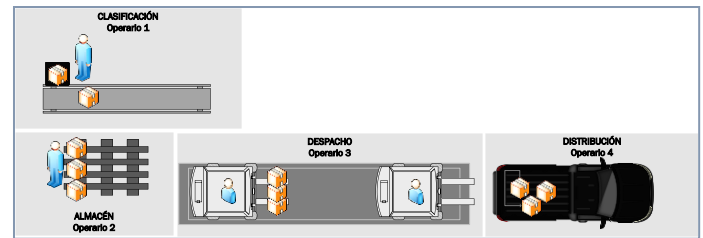
Una vez conocido el planteamiento de producción se le pedirá a la persona estudiante que desarrolle cada una de los siguientes puntos según cada uno de los 3 escenarios que se plantearán:

Pasos para el desarrollo del ejercicio:

1. Toma de tiempos para el cálculo del tiempo estándar.
2. Identificación de los suplementos.
3. Análisis de costos de operación.
4. Estimación del tack time e indicador de productividad como referencia de mejora.

Escenario 1

En este caso el proceso se ejecuta de la forma en la que se presenta en la figura 1:



Visualización de la disposición de trabajo

Fig. 1 Croquis del escenario de trabajo 1.

De acuerdo con la descripción del proceso, el operario 1 es quien detiene la banda, verifica el producto e informa al operario 2 el tipo de producto, para que este último las almacene en lotes de 3 cajas del mismo producto, cada vez que se completa un lote el operario 3 las toma, las coloca en el montacargas y las dirige hacia despacho, para finalmente, colocarlas en el transporte interno.

Cantidad de personal: 3 (operador de la banda y verificador, operador de bodega y operador de montacargas) además, de una persona estudiante que tome los tiempos, pero no serpa considerada para los cálculos en el proceso productivo.

1. Se toma el tiempo de procesamiento para cada una de las partes del proceso. Registrando el tiempo que se tarda en la actividad en 15 ocasiones. Los datos registrados se ubican en el anexo 1.
2. Los suplementos utilizados corresponden al método Westinghouse y los indicados por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) [8]. Los cuales se detallan en la tabla 1.

TABLA 1
Asignación de suplementos por el método Westinghouse y la OIT

Porcentaje de actuación - método Westinghouse		
Habilidad	A1	0,2
Esfuerzo	A1	0,1
Condiciones	A	0,1
Consistencia	A	0

0,38

Suplementos de descanso - OIT		
Suplementos constantes	%	Valor
A. Suplementos por necesidades	5%	0,05
B. Suplementos base por fatiga	4%	0,04
Suplementos variables		
A. Suplementos por trabajar de pie	2%	0,02
B. Suplementos por postura anormal	7%	0,07
C. Uso de fuerza/energía muscular	1%	0,01
Total	19%	0,19

En este primer escenario se obtiene un tiempo estándar de 34.86 segundos por unidad, se identifica en la tabla 2:

TABLA 2
Tiempo estándar a partir del tiempo observado y los suplementos del escenario 1

Operación	Tiempo promedio (Tiempo)	Factor de calificación (1+C)	Tiempo Normal (TO * Factor de	Suplementos (1+ Suplementos)	Tiempo estándar - Tiempo tipo (s)
-----------	--------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

	observación)		calificación)		
Total clasificador	7,37	1,38	10,18	1,19	12,108
Almacenaje	1,46	1,38	2,01	1,19	2,393
Despacho	12,40	1,38	17,11	1,19	20,363
Total de la línea					35,26

- Una vez se ha identificado el tiempo de procesamiento se puede realizar el costeo del proceso productivo, para esto se debe identificar los siguientes rubros, en el caso específico del lugar en el que se desarrolló el ejercicio, se hace uso de rubros correspondientes a los montos de salarios en Costa Rica en el año 2024. Se detalla en la tabla 3:

TABLA 3

Costos de operación por concepto de mano de obra por día y por lotes del escenario 1

Costos de Operación

Detalle del costo	Cantidad	Unidad de medida
Operadores por turno	3,00	personas
Turno 6am a 2:00p.m. (60 min almuerzo y 15min café en la mañana)	8,00	hrs
Costo por hora normal Técnico	3.500,00	¢

Costos de Mano de obra

Detalle del costo	Cantidad	Unidad de medida
Diaria	84.000,00	¢
Cargas S. de Empresa (45%)	37.800,00	¢
Total Mano de Obra diaria 3 técnicos (8 horas)	121.800,00	¢

Tiempo producción 1 lote		
Tiempo de Fabricación	0,010	hrs
Tiempo de Set up	0,08	hrs
Tiempo de Manufactura de un lote	0,09	hrs
Tiempo no disponible por turno	1,25	hrs
Tiempo disponible Turno de 8 horas	6,75	hrs
Cantidad de lotes en una jornada de 8 horas	72,57	Lotes por día
Total Mano de obra producción de un lote de 3	¢ 1.678,46	Costo de mano de obra por lote

- Teniendo estos datos, se utilizan dos medidas el Takt time, definido como el tiempo por unidad, el cual y la productividad.

Para el cálculo del takt time se estima una demanda de 100 lotes diarios. Se detallan los cálculos realizados:

Takt time

Tiempo por unidad = (Tiempo total disponible) / (Demanda del cliente en unidades)

¿Cuál debería ser el ritmo de producción con una demanda de 100 lotes diarios?

Tiempo total disponible: 6,75 horas

Demanda: 100 lotes

Tiempo Takt: $6,75/100 = 0,0675$ horas

Actualmente el tiempo de manufactura de un lote es de 0.0675 hora, se espera una reducción de 0.0225 horas.

Productividad

Productividad = Unidades producidas/costo de producción

$$\text{Productividad} = 72,57 / 1.678,46 = 0,04$$

Escenario 2

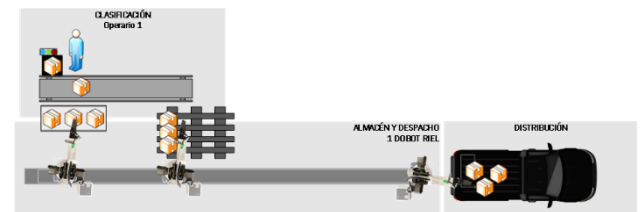
En este escenario se realiza el mismo proceso que en el escenario 1 y descrito en el proceso por analizar. Sin embargo, en este caso, se incorpora un brazo robótico sobre un riel que se desplaza desde el área de llenado ubicado en la banda transportadora, pasa por el almacén y llega hasta el área de despacho.

En este escenario el operario 1 es quien verifica el producto y presiona en la botonera el color del producto para que el DOBOT - RIEL tome la caja, la lleva a almacén y una vez cuente con el lote completo inicie la secuencia de traslado a despacho, para finalmente colocarlas en el transporte interno. Así se ha automatizado el área de almacén y despacho. Se lleva a cabo el proceso de valoración de manera que se ponga en práctica los contenidos y además se identifique si existe un beneficio en esta automatización. Es importante indicarle a las personas estudiantes que en la actualidad existen software de simulación que permiten llevar a cabo estas simulaciones, antes de llevar a cabo toda una implementación.

Cantidad de personal: 1 (operador de la banda y verificador) además, de un estudiante que tome los tiempos.

Maquinaria: 1 DOBOT - RIEL.

En la figura 2 se puede observar el croquis de la disposición de los equipos y el operario en la ejecución del proceso productivo.



Visualización de la disposición de trabajo con la incorporación de un brazo robótico

Fig. 2 Croquis del escenario de trabajo 2.

- Si siguiendo con los 4 pasos se inicia con la toma el tiempo de procesamiento para cada una de las partes del proceso. Registrando el tiempo que se tarda en la actividad en 15 ocasiones. Los datos registrados se ubican en el anexo 2.
- Cálculo del tiempo estándar se observa en la tabla 4.

TABLA 4

Tiempo estándar a partir del tiempo observado y los suplementos del escenario 2

Operación	Tiempo promedio (Tiempo observación)	Factor de calificación (1+C)	Tiempo Normal (TO * Factor de calificación)	Suplementos (1+Suplementos)	Tiempo estándar - Tiempo tipo (s)
Total clasificador	11,04	1,38	15,23	1,19	18,123
Almacenaje	21,93	1	21,93	1	21,933
Despacho	70,60	1	70,60	1	70,600

Total de la línea	111,06
--------------------------	---------------

3. Costos de procesamiento con el proceso semiautomatizado, se observan en la tabla 5.

TABLA 5
Costos de operación por concepto de mano de obra por día y por lotes del escenario 2

Costos de Operación

Detalle del costo	Cantidad	Unidad de medida
Operadores por turno	1,00	personas
urno 6am a 2:00p.m. (30 min almuerzo y 15min café en la mañana)	8,00	hrs
Costo por hora normal Técnico (en Costa Rica)	3.500,00	€

Costos de Mano de obra

Detalle del costo	Cantidad	Unidad de medida
Diaria	28.000,00	€
Cargas S. de Empresa (45%)	12.600,00	€
Total Mano de Obra diaria 1 técnico (8 horas)	40.600,00	€

Costos de la Maquinaria

Mantenimiento del Dobot trimestre	186.000,00	€
Mantenimiento del Dobot diario	2.066,67	€
Depreciación diaria	1.358,90	€
Total costos diarios Dobot	3.425,57	€
Total costo de operación	44.025,57	€

Tiempo producción 1 lote		
Tiempo de Fabricación	0,031	hrs
Tiempo de Set up	0,08	hrs
Tiempo de Manufactura de un lote	0,11	hrs
Tiempo no disponible por turno	1,25	hrs
Tiempo disponible Turno de 8 horas	6,75	hrs
Cantidad de lotes en una jornada de 8 horas	59,17	Lotes por día
Total Mano de obra producción de un lote de 3	€744,01	Costo de mano de obra por lote

4. Takt time

Tiempo Takt: $6,75/100 = 0,0675$ horas

Actualmente el tiempo de manufactura de un lote es de 0.11 hora, debería agilizar en casi el doble la operación para lograr cumplir con esta demanda.

Productividad

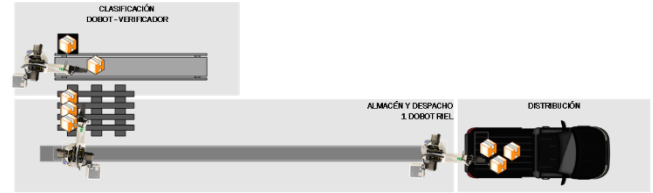
$59,17 / 744,01 = 0,080$

Se puede observar que la productividad se duplicó.

Escenario 3

En este escenario se realiza el mismo proceso que en el escenario los escenarios anteriores, pero en este caso, todo el proceso se ha automatizado. el DOBOT - VERIFICADOR es quien controla la banda, verifica el producto, lo almacena y envía un pulso al DOBOT – RIEL cuando el lote está completo para que lleve cada caja del lote a despacho y colocarlas directamente en el transporte interno.

En la figura 3 se puede observar el croquis de la disposición de los equipos para la ejecución del proceso productivo:



Visualización de la disposición de trabajo con el proceso completamente automatizado

Fig. 3 Croquis del escenario de trabajo 3.

Maquinaria: 1 DOBOT con riel y 1 DOBOT verificador.

- Al igual que en los casos anteriores se inicia con la toma de tiempos de procesamiento para cada una de las partes del proceso. Registrando el tiempo que se tarda en la actividad en 15 ocasiones. Los datos registrados se ubican en el anexo 3.
- Cálculo del tiempo estándar se presenta en la tabla 6.

TABLA 6
Tiempo promedio de la línea escenario 3

Operación	Tiempo promedio en segundos (Tiempo observación)
Total clasificador	16,89
Despacho	97,00
Total de la línea	114,29

En este caso no se hace uso de los suplementos.

3. Costos de procesamiento con el proceso automatizado se detallan en la tabla 7.

TABLA 7
Costos de operación de la línea automatizada escenario 3

Detalle del costo	Cantidad	Unidad de medida
Turno 6am a 2:00p.m. (30 min almuerzo y 15min café en la mañana)	8,00	hrs

Costos de la Maquinaria

Mantenimiento del Dobot trimestre	372.000,00	€
Mantenimiento del Dobot diario	4.133,33	€
Depreciación diaria	2.717,81	€
Total costos diarios Dobot	6.851,14	€
Total costo de operación	6.851,14	€

Tiempo producción 1 lote		
Tiempo de Fabricación	0,032	hrs
Tiempo de Set up	0,08	hrs
Tiempo de Manufactura de un lote	0,11	hrs
Tiempo no disponible por turno		hrs
Tiempo disponible Turno de 8 horas	8,00	hrs
Cantidad de lotes en una jornada de 8 horas	69,58	Lotes por día
Total Mano de obra producción de un lote de 3	€98,46	Costo de mano de obra por lote

4. Takt time

Tiempo Takt: $8/100 = 0,08$ horas

Actualmente el tiempo de manufactura de un lote es de 0,11 horas, debería agilizar en 0,03 en para lograr cumplir con esta demanda. La ventaja con los sistemas automatizados es que se pueden extender las jornadas laborales incrementando la producción por día.

Productividad

$69,58 / 98,46 = 0,71$

Se puede observar que la productividad mejoró en 63%.

B. Práctica 2: control de calidad

En esta práctica la persona estudiante va a analizar un sistema automatizado en función de las fallas que presenta, para esto deberá hacer la toma de datos, análisis estadístico y aplicación de herramientas de calidad.

En el desarrollo de este ejercicio pondrá contenidos de ingeniería industrial, tales como: gráficos de control, aplicación de herramientas de calidad (diagrama Ishikawa, diagrama de dispersión, sistemas poka-yoke), toma de datos en campo y resolución de problemas de calidad.

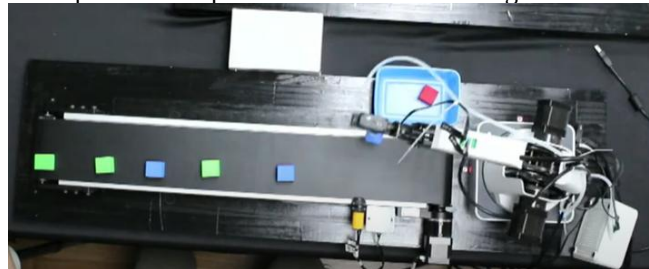
El proceso por analizar corresponde al siguiente:

El sistema consta de una banda transportadora y un brazo robótico. La banda transporta cajas para ser colocadas por el brazo robótico en una canasta. El brazo robótico debe tomar la caja de la banda, cuando el sensor detecta que ha llegado una caja a la posición de agarre, en este momento debe tomar la caja por medio de la ventosa y trasladarla a la canasta. Se ha detectado que hay cajas que el robot no toma, por lo que quedan en la banda y se acumulan al final, estas deben ser colocadas de forma manual en la canasta por un operario.

Se debe analizar la cantidad de pérdidas y las condiciones de la operación para realizar propuestas de mejora, en las que se disminuya la cantidad de fallas, las cuales corresponden a todas las cajas que no son tomadas por el brazo robótico. Se espera que las fallas no superen el 20% de la producción. Esta es una cantidad que no impacta la productividad del proceso.

Para realizar el ejercicio se pone la banda en funcionamiento, una persona debe colocar los bloques para que el sensor los detecte, se accione el brazo robótico, detenga la banda y las tome con la ventosa para colocarlas en el recipiente. Se va a considerar lo producido cada minuto y las fallas que se presentan en la producción de ese minuto.

La disposición del proceso se visualiza en la figura 4.



Visualización de la banda transportadora y el brazo robótico para el desarrollo del ejercicio de control de calidad

Fig. 4 Fotografía del espacio de práctica para control de calidad.

Pasos para el desarrollo del ejercicio:

1. Toma de datos
2. Análisis de los datos mediante gráficos de control
3. Aplicación de alguna herramienta de calidad para causas del problema.
4. Propuesta de mejora.

Desarrollo del ejercicio:

1. Toma de datos: se hace un registro de la cantidad de cajas que se pueden colocar en la banda en un lapso de 1 minuto. De esa cantidad de cajas se identifica la cantidad de cajas que el brazo robótico no es capaz de colocar en el recipiente. Se registra datos durante un total de 28 minutos.

Los datos obtenidos se ubican en la tabla 8.

TABLA 8
Proporción de fallas por minuto

Registro de fallas					
Cantidad de producción n_{pi}	Fallas d_i	Proporción p_i	Cantidad de producción n_{pi}	Fallas d_i	Proporción p_i
6	3	0,50	5	1	0,20
7	5	0,71	5	1	0,20
5	4	0,80	5	1	0,20
5	4	0,80	5	3	0,60
2	2	1,00	5	0	0,00
4	1	0,25	5	0	0,00
5	1	0,20	5	1	0,20
6	3	0,50	6	0	0,00
6	4	0,67	5	4	0,80
4	0	0,00	6	4	0,67
4	2	0,50	5	4	0,80
4	2	0,50	3	2	0,67
3	3	1,00	5	3	0,60
2	1	0,50	4	2	0,50

2. Análisis de los datos mediante gráficos de control

Identificar el gráfico de control que le permita interpretar los datos que analiza.

Considerando la forma de contabilizar las fallas, lo cual se da por medio de un dato discreto, se debe hacer uso de un gráfico de control para atributos.

De los gráficos de control para variables discretas el que se ajusta al registro de los datos y la forma en la que se han recabado, es el gráfico p correspondiente a la proporción de defectuosos, por lo que es necesario calcular la proporción de defectos por toma.

El gráfico se visualiza en la figura 5. El cual se ha realizado haciendo uso del software estadístico Minitab, otro aprendizaje que se puede desarrollar por medio de estos ejercicios.

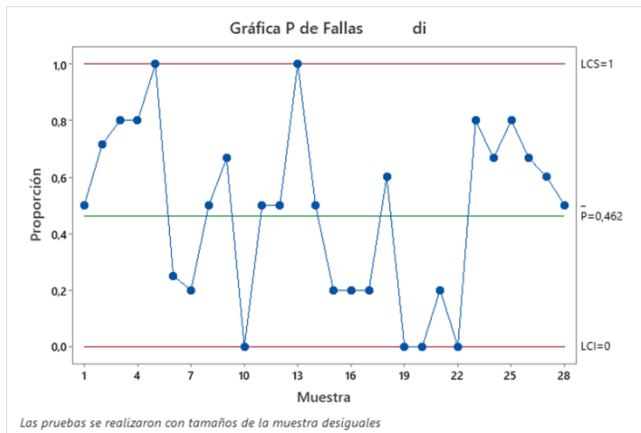


Gráfico de control P

Fig. 5 Gráfico de control de la proporción de fallas en la toma de las cajas por parte del brazo robótico.

Interpretación:

Se espera que la tasa de fallas sea menor que el 20% lo cual no se está cumpliendo debido a que actualmente se tiene una tasa media de un 46.2% de defectos, lo duplica y sobrepasa lo esperado.

Pareciera que se presenta un comportamiento cíclico no aleatorio, por lo que se debe analizar si hubo cortes en la toma de los tiempos, cambios periódicos en el ambiente o algún elemento sistemático que provoque este comportamiento.

3. Aplicación de alguna herramienta de calidad para causas del problema.

Se puede aplicar cualquiera de las herramientas de calidad que hayan sido vistas en el curso, la persona estudiante, debe poner en práctica la capacidad de discriminar de entre las herramientas la que mejor se ajusta al problema que analiza y la que le ayude en la identificación de las causas del problema al que se enfrenta.

En este caso específico se decide utilizar el diagrama Ishikawa, debido a que se cuenta con el espacio de trabajo, el cual se puede analizar a profundidad y establecer cada una de las 6 M (mediciones, material, mano de obra, medio ambiente, métodos y máquinas), es una buena oportunidad para aplicar este diagrama en un ambiente en el que se cuenta con todos los elementos [16].

De igual forma se realiza haciendo uso del software estadístico Minitab, se realiza una lluvia de ideas y luego de clasificar de acuerdo con cada M y con lo identificado en la ejecución del proceso, los resultados se visualizan en la figura 6.

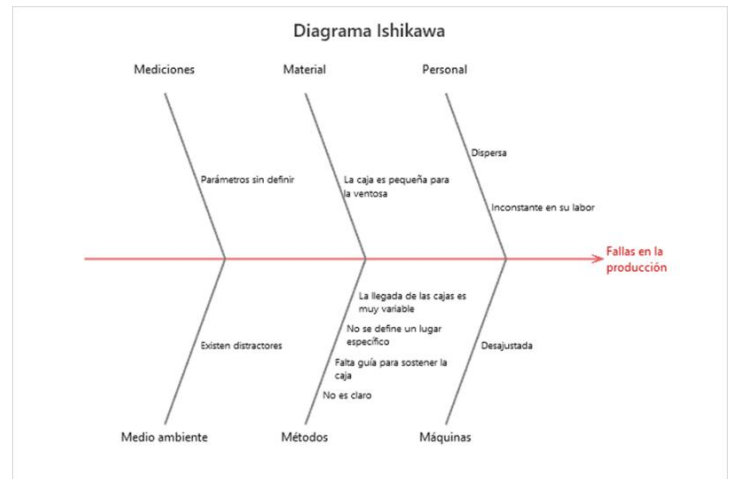


Diagrama Ishikawa

Fig. 6 Clasificación de las 6M con las posibles causas del problema en las fallas de producción del brazo robótico.

Estas posibles causas se identifican mediante la visualización del video, el cual se grabó mientras se hacía la toma de los datos. Los resultados del diagrama permiten interpretar que se puede mejorar el método para la toma de las cajas. La persona estudiante debe llegar a conclusiones en las que establezca propuestas con base en el análisis de la herramienta, esto demuestra un conocimiento profundo de la misma.

4. Propuesta de mejora

Debido a que se ha detectado que el problema se presenta en el método de producción, se recomienda la aplicación de un sistema poka-yoke. Con este sistema se busca que se evite la incursión en errores por parte del robot, lo cual se puede lograr definiendo un lugar específico para el traslado de las cajas, sea que se defina con una figura del cuadrado sobre la banda o algún indicativo del espacio en el que se sabe que el robot tomará la caja.

Contenidos adicionales que pueden ser aplicados:

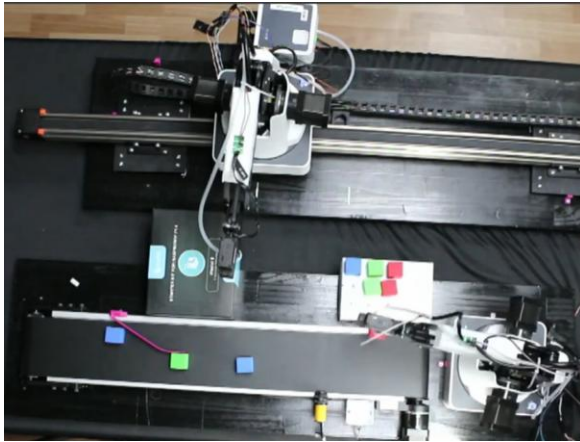
- Análisis de centrado y dispersión de los datos.
- Aplicación de una estrategia Seis Sigma para la mejora del proceso.
- OEE: aplicado al robot.
- Estimación de la capacidad del proceso.
- Aplicación de gráficos de control para variables continuas por medio del tiempo de procesamiento.

C. Práctica 3: Estadística aplicada a los procesos industriales, el diseño de experimentos

En esta práctica la persona estudiante va a analizar los factores que afectan el tiempo de procesamiento de un sistema automatizado.

En el desarrollo de este ejercicio podrá aplicar contenidos de ingeniería industrial, tales como: identificación de variables (respuesta e independientes), definición de los factores, diseño de experimentos, análisis de los factores relevantes, interpretación de los gráficos de residuos, toma de datos en campo y resolución de problemas de calidad.

El proceso por analizar corresponde consta de un brazo robótico el cual debe agrupar las cajas en lotes, cada lote está compuesto por tres cajas de un mismo producto, se cuenta con tres tipos de productos diferentes, identificados por el color de la caja. El ciclo termina cuando se ha completado los tres lotes de cada uno de los tres productos. Observe la figura 7.



Disposición de trabajo para práctica de estadística
Fig. 7 Disposición de los brazos robóticos y los factores para la práctica de estadística.

Las cajas llegan por medio de una banda transportadora, el robot detecta la caja por medio de un sensor, en ese momento detiene la banda toma la caja e identifica el tipo de producto, luego lo coloca en el espacio de almacenamiento mientras se completa cada lote de producto para que puedan ser despachados.

El sistema tiene varias opciones para su funcionamiento y agilizar el proceso de forma que se disminuya el tiempo de procesamiento de los tres lotes. Para eso se tiene la posibilidad de usar una o dos guías; colocar la banda en tres velocidades diferentes; usar una luz para una mejor detección o no usarla y colocar el robot a tres diferentes alturas.

Lo que se busca es establecer la mejor combinación de factores para un menor tiempo de procesamiento.

Para realizar el ejercicio se pone la banda en funcionamiento, una persona debe ir colocando los bloques para que el brazo robótico los detecte por medio del sensor, detenga la banda y los tome con la ventosa y los coloque en lector óptico para su detección, posteriormente, los acomoda en lotes de tres, según su color. Se va a tomar el tiempo de producción cada tres lotes completos.

Una de las formas en la que se puede trabajar este ejercicio es solicitando a las personas estudiantes que realicen los siguientes puntos:

1. Identificar las variables.
 - Variable respuesta: tiempo de procesamiento de los tres lotes.
2. Establecer los factores y sus niveles:
 - Guías: 1 o 2.
 - Velocidades de la banda: 25 mm/s, 30 mm/s y 35 mm/s.
 - Luz: sí o no.

3. Hacer el planteamiento del diseño de experimentos con las réplicas establecidas, en este caso 1 réplicas:
4. Estime la cantidad de experimentos:
Factores: 3
Niveles: $2 \times 3 \times 2 = 12$
Total niveles * réplicas: $12 \times 1 = 12$
5. Crear el diseño factorial:
6. Ejecutar el experimento la cantidad de veces que se haya definido para su repetición.
7. Analizar las variables y sus efectos, por medio del P value.
8. Interpretar los gráficos de residuos.
9. Establecer la mejor combinación de factores para un menor tiempo de respuesta.

Luego de creado el diseño experimental, se obtienen los datos ubicados en el anexo 4

Los datos se digitan en el software estadístico Minitab, para luego realizar el análisis de varianza. Con base en los datos obtenidos, el software presenta la tabla ANOVA de la figura 8.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	11	13,1436	1,19487	21,62	0,000		
Lineal	4	12,9479	3,23699	58,58	0,000		
Guías	1	0,0506	0,05063	0,92	0,348		
Luz	1	9,9540	9,95402	180,14	0,000		
Velocidad	2	2,9433	1,47165	26,63	0,000		
Interacciones de 2 términos	5	0,1651	0,03302	0,60	0,702		
Guías*Luz	1	0,0318	0,03180	0,58	0,455		
Guías*Velocidad	2	0,0259	0,01297	0,23	0,793		
Luz*Velocidad	2	0,1074	0,05368	0,97	0,393		
Interacciones de 3 términos	2	0,0306	0,01528	0,28	0,761		
Guías*Luz*Velocidad	2	0,0306	0,01528	0,28	0,761		
Error	24	1,3262	0,05526				
Total	35	14,4698					

Tabla ANOVA

Fig. 8 Resultados del análisis de varianza de los factores que afectan el tiempo de procesamiento.

Se puede observar que la luz y la velocidad son representativos, por lo que afectan el tiempo de procesamiento, por otro lado, las guías son indiferentes. Así mismo se puede ver que ninguna interacción es representativa para el tiempo de procesamiento.

La persona estudiante puede hacer uso de varias de las herramientas estadística para el análisis de los datos. Parte del desarrollo y de la riqueza de estas prácticas es que discrimine de entre todas las herramientas y además, demuestre su capacidad para la interpretación de los resultados y la posterior toma de decisiones.

Puede realizar el análisis de efectos por medio del diagrama Pareto de Minitab, el cual se ubica en la figura 9.

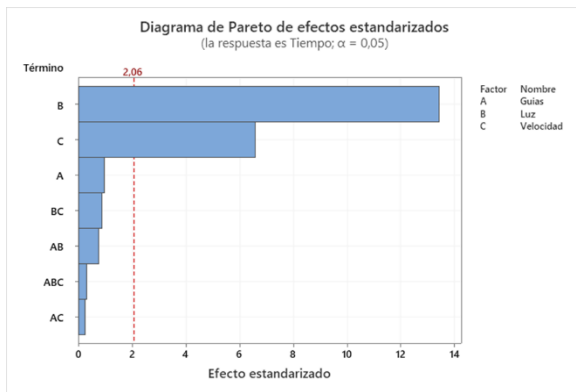


Gráfico Pareto

Fig. 9 Análisis de los efectos de las variables por medio de la gráfica Pareto.

Se comprueba la fuerte influencia de la luz sobre el tiempo de procesamiento. El otro factor que afecta el tiempo corresponde a la velocidad.

Finalmente, en este ejercicio, uno de los contenidos que se puede poner en práctica es el análisis de residuos, la persona estudiante tiene la capacidad de analizar estos gráficos, los cuales representan los resultados de un proceso concreto y ejecutados por las mismas personas estudiantes, lo que genera una gran significancia al contenido temático.

Las gráficas de residuos se observan en la figura 10.

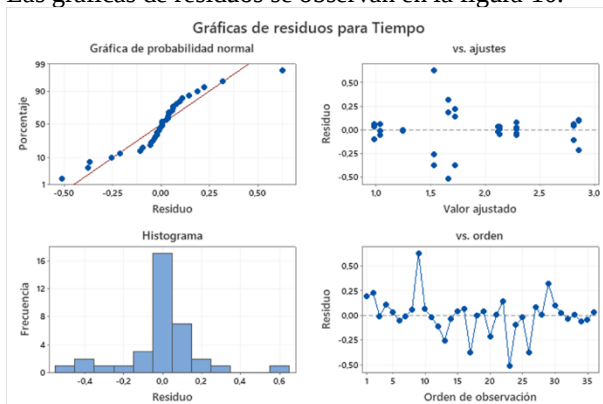
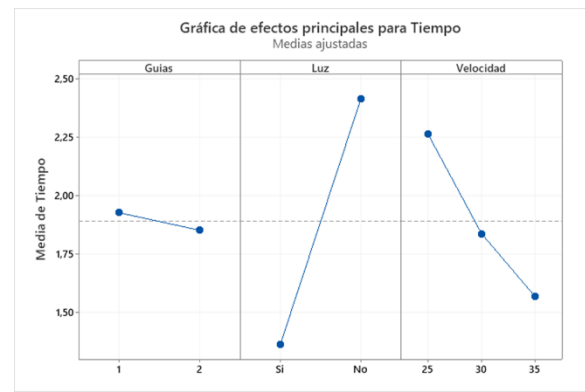


Gráfico de residuos

Fig. 10 Gráficas con el análisis de residuos del tiempo de procesamiento.

La persona estudiante puede robustecer su análisis con la interpretación de estos gráficos, en el que puede indicar aspectos como que, la gráfica de normalidad no presenta un comportamiento ajustado a la normal, así también lo refleja, la gráfica de valor ajustado, sin que las tomas presenten un comportamiento aleatorio, lo que podría atentar contra la robustez del estudio. Finalmente, el histograma, presente un comportamiento bastante normal al igual que el orden de observación.

Así mismo, se puede profundizar en la aplicación estadística con un análisis de efectos, de manera que puede establecer cuál es la mejor combinación de factores para la mejora en el tiempo de procesamiento. En el caso del ejercicio realizado las gráficas se presentan en la figura 11.



Gráfica de efectos

Fig. 11 Efectos de los factores que afectan el tiempo de procesamiento.

Así la persona estudiante tiene la posibilidad de aplicar herramientas que le generen visualizaciones fáciles de interpretar y con las cuales se le facilita la toma de decisiones. Analizando específicamente este resultado, se observa que las guías no afectan o representan un resultado significativo para el tiempo. Por otro lado, la luz es muy significativa, por lo que es necesario mantenerla encendida, en el caso de la velocidad, lo pertinente es que sea de 35mm/s.

IV. CONCLUSIONES

En el desarrollo de estas prácticas, además de especificar, los contenidos que serían desarrollados y el planteamiento; se presentó también, los resultados del desarrollo, de manera que se deje claro el resultado que se espere por parte de la persona estudiante. Además, que la persona docente que utilice este artículo, puedas visualizar el alcance de la puesta en práctica de estos ejercicios, y así pueda potenciar el uso del equipo tecnológico con el que se cuenta en muchas instituciones de educación superior y que son utilizadas únicamente para temas relacionados con la automatización.

En el desarrollo de estos ejercicios se pueden abarcar temas secundarios más allá de los mencionados. Es claro que alrededor de la ejecución de cada paso, se presenta una oportunidad para que la persona docente, pueda extenderse y aclara temas que se desprenden de los principales.

En este sentido, en la primera práctica, la persona docente podría solicitar la aplicación de los contenidos de diagramación. La persona estudiante debería discriminar de los diferentes diagramas, cuál es el diagrama correcto para cada uno de los escenarios, así deberá identificar que para el escenario 1 se hace uso de un diagrama de flujo, pero para el escenario dos, debe incluir un diagrama hombre máquina, ya que el operador hace uso de la botonera, para activarla. El último escenario vuelve a ser de flujo únicamente. Así mismo, como se mencionó en el desarrollo del ejercicio, se puede incluir temas de simulación. Esto por mencionar algunos ejemplos para esta práctica.

En el caso de la práctica 2, los 28 minutos en los que se registran los datos para el control de calidad, es una medida arbitraria. Esta sería una buena oportunidad para desarrollar el tema de tamaño de muestra, donde se explique que, con una

serie de datos históricos, se puede contar con un promedio poblacional de fallas y con base en este calcular la muestra de minutos por realizar el registro, con una confianza y error determinados.

Un aspecto importante que resaltar en el desarrollo del ejercicio 1, es que se pudo notar que el tiempo de procesamiento con los DOBOT resulta ser mayor, el docente debe guiar el proceso de aprendizaje y motivar al cuestionamiento por parte de las personas estudiantes. En algunos casos, como este, la secuencia de la rutina del robot se ejecuta de una forma más lenta comparada con los movimientos que realiza una persona. Pero algo que se debe tener claro es que el ritmo de un robot es constante, lo que no sucede en la mayoría de los casos con las personas. Por ejemplo, se puede identificar en el proceso de colocar la caja para que sea almacenada de la práctica 1, se tienen datos desde 0,6 segundos a 4 segundos, este aspecto no se presente en las rutinas de un robot, ya que el tiempo siempre es el mismo. Además, que pueden ser utilizados en varios horarios o 24/7, lo cual no es posible con una persona a menos que se tengan varios turnos. Estos también son aspectos que permiten robustecer la toma de decisiones en cuanto a la automatización de procesos.

Estos son solo algunos ejemplos de la forma en la que se puede optimizar el uso de los equipos automatizados con los que se cuentan en las instituciones de educación superior.

Una de las mayores riquezas de hacer uso de estos equipos para el desarrollo de diversos contenidos, es que la persona estudiante está teniendo la oportunidad de aplicar los contenidos, dando soluciones a problemas que simulan la realidad a la cual se van a enfrentar en su futuro ejercicio profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la empresa ICE Electronics Internacional por permitir la realización de estas prácticas, con las cuales se aporta a los procesos de enseñanza aprendizaje en la formación de los futuros profesionales en ingeniería industrial.

REFERENCES

- [1] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Substantial capabilities of robotics in enhancing industry 4.0 implementation. *Cognitive Robotics*, 1, 58-75.
- [2] George, A. S., & George, A. H. (2020). Industrial revolution 5.0: the transformation of the modern manufacturing process to enable man and machine to work hand in hand. *Journal of Seybold Report* ISSN NO, 1533, 9211.
- [3] Biswas, J., & Das, S. (2023). Industrial Engineering Tools for Productivity Enhancement: An Analytical Review. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 10(12), 51-59.
- [4] Smith, R., & Hawkins, B. (2004). *Lean maintenance: reduce costs, improve quality, and increase market share*. Elsevier.
- [5] Amjad, M. H. H., Shovon, M. S. S., & Hasan, A. M. (2024). Analyzing Lean Six Sigma Practices In Engineering Project Management: A Comparative Analysis. *Innovatech Engineering Journal*, 1(01), 245-255.
- [6] Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. K., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building https://www.overleaf.com/projectchange the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8, 37-44.

- [7] Guzmán Soria, E., De la Garza Carranza, M. T., & Atlatenco, Q. (2024). *La industria manufacturera en México: Un análisis de su productividad y eficiencia, 1993-2020*. *Economía, Sociedad y Territorio*, 24(74), 1-21. <https://doi.org/10.22136/est20241927>
- [8] Miño Cascante, G., Moyano Alulema, J., & Santillán Mariño, C. (2019). *Tiempos estándar para balanceo de línea en área soldadura del automóvil modelo cuatro*. *Ingeniería Industrial*, 40(2), 111-122. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/3604/360459575002/360459575002.pdf>
- [9] Escobar, C. A., Cantoral-Ceballos, J. A., & Morales-Menendez, R. (2025). Quality 4.0: Learning quality control, the evolution of SQC/SPC. *Quality Engineering*, 37(1), 92-117.
- [10] Papavasileiou, A., Michalos, G., & Makris, S. (2025). Quality control in manufacturing—review and challenges on robotic applications. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 38(1), 79-115.
- [11] Os, W. V. (2023). Strategies for quality assessment: the human factor. *Revista Española de Pedagogía*, 48(186), 5.
- [12] Tamhane, A. C. (2009). *Statistical analysis of designed experiments: theory and applications* (Vol. 609). John Wiley & Sons.
- [13] Rajewski, J., & Dobrzyńska-Inger, A. (2021). Application of response surface methodology (RSM) for the optimization of chromium (III) synergistic extraction by supported liquid membrane. *Membranes*, 11(11), 854.
- [14] Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- [15] Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*. Asian Productivity Organization. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/10851013.pdf>
- [16] Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2021). Revisiting Ishikawa's original seven basic tools of quality control: a global study and some new insights. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(11), 4005-4020.