

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/372960259>

6 Sigma y Método DMAIC: Enseñanza Básica de las Herramientas y Aplicación para Alumnos de Nivel Superior

Chapter · June 2023

CITATIONS

0

READS

757

3 authors:



[Manuel Baro](#)

Instituto Tecnológico Superior de Nuevo Casas Grandes

38 PUBLICATIONS 65 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Aida-Yarira Reyes](#)

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

145 PUBLICATIONS 62 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Diego Adiel Sandoval-Chávez](#)

Tecnologico Nacional de Mexico/IT de Ciudad Juárez

111 PUBLICATIONS 128 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

SOLUCIONES MULTIDISCIPLINARIAS PARA EL DESARROLLO REGIONAL DEL NOROESTE DE CHIHUAHUA

Coordinadoras
Aida Yarira Reyes Escalante
Margarita Sayuri Sáenz Rodríguez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CIUDAD JUÁREZ

SOLUCIONES MULTIDISCIPLINARIAS
PARA EL DESARROLLO REGIONAL DEL NOROESTE
DE CHIHUAHUA



SOLUCIONES MULTIDISCIPLINARIAS PARA EL DESARROLLO REGIONAL DEL NOROESTE DE CHIHUAHUA

Coordinadoras
Aida Yarira Reyes Escalante
Margarita Sayuri Sáenz

Nuevo Casas Grandes, Chihuahua, 2023



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

***Soluciones multidisciplinarias para el desarrollo regional
del noroeste de Chihuahua***

Primera edición: junio de 2023

Ciudad de México, México

D.R. © 2023 Ediciones del Lirio, SA de CV
Azucenas 10, Col. San Juan Xalpa, Del. Iztapalapa,
C.P. 09850, Ciudad de México
www.edicionesdellirio.com.mx

ISBN Ediciones del Lirio: **978-607-8930-05-0**

ISBN EPUB: **978-607-8930-08-1**

Diseño de la cubierta: **Oliver Rosales**

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía, el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la autorización por escrito de los editores.
Impreso en México / *Printed in Mexico*

CONTENIDO

PRÓLOGO	7
INTRODUCCIÓN	9

SECCIÓN 1: DESARROLLO SOCIAL

ANÁLISIS DE LA ADAPTACIÓN DEL ADULTO MAYOR A LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA	13
Lilia Margarita Mena Castillo, Luis Alberto Grijalva Romero, Aida Yarira Reyes Escalante, Víctor Mauricio Estrada Ruiz	
IMPACTO DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL DE CERÁMICAS DE MATA ORTIZ	46
Aida Yarira Reyes Escalante, Carmen Lorena Posada Martínez, Edith Vera Bustillos, Víctor Mauricio Estrada Ruiz	
LOS QUESOS TRADICIONALES Y GENUINOS DESDE EL NOROESTE DE CHIHUAHUA: LA APORTACIÓN A LA GASTRONOMÍA MEXICANA	69
Elizabeth Bautista Flores, Javier Hernández Santiago, Ricardo López Salazar	
VALIDEZ DE CONTENIDO POR EXPERTOS. UNA VISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EN EL ÁREA DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES.	87
Paulina Calderón Márquez	

SECCIÓN 2: DESARROLLO SUSTENTABLE

EL IMPACTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA HUELLA DE CARBONO DE LAS VIVIENDAS DE LA REGIÓN NOROESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.	105
Félix Arnoldo Durán NúñezI, Aida Yarira Reyes Escalante, Germán Espino Olivas	
INVENTARIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL NOROESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.	136
José Ángel Pendones Fernández, Aida Yarira Reyes Escalante, Yolanda Flores Ramírez	
ESTRATEGIAS PEDAGÓGICAS PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL Y LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN EL NOROESTE DE CHIHUAHUA	169
Luz Laiza Elizabeth Zavala Jiménez, Mayte Arámbula Magallanes, Mayra Pérez Aguirre, Daniel Gerardo Bencomo Trejo	

SECCIÓN 3: DESARROLLO TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL

6 SIGMA Y MÉTODO DMAIC: ENSEÑANZA BÁSICA DE LAS HERRAMIENTAS Y APLICACIÓN PARA ALUMNOS DE NIVEL SUPERIOR	193
Manuel Baro-Tijerina, Aida Yarira Reyes-Escalante, Diego Adiel Sandoval Chávez	

APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL EN LA FORMACIÓN CULTURAL E HISTÓRICA EN EL MUSEO DE LAS CULTURAS DEL NORTE.	235
Isaac Neftali Molina Cepeda, Marlene Luna García, Luis Raúl Robles Ramos, Margarita Sayuri Sáenz Rodríguez	

METODOLOGÍA DE CLASIFICACIÓN DE SEÑALES SEMG BASADA EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA PERSONAS CON DIFERENTE GRADO DE PARÁLISIS CEREBRAL	257
Daniel Tena Frutos, Manuel de Jesús Nandayapa Alfaro, Mayte Arámbula Magallanes, Luz Laiza Elizabeth Zavala Jiménez	

SECCIÓN 4: DESARROLLO EMPRESARIAL

REDISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN MEDIANTE EL QFD EN ÁREA DE INVENTARIOS CASO DE MIPYME FERRETERA	279
Yolanda Flores Ramírez, Aida Yarira Reyes, Germán Espino, José Ángel Pendones Fernández	

MOTIVACIÓN Y HOME OFFICE: ESTUDIO FENOMENOLÓGICO DE LAS ESTRATEGIAS EMPRESARIALES EN CIUDAD JUÁREZ, MÉXICO	304
Fany Thelma Solís Rodríguez, Jesús Alberto Urrutia de la Garza, Rita Ileana Olivas Lara	

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL EMPRENDIMIENTO SOCIAL, MEDIANTE EL ANÁLISIS FACTORIAL Y DE CLÚSTER	319
Virginia Ibarvo Urista, Alberto Escobedo Portillo Mirna Portillo Prieto	

FACTORES DE RESILIENCIA EMPRESARIAL Y LAS ESTRATEGIAS ANTE EL EVENTO DISRUPTIVO DE LA COVID-19, CASO FLORISTERÍA	344
Mayra Pérez Aguirre, Luz Laiza Elizabeth Zavala Jiménez, Martín González Moncada	

REVISIÓN DEL BRANDING PERSONAL PARA LAS ORGANIZACIONES.	376
Patricia Ramos Rubio, Néstor Daniel Medina Varela, Josefa Melgar Bayardo	

SECCIÓN 3:
DESARROLLO TECNOLÓGICO
E INDUSTRIAL

6 SIGMA Y MÉTODO DMAIC: ENSEÑANZA BÁSICA DE LAS HERRAMIENTAS Y APLICACIÓN PARA ALUMNOS DE NIVEL SUPERIOR

Manuel Baro-Tijerina

Tecnológico Nacional de México

Campus Nuevo Casas Grandes

mbaro@itsncg.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1665-8379>

Aida Yarira Reyes-Escalante

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,

aida.reyes@uacj.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0104-9522>

Diego Adiel Sandoval Chávez

Tecnológico Nacional de México Campus

de Ciudad Juárez, México

dsandoval@itcj.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2536-1844>

Resumen

La metodología 6 Sigma se usa ampliamente en diferentes tipos de industrias, desde las industrias tipo maquiladora hasta industrias de servicios. El objetivo de la metodología se basa en la reducción de la variabilidad en el sistema de producción, es decir, lograr que la desviación estándar este el número mayor de veces posibles dentro de la media del proceso que se mide. De esta forma surge el nombre de porqué 6 sigmas que busca que dentro del valor medio del proceso la razón de esta y la desviación sea de 6 veces o bien puede interpretarse de otras formas como: tener un índice de capacidad de 2 o bien un numero de partes por millón de 3.4, esto es, una eficiencia de 99.99997 del proceso de producción o de la variación que se esté controlando. Por otra parte, 6 Sigma trabaja con proyectos llamados DMAIC para la reducción de problemas a los cuales se les cataloga como críticos de calidad, críticos de transporte o críticos de costo. Un proyecto DMAIC, significa, Definir, Medir, Analizar, Implementar mejoras y Controlar. Con esta metodología DMAIC se busca la reducción de la variación que surge por los tipos de problemas que se mencionaron dentro de la metodología 6 Sigma. De esta forma, en cada fase del proyecto o proceso DMAIC se utilizan diferentes tipos de herramientas de calidad que sirven para

obtener el objetivo de cada etapa. Entonces, el objetivo de esta investigación es la presentación de las herramientas más efectivas de la metodología y el cómo se pueden aplicar en cualquier tipo de problema para aumentar la eficiencia y productividad, de una manera sencilla y de forma que los alumnos de educación superior puedan comenzar a implementarlo en cualquier proyecto sin importar la carrera que cursen.

Palabras clave: Calidad, 6 Sigma, DMAIC, FMEA, SIPOC, VOC, variación.

1. Introducción

6 sigma surge de la estadística, definiéndose como la desviación estándar de los datos respecto a los valores de la media y como a menor variabilidad (Navarro Albert et al., 2017), mejor será la calidad de los productos que se fabrique. Cuando se trabaja a un nivel de seis sigma el grado de eficiencia tomado en partes por millón es del 99.99997% de eficiencia, esto es, tan solo se puede o se espera producir 3.4 o 4 partes de defectos por cada millón de partes producidas (Herrera Acosta & Fontalvo Herrera, 2006). Sin embargo, es conocido, mediante el análisis de diferentes procesos que todo proceso incluso si se trabaja a un nivel de seis sigmas tendrá una variación inherente de 1.5 sigma a través del tiempo, esto se debe a los tipos de ruido existentes en todo sistema de producción, es decir, ruido interno, ruido entre partes y ruido externo (Montgomery & Woodall, 2008). De esta forma, puede tratarse a las seis desviaciones estándar de la metodología como un referente el cual no es posible alcanzar, pero si tenerlo como un tipo de filosofía de mejora (Giménez, 2005). Por lo tanto, seis sigma va más allá de la utilización de estadísticas en el control de procesos y mejora de los mismos, la metodología seis sigma se basa en un conjunto de fases llamadas proceso DMAIC, esto es, definir, medir, analizar, implementar y controlar (Ocampo & Pavón, 2012). Con el uso de estas fases la implementación de proyectos seis sigma es posible ya que permiten el análisis de los críticos que se dividen en críticos de calidad (Nonthaleerak & Hendry, 2006). Críticos de transporte y críticos de costo, dentro de estos es posible medir las variables que presentan alguna problemática e identificar por qué está sucediendo esta falla, todo con el objetivo de mejorar el proceso como se ha mencionado de bienes y servicios (Curristine et al., 2007).

Dentro de cada fase que se utiliza en la implementación de proyectos seis sigma, existe una gran cantidad de herramientas de calidad e identificación que se pueden usar para determinar cuál es primero la variable o variables que se

desean controlas y tras un conjunto de análisis (The Council for Six Sigma Certification, 2018). Se determina cual es la causa raíz de estas variables que fallan y es posible implementar una mejora en el comportamiento de la variable o bien una reducción en lo mayor posible de los defectos que conlleva la variable que se esté analizando (Salkind, 2013). Estas herramientas pueden dividirse por cada etapa del proceso DMAIC para una mejor comprensión y su adecuada implementación, por ejemplo, la voz del cliente, los diagramas de mapeo de proceso, el diseño de experimentos, los diagramas causa raíz, entre otros (Uluskan, 2019).

Este manuscrito presenta las fases del proceso DMAIC y su adecuada implementación para la reducción de las variables críticas, mediante el uso de las herramientas de calidad que se definen en cada parte del proceso seis sigma (Rahman et al., 2017). De forma, que la implementación y tipos de herramientas que se pueden emplear en la aplicación de la metodología seis sigma se presenten de forma sencilla y fácil de comprender para que la utilización de este método pueda resultar eficiente (David Meza & Ki-Young Jeong, 2013).

2. Proceso DMAIC

El proceso que utiliza la metodología seis sigma para la reducción de los desperdicios, o bien la eliminación de problemas en variables de tipo crítico, es el proceso DMAIC, que es definir, medir, analizar, implementar y controlar (Rodríguez et al., 2022). Este proceso consiste en identificar la o las variables de tipo crítico en referencia a la calidad y hacen que el producto, proceso o servicio, no cumpla con los requerimientos de los clientes (Marques & Requeijo, 2009). En cada fase de este proceso se utilizan diferentes herramientas de calidad que incluso se catalogan por cada misma fase para garantizar el cumplimiento de los objetivos establecidos, esto es, disminuir lo mayor posible la variable crítica seleccionada (tabla 1) (Garza et al., 2016).

Tabla 1. Etapas de la metodología DMAIC



Fuente: Elaboración propia.

3. Etapa Definir del ciclo DMAIC

En la etapa definir, el objetivo es conocer de todos los posibles problemas o variables que afectan el producto o proceso y catalogarlos; para lograrlo, se emplean herramientas como el diagrama SIPOC, la voz del cliente, el mapeo de proceso, el mapeo de la cadena de suministro, entre otros (Morales, 2007).

Además, en esta etapa se define una vez que se tienen las variables seleccionadas, que serían las metas a alcanzar mediante la aplicación de la metodología seis sigma y el proceso DMAIC (Simion, 2021). Debido a que, una vez conocido cuál es el crítico de calidad o qué afecta la calidad, es posible determinar en cifras más congruentes qué es lo que se va a conseguir después de la implementación del proyecto (Plan & Plan, 2016). Estos objetivos, además de la reducción de las variables mencionadas, casi siempre se hacen en función de los ahorros que se esperan obtener con la reducción de los problemas significativos que se tienen (Mantilla Celis & Sánchez García, 2012). Las herramientas utilizadas en la etapa definir se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Herramienta de Calidad Etapa Definir

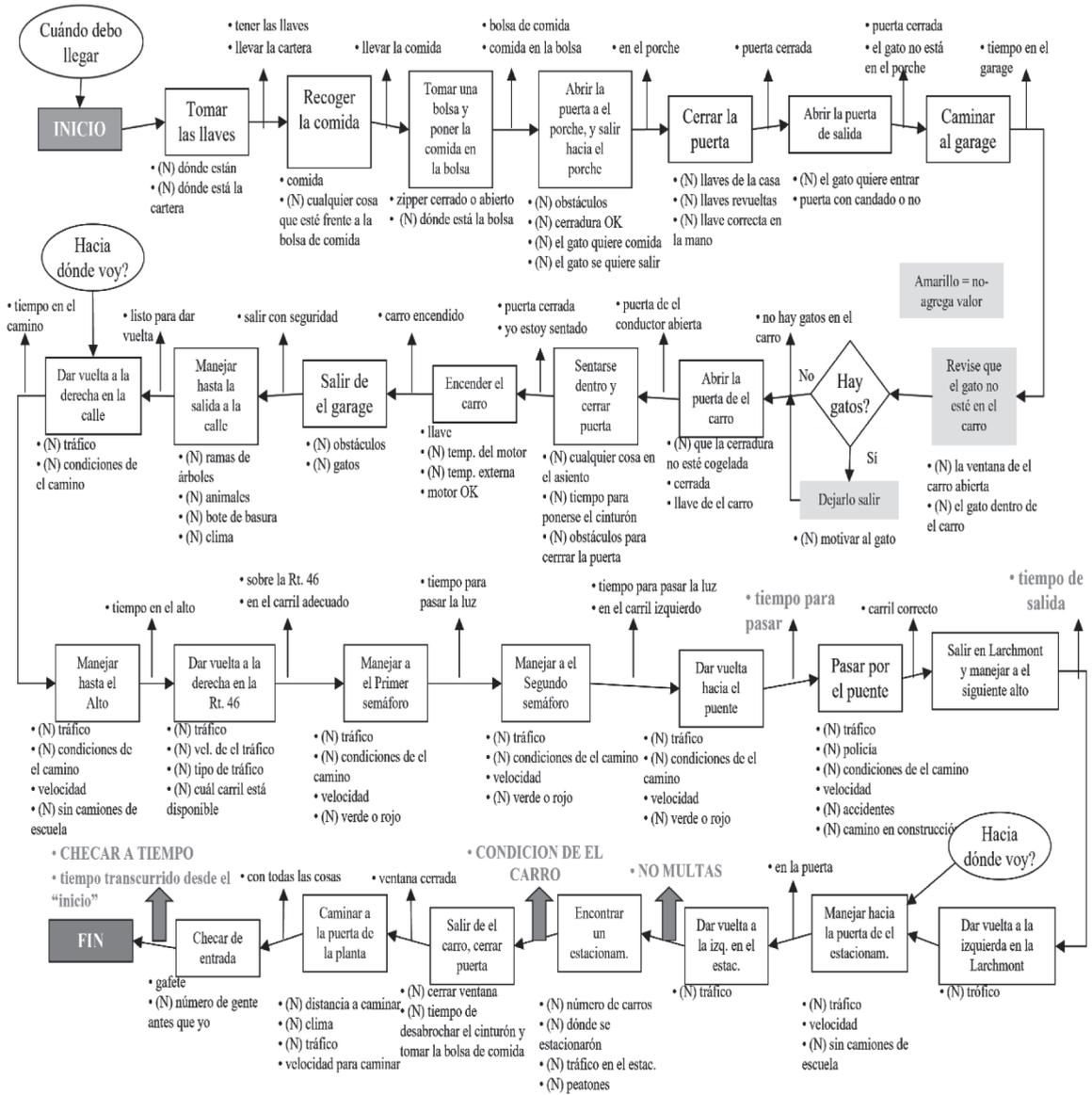
<p>Mapa de Proceso</p> <p>Despliegue de la Función de Calidad (QFD)</p> <p>Modelo Kano</p> <p>Diagrama Matricial</p> <p>Benchmarking</p> <p>SIPOC</p>

Fuente: Elaboración propia.

a. Mapeo del proceso

El mapeo de proceso es una ilustración gráfica de sus etapas, las cuales no identifican la dinámica de un proceso puesto que son estáticas (Monika & Jan, 2013). Además, el mapeo de procesos es de tipo cualitativo y existen diferentes usos para esta herramienta (Navarro Albert et al., 2017). El mapeo de procesos proporciona una visión general de todos los procesos, de modo que el funcionamiento básico de una empresa puede observarse en éstos, sin tener que entrar en detalles técnicos tan profundos, lo que permite una generalización de la elaboración del producto o prestación del servicio (Simion, 2021). El mapa de procesos se centra en representar clasificaciones, relaciones y dependencias entre procesos singulares (Poels et al., 2020). Estos aspectos generalmente se muestran como una representación visual que sirve como medio de comunicación básica y para una mayor comprensión de los procesos comerciales actuales (Price Waterhouse Coopers, 2017).

Figura 1. Mapa de proceso



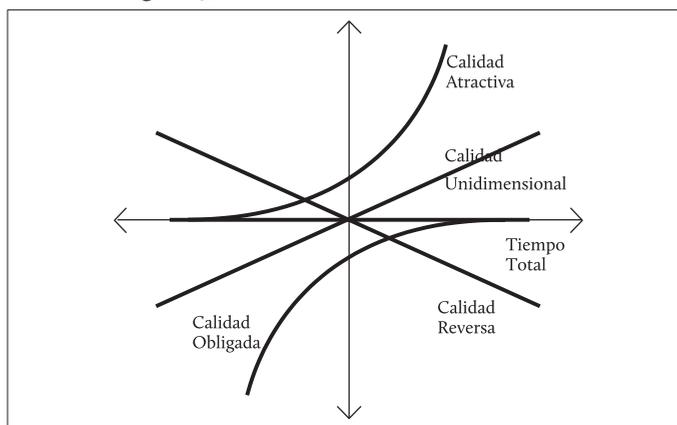
Fuente: Elaboración propia.

La función de despliegue de la calidad consiste en que la empresa pueda ver la perspectiva de los clientes convirtiéndolos en un valor que el cliente espera cuando adquiere el producto (Olaya-Escobar et al., 2005). De esta forma, el despliegue de la función de calidad es una forma de aseguramiento de la calidad (Paz & Daniel, 2012).

c. Modelo Kano

El modelo Kano es una herramienta de gestión de calidad que ayuda en el desarrollo y análisis de productos y servicios (Nurjannah et al., 2020). Este método clasifica los requerimientos de los clientes en categorías obligatorias, unidimensionales y atractivas (Hammad et al., 2017). Se considera un requerimiento como obligatorio si la ausencia del mismo provoca la no satisfacción del cliente; unidimensional si con esta característica se incrementa la conformidad del cliente de manera lineal con la funcionalidad del producto o servicio, y de tipo atractivo si los clientes valoran este atributo si está presente, pero no denota diferencia en su ausencia (figura 3) (Horton & Goers, 2019).

Figura 3. Dimensiones del Modelo Kano



Fuente: Elaboración propia.

En el modelo Kano, de acuerdo con las dimensiones especificadas, se realiza una matriz de correlación de las variables o requerimiento de tipo atributos de los clientes (Mkpojiog & Hashim, 2016). De esta forma, es posible determinar

cuáles variables son prioridad u obligatorias, cuáles de tipo atractivo, unidimensional y las variables no necesarias (Rallage & Dharmarathne, 2018).

Tabla 3. Matriz del Método Kano

		REQUERIMIENTOS DISFUNCIONALES				
		Me gustaría	Es fundamental	Indiferente	No me gusta, pero lo acepto	No me gusta y no lo acepto
REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	Me gustaría					
	Es fundamental					
	Indiferente					
	No me gusta, pero lo acepto					
	No me gusta y no lo acepto					

Fuente: Elaboración propia.

d. Diagrama Matricial

Los diagramas matriciales facilitan la identificación de las relaciones de los factores o requerimientos del cliente y se pueden clasificar como problemas, causas y procesos. Los símbolos que se utilizan y la matriz se muestran en la tabla 4 (Kent, 2016).

Tabla 4. Diagrama Matricial

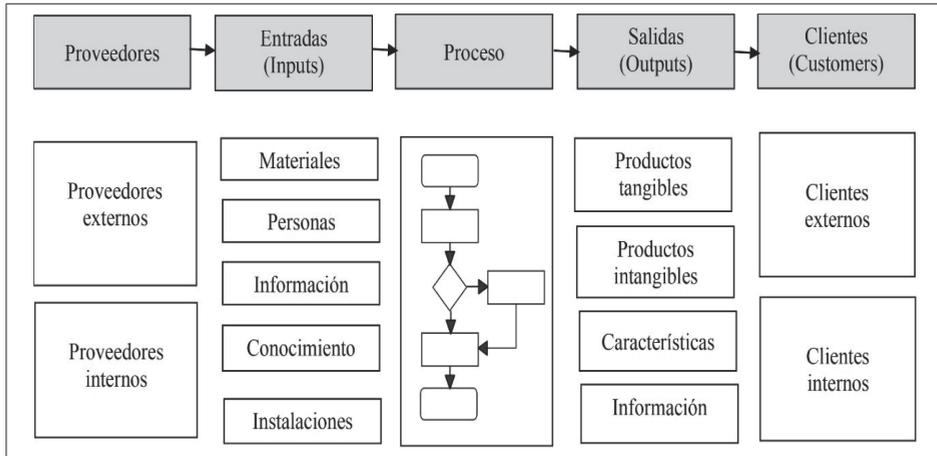
Acciones Metas	Mejorar el entorno de trabajo	Mejorar el entorno de trabajo	Desarrollar nuevos productos
Efectividad en el costo	●	○	
Alta calidad	●	●	
Valor para el accionista		△	●

Fuente: Elaboración propia.

e. Diagrama SIPOC

El significado de las siglas SIPOC es Supplier, Inputs, Process, Puts y Customers, por las letras en inglés (González & Escobar, 2021). Esta tabla es una representación gráfica de un proceso en el que se integra cuáles son los proveedores tanto internos como externos, las entradas de cada proveedor, el diagrama de flujo del proceso, las salidas de ese proceso y por ultimo los clientes de esas salidas de igual forma internos y externos (Marques & Requeijo, 2009). El objetivo de este método es la mejora de procesos con base en la representación esquemática de los elementos clave del proceso (Mishra & Sharma, 2014). El método SIPOC se usa para analizar de manera amplia el proceso, analizando a su vez los clientes y lo que éstos esperan como salida de dicho proceso (Dean, 2016). A continuación, se presenta un ejemplo de un diagrama SIPOC.

Tabla 5. Diagrama SIPOC



Fuente: Elaboración propia.

4. Etapa Medir del ciclo DMAIC

La fase medir utiliza los críticos de calidad identificados en la etapa de definir, es decir, las variables que se consideran significativas en la generación de problemas dentro del proceso (Rahman et al., 2017). Como es bien conocido, en todo proceso existe variación, y de esta etapa el objetivo es identificar esta variación (Rodríguez et al., 2022). Para esta etapa es de suma importancia conocer qué se desea medir y cómo se puede medir (Hambleton, 2007). Para la selección y medición de las variables críticas, se utilizan diferentes tipos de herramientas que ayudarán a conocer la variación y el nivel de significancia de las variables seleccionadas en la fase anterior; en la tabla 6 se muestran las herramientas que pueden utilizarse en la etapa de medición (Radha Krishnan & Prasath, 2013).

Tabla 6. Herramienta de la Etapa de Medición

Indicadores clave de desempeño KPIS
Cp y Cpk
Recolección de Datos
MSE
Prueba de Normalidad
Muestreo
Distribuciones
FMEA

Fuente: Elaboración propia.

a. Índice de Capacidad de Proceso

El Índice de Capacidad de Proceso (ICP) está formulado de manera tal que éste mide las veces que la desviación estándar del proceso está dentro de los límites de especificación del cliente. Por otro lado, cuando se cumple que un proceso es normal y éste se encuentra bajo control estadístico, entonces la característica de calidad a medir de los elementos fabricados, se espera que se encuentre entre 99.73 por ciento. Por tanto, si es menor (o mayor) que el intervalo de las tolerancias a cumplir, se tiene:

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \dots\dots\dots [1]$$

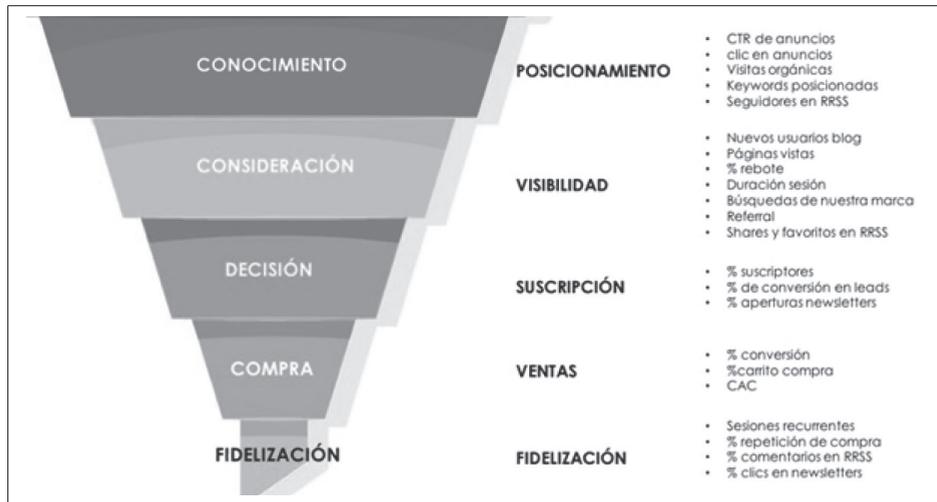
Por otro lado, el índice se conoce como índice de capacidad real del proceso; es considerado una versión corregida del que sí toma en cuenta el centrado del proceso.

b. Indicadores clave de desempeño KPIS

Los indicadores de desempeño KPIS miden las estrategias y las actividades que garanticen el éxito en la implementación de proceso. Estos indicadores reflejan qué tan bien están los indicadores más importantes de una empresa (Klimaitienė & Rudžionienė, 2020). La formulación de estos indicadores requiere un conjunto de pasos necesarios que aseguren la calidad (Ishaq Bhatti & Awan, 2014).

Los pasos para establecer los indicadores de desempeño son: la identificación del proceso, identificar las actividades críticas, establecer las metas de desempeño o estándares, determinar la medición de desempeño, identificar las partes responsables, coleccionar los datos, análisis de los datos y por último identificar las metas de los indicadores de desempeño (figura 4) (Lopata et al., 2022).

Figura 4. Diagrama de Embudo KPIS

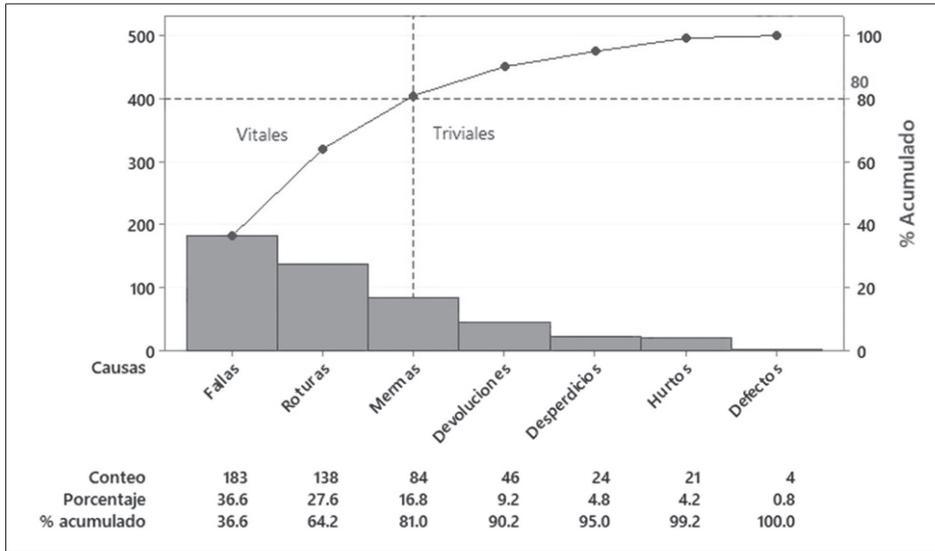


Fuente: Elaboración propia.

c. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una representación gráfica en donde se establecen las posibles variables que representen una problemática para la empresa. Este diagrama también es conocido como diagrama ABC, debido a que da prioridad a las variables que más sean críticas. Este diagrama utiliza la regla 80% / 20%, esto es, que el 80% de los problemas de un proceso se deben al 20% de las variables críticas. Con el uso del diagrama de Pareto es posible determinar a cuáles variables se debe poner atención y determinar sus causas e implementar mejoras en las siguientes etapas del proceso DMAIC (figura 5).

Figura 5. Diagrama de Pareto



Fuente: Elaboración propia.

d. Análisis de Efecto de Modo de Fallo (FMEA)

El AMEF es una herramienta muy poderosa que permite identificar errores en productos y procesos y evaluar objetivamente sus efectos, causas y elementos de detección, para evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención (Jin et al., 2022).

Además, el AMEF es un documento vivo en el que se puede almacenar una gran cantidad de datos sobre nuestros procesos y productos, por lo que constituye una fuente invaluable de información (Domagala, 2022).

Tipos de AMEF:

1. Producto: sirve para detectar posibles errores en el diseño de productos y anticiparse al efecto que puedan tener en el usuario o proceso de fabricación.
2. Proceso: es un análisis de los errores que pueden suceder en cada etapa del proceso y se utiliza para prevenir que esos fallos tengan efectos negativos en el usuario del producto o servicio o en etapas posteriores del proceso.

3. Sistemas: se utiliza en el diseño del software para anticipar errores en su funcionamiento.
4. Varios: existen AMEF para muchos otros tipos de errores que generan efectos negativos y cuyas causas deban documentarse para anticipar problemas (Qiu & Zhang, 2022).

Es importante observar que, cuando se completa el ciclo, con la implementación, documentación y capacitación, se contribuye en la generación de conocimiento de la compañía, y es importante que esta información esté disponible en bases de datos para consultarla posteriormente cuando suceda un problema similar (Nkiruka, 2022).

Tabla 7. Análisis de Efecto de Modo de Fallo (FMEA)

PASO DEL PROCESO	FALLA POTENCIAL	EFECTO DE FALLA	SEVERIDAD	CAUSAS POTENCIALES	OCURENCIA	ACTUALES PROCESOS DE CONTROL	DETECCIÓN	NPR	ACCIÓN RECOMENDADA

Fuente: Elaboración propia.

5. Etapa Analizar del ciclo DMAIC

La etapa de analizar dentro del proceso DMAIC tiene como objeto identificar la fuente del problema que es causado por las variables críticas seleccionadas de la etapa de medición (Mansur dos Reis et al., 2022). Las herramientas que se utilizan en esta etapa pueden variar de acuerdo con el tipo de proyecto que se esté realizando; sin embargo, todos se deben basar en el método científico, es decir, en la recolección de datos y el análisis de los mismos de manera precisa y siguiendo una metodología que permita la correcta interpretación e identificación de la causa raíz (Estanislau et al., 2022). Las herramientas utilizadas en esta etapa se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Herramientas de la Etapa Análisis

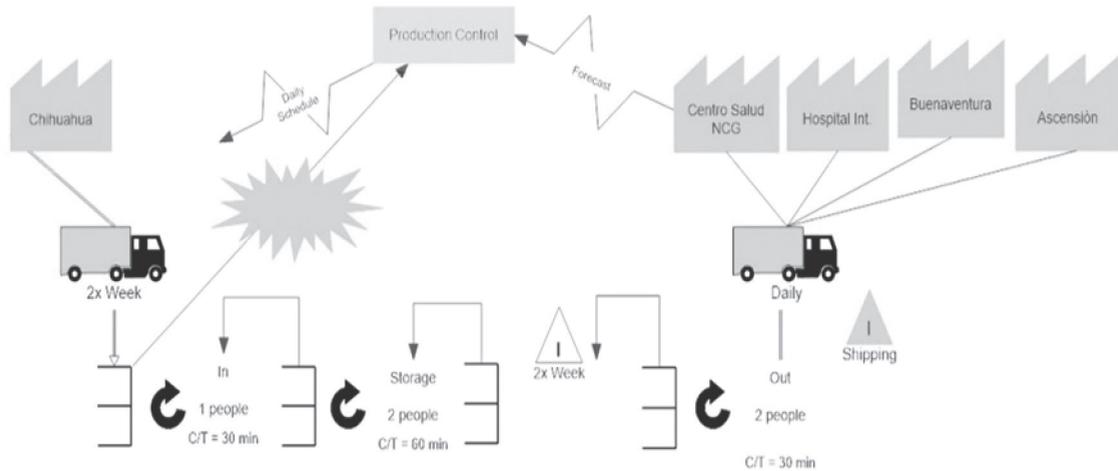
Mapeo de Proceso
AMEF
5 ¿Por qué?
Mapa de Flujo de Valor (VSM)
Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia.

5.1 Mapa de Flujo de Valor (VSM)

El Mapa de Flujo de Valor (VSM, por sus siglas en inglés), es una representación gráfica de la cadena de suministro donde se incluye desde los proveedores, hasta los clientes (Suárez-Barraza et al., 2016). Esta herramienta es una forma eficiente para analizar de manera global lo que ocurre en toda la cadena de valor y determinar cuáles operaciones no agregan valor o tienen un tiempo de espera muy largo (Cabrera Calva, 2017). Después de la identificación por medio del mapa de flujo de valor, las variables críticas de este diagrama pueden jerarquizarse para la reducción o eliminación de éstas (figura 6) (Paredes Rodríguez, 2017). El mapa de flujo de valor es una herramienta que muestra los elementos clave de un sistema de producción basado en los preceptos de la manufactura esbelta e indica cómo interactúa cada uno con los demás (Langstrand, 2016). Al observar cómo se relacionan los flujos de información y materiales, ayuda a visualizar cómo funciona el sistema de producción desde que un cliente inicia un pedido hasta que se entrega (Manjunath et al., 2014). Una característica clave del mapa de flujo de valor es que mapea tanto el flujo del producto o servicio como el flujo de información que desencadena el flujo del producto o servicio (Dinis-Carvalho et al., 2015). Todo esto permite determinar el esquema de salida del proceso más adecuado, el tamaño de lote óptimo, eliminar pasos redundantes y asignar el personal adecuado para llevar a cabo los procesos (B. Singh et al., 2011)2008.

Figura 6. Mapa de Flujo de Valor (vsm)



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Herramienta 5. ¿Por qué?

Los cinco porqués es una herramienta sistemática que permite la identificación de la causa raíz de un problema mediante el análisis de por qué se está presentando éste; además, de acuerdo con la respuesta que se obtenga, se sigue aplicando la misma pregunta hasta llegar a una causa raíz de la variable crítica (Serrat, 2009). Cabe destacar que, aunque la herramienta se llame cinco porqués, no necesariamente se tienen que aplicar solamente cinco veces; el objetivo es encontrar la causa raíz de un problema. Por tanto, el número de porqués que se aplicarán dependerá de si se llega a una causa del problema analizado (Toyota & Semler, 2020). es un método de análisis basado en realizar preguntas para explorar las relaciones de causa-efecto que generan un problema en particular (Serrat, 2017). El objetivo final de los 5 porqués es determinar la causa raíz de un defecto o problema para solucionarlo de forma eficaz (Key, 2019). Esta metodología se basa en un proceso de trazabilidad, donde se hacen preguntas para analizar las posibles causas del problema, caminando hacia atrás, hasta llegar a la última causa que originó el problema (figura 7) (Khan et al., 2019).

Figura 7. Técnica Cinco Porqués

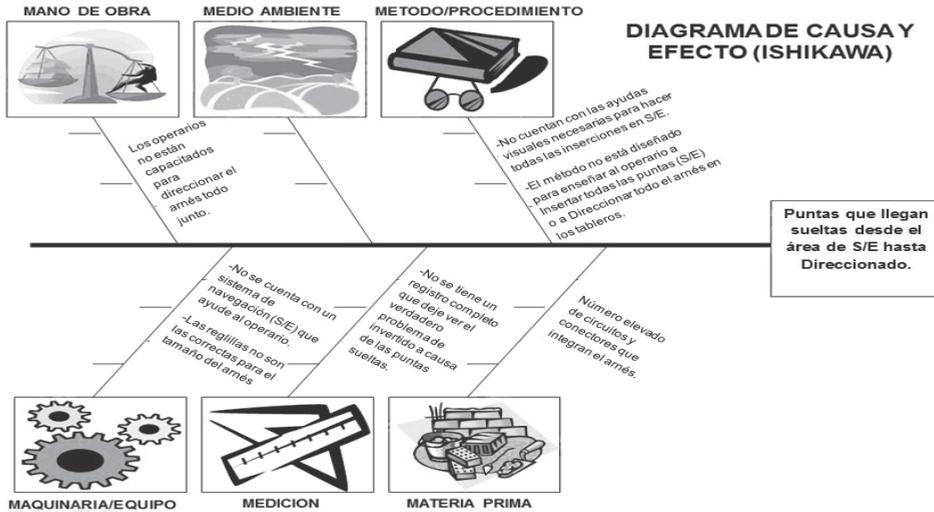
1. ¿Por qué?	a. Sistema de producción
2. ¿Por qué?	a. Análisis de los modelos
3. ¿Por qué?	a. Estudio de capacidad
4. ¿Por qué?	a. Gran cantidad de S/E y Bonder
5. ¿Por qué?	a. No se han podido unir las puntas sueltas

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

El diagrama de causa-efecto, o de Ishikawa, es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan (Gheorghe, 2010). La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas (Mao, 2022). El uso del diagrama de Ishikawa (DI) ayudará a no dar por obvias las causas, sino que se trate de ver el problema desde diferentes perspectivas (Zhao et al., 2019). Existen tres tipos básicos de diagramas de Ishikawa, los cuales dependen de cómo se buscan y se organizan las causas en la gráfica (figura 8) (Liliana, 2016).

Figura 8. Diagrama de Causa-Efecto



Fuente: Elaboración propia.

6. Etapa Implementar del ciclo DMAIC

En la etapa de implementar ya se tienen identificadas las causas del problema desde su raíz, por lo que la solución deberá ser fácil de implementar y la mejora deberá durar por un tiempo prolongado en la empresa (Smętkowska & Mru-galska, 2018). Si se usan variables de tipo continua o se detectaron factores en esta etapa, puede llevarse a cabo un diseño de experimento que permita determinar el mejor arreglo de las variables para la reducción de los problemas que se obtuvieron en la etapa de definir (Akmal et al., 2021).

Otra de las herramientas que son sencillas, pero pueden ayudar de forma significativa, es la lluvia de ideas para la implementación de mejoras (Deng et al., 2016). Esta consiste en la asignación de un grupo de expertos en el área que se desea mejorar, dichas las mejoras se deben implementar de acuerdo con que lo simple es lo mejor y que el costo de implementación se debe considerar de manera que no se infiera en costos tan elevados (Simanova & Gejdoš, 2020). Las herramientas que se pueden utilizar en la etapa de implementar se muestran en la tabla 8, además, las ya mencionadas.

Tabla 9. Herramientas de la Etapa Implementar

Lluvia de Ideas
Criterios de Evaluación
Paired Comparisons
Pugh Matrix
Line Balancing
Single Piece Flow
5 S's
Heijunka

Fuente: Elaboración propia.

a. Lluvia de ideas

Las sesiones de lluvia o tormenta de ideas son una forma de pensamiento creativo encaminada a que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema (Bhargava & Gaur, 2021). Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, ya que permite la reflexión y el diálogo respecto a un problema y en términos de igualdad (Miluska Aylin, 2016). Se recomienda que las sesiones de lluvia de ideas sean un proceso disciplinario a través de los siguientes pasos:

1. Definir con claridad el tema o problema.
2. Nombrar un moderador de la sesión para la coordinación de los participantes.
3. Cada participante debe hacer una lista por escrito de ideas sobre el tema.
4. Los participantes se acomodan de preferencia en forma circular y se turnan para leer una idea de su lista cada vez; se debe pensar en las posibles causas y luego seleccionar la más importante.
5. Leídos todos los puntos, el moderador le pregunta a cada persona, por turnos, si tiene comentarios adicionales, hasta que se agoten las ideas (Sharma et al., 2018).

Figura 9. Mapa Mental Lluvia de Ideas



Fuente: Elaboración propia.

6.2 Criterios de evaluación

Después de la evaluación de los críticos de calidad, un grupo de expertos evalúa el impacto de las mejoras implementadas (Abbes et al., 2018); además, se integra la percepción de los participantes en el proyecto, mediante el uso de un cuestionario que pueda medir de forma cuantitativa la percepción de éstos (Horbach, 2013).

Tabla 10. Ejemplo de Criterios de Evaluación

SOLUCIONES	IMPACTO	ESFUERZO	OBSERVACIONES

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Diseño de Experimentos (DOE)

Es una prueba en que se hacen cambios en las variables independientes, de forma que se puedan observar cambios en las variables dependientes, con el fin de obtener el mejor resultado deseado, es decir, lo mayor es lo mejor, lo menor es lo mejor o lo nominal es lo mejor (Fhionnlaioich et al., 2019). Se puede implementar un diseño de experimentos para superar limitaciones (Elías Heriberto et al., 2015). En esencia, un diseño de experimentos es una planificación estratégica de experimentos y la aplicación de estadísticas (Guti, 2015). Proporciona un marco robusto diseñado para maximizar la cantidad de información obtenida para un número determinado de experimentos (Arnold, 2006). La aplicación de un diseño de experimentos expresa resultados precisos, ya que los promedios se comparan con los promedios, lo que reduce el sesgo debido a la variación aleatoria (Oberleitner et al., 2022). Además, puede detectar y definir interacciones entre condiciones experimentales (Krishnaiah & Shahabudeen, 2012).

Tabla II. Análisis de Varianza

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR p
x	19	541.0	28.48	*	0.005
Error	0	*	*		
Total	19	541.0			

Fuente: Elaboración propia.

7. Etapa Controlar del ciclo DMAIC

La etapa de control consiste en mantener las mejoras implementadas, para lo cual es posible utilizar algunas herramientas que permiten visualizar y de esta forma mantener un control de lo mejorado (Salazar-Rojas & Pérez-Olguín, 2019). Por otra parte, en esta etapa se miden nuevamente las variables que se determinaron como críticas con el objetivo de verificar que las mejoras implementadas realmente disminuyeron el problema que se definió en etapas anteriores (Singh & Khanduja, 2014). Sin un plan de control adecuado, el proceso vuelve al estado anterior (Study et al., 2022). Entonces, esta última fase del ciclo

DMAIC implica la búsqueda de la estandarización de los cambios que tuvieron éxito, así como el desarrollo de un nuevo plan, proceso y su correspondiente documentación (Chaudhary, 2019), con el fin de garantizar la mejora a largo plazo (Santos et al., 2021). Las herramientas de la etapa de control se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Herramientas de la Etapa Controlar

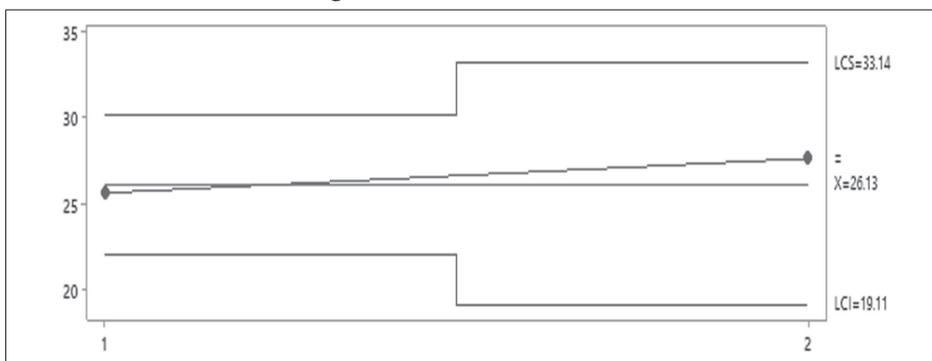
Control Estadístico del Proceso
Manejo visual
Diagrama de Pareto
Planes de Comunicación
Planes de Control
Trabajo Estandarizado
Poka Yokes
Reporte del Proyecto

Fuente: Elaboración propia.

a. Control Estadístico del Proceso

El Control Estadístico del Proceso (SPC) se utiliza para analizar y controlar el proceso. Rendimiento, control proactivo de los procesos, distinguir entre la variación natural y la asignable, identificar y prevenir el proceso de causas especiales e implica el uso de gráficas de control para determinar si un proceso está operando bajo control (Estanislau et al., 2022). La mejor herramienta para investigar la variación en un proceso es un gráfico de control. Un gráfico de control a menudo se llama un diagrama de serie temporal que se utiliza para monitorear un proceso a lo largo del tiempo (Liu et al., 2022). Es un gráfico de una característica del proceso, generalmente a través del tiempo con límites estadísticamente determinados. Cuando se usa para el monitoreo del proceso, ayuda al usuario a determinar el tipo de acción apropiado para llevar a cabo el proceso, dependiendo de un grado de variación en el mismo proceso (Prasetyo et al., 2022).

Figura 10. Gráfico de Control



Fuente: Elaboración propia.

b. Manejo visual

El sistema ANDON es un sistema de tipo alerta que indica cuando existe algún problema en el área de producción por medio de ayudas visuales (Mairena, 2018). Usualmente, este sistema utiliza un método tipo semáforo para indicar cómo está funcionando el área de producción; es decir, cuando la luz está en color verde no existe problema en el área de producción; cuando el semáforo cambia a amarillo indica que se tienen problemas de calidad; sin embargo, no es necesario realizar un paro de línea de producción, y por último el color rojo indica fallo y la interrupción en la producción, por lo cual debe atenderse de manera inmediata (Martínez-Hernández et al., 2020).

Figura 11. Sistema ANDON

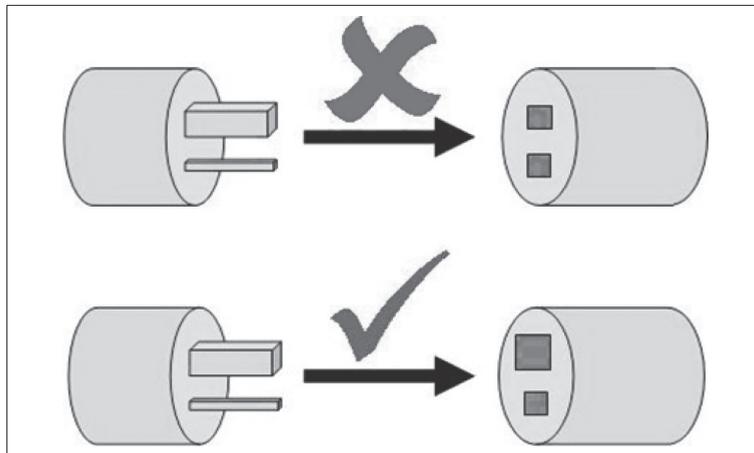
Color	Condición	Acción
Verde	Producción con flujo normal.	Se pasa al siguiente nivel.
Amarillo	Aparición de un problema.	El operador toma las acciones pertinentes para solucionar el problema.
Rojo	Detención de la línea productiva.	El problema no es identificado por lo que se lleva a cabo una investigación mas profunda de las causas.

Fuente: Elaboración propia.

c. Poka Yoke

El sistema Poka Yoke significa a prueba de errores; son dispositivos que se emplean en la producción de elementos que evitan que un error pueda ocurrir, debido a que existe una sola forma de hacer la tarea seleccionada, debido a la implementación de estos dispositivos Poka Yoke (Dewri et al., 2018). El sistema es simple; si no se permiten los errores, la calidad será alta y los desperdicios muy pocos (Torres Jaime et al., 2011).

Figura 12. Poka Yoke



Fuente: Prevencionar, 2022.

8. Implementación de un Proyecto DMAIC

a. Implementación de la Etapa Medición

En esta etapa se mide la cantidad de defectos de la línea de producción mediante índices de capacidad de proceso, debido a que los índices de capacidad del proceso muestran la cantidad que la desviación estándar está dentro de los límites de especificación del cliente, lo que implica una fácil interpretación del número de defectos y su fácil contrastación en la fase de control (Kaya & Kahraman, 2011).

b. Índice de Capacidad de Proceso

El Índice de Capacidad de Proceso está formulado de manera tal que éste mide las veces que la desviación estándar del proceso está dentro de los límites de especificación del cliente. Cuando se cumple que un proceso es normal y éste se encuentra bajo control estadístico, entonces la característica de calidad a medir de los elementos fabricados se espera se encuentre entre 99.73%. Por tanto, sí es menor (o mayor) que el intervalo de las tolerancias a cumplir se tiene:

$$Cp = \frac{Usl - Lsl}{6\sigma} \dots\dots\dots(1)$$

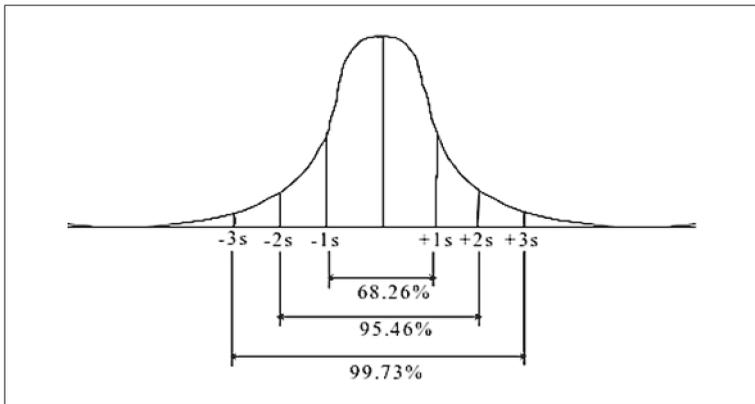
Por otra parte, el índice se conoce como índice de capacidad real de proceso, es considerado una versión corregida del que sí toma en cuenta el centrado del proceso.

Los resultados en la aplicación de los índices de capacidad de proceso en la línea de producción se obtuvo:

CpK: 0.1966(2)
 PPM: 274,900

Por lo cual se concluye que la línea de producción no es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente (ver figura 13).

Figura 13. 6 Sigma



Fuente: Elaboración propia.

9. Resultados

a. Definición

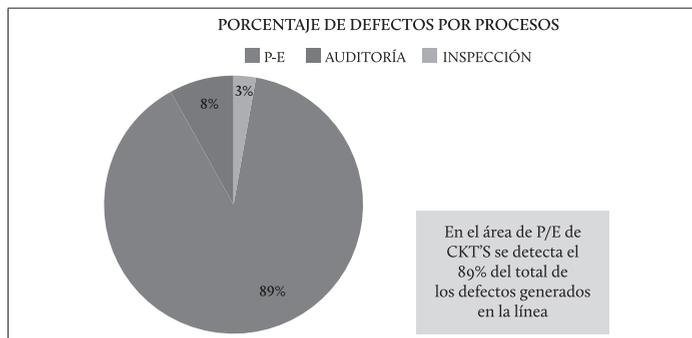
Desde el punto de partida del cliente, se centran cuales van a ser los objetivos de la implementación de 6 Sigma, cuál va ser el impacto en la empresa y quienes van a ostentar las responsabilidades. Se establecerá cual es el propósito de la implementación, cuales son los parámetros de inicio y hasta qué nivel se quiere involucrar al equipo. En esta fase, la dirección revisa una lista de proyectos potenciales 6 Sigma y selecciona los significativos para la optimización a través de la metodología (Chabukswar et al., 2011).

Esta es la etapa más importante en el desarrollo del proyecto ya que de ella depende el enfoque que se dará a lo largo de todo su proceso. Las herramientas para su desarrollo son en su mayoría de tipo cualitativo, por lo que su complejidad radica en el conocimiento del proceso y en el mantener claridad en los objetivos (Yang & El-Haik, 2009).

Esta investigación tiene como objeto el aumento de la eficiencia en la línea de producción 011 de ForkLift que trabaja bajo una amplia gama de modelos, los cuales son clasificados en cinco patrones A, B, C, D y E. En la línea de producción existen actualmente un total de 8 mesas dedicadas al Sub-Ensamble, donde laboran siete personas. Para realizar un análisis de la situación actual y los críticos de calidad se utilizó la herramienta QCD (Quality, Cost & Delivery).

Los defectos son medidos por DPH (Defectos por cada 100 arneses producidos), la meta global es de 1.17 DPH para la línea de producción, la figura 14 muestra la cantidad de defectos en porcentaje obtenido mediante el QCD.

Figura 14. Porcentaje de Defectos por Proceso



Fuente: Elaboración propia.

Como puede ver, el 89% de los defectos de la línea de producción OII de For-kLift es detectado en el proceso de Prueba Eléctrica; ese 89% implica un total de 134 defectos.

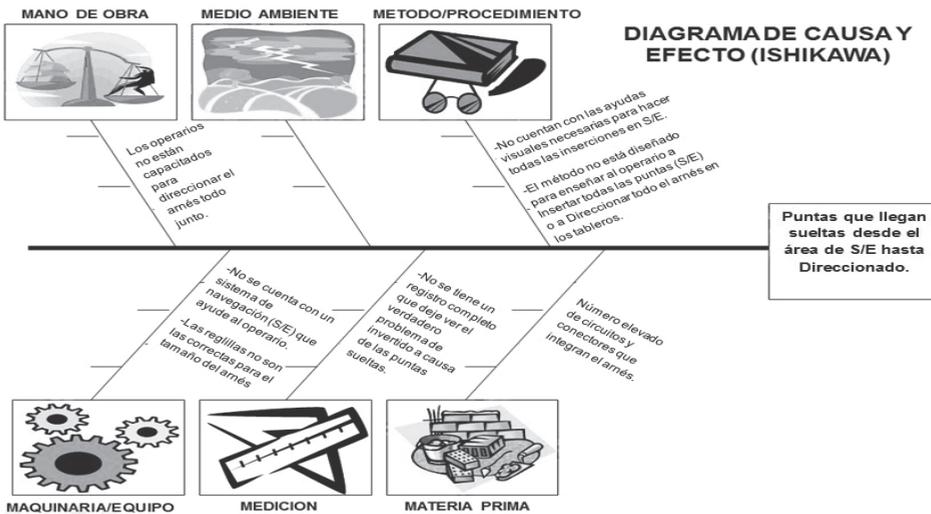
b. Medición

En esta etapa se mide la cantidad de defectos de la línea de producción mediante índices de capacidad de proceso, debido a que los índices de capacidad del proceso muestran la cantidad que la desviación estándar está dentro de los límites de especificación del cliente, lo que implica una fácil interpretación del número de defectos y su fácil contrastación en la fase de control (Kaya & Kahraman, 2011).

c. Análisis

Obtenido el nivel de sigmas de la línea de producción, se lleva a cabo un diagrama de Ishikawa para identificar la causa raíz. Los resultados en la prueba piloto se consideran para solución del problema (figura 15).

Figura 15. Diagrama Causa-Efecto en línea de producción



Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo que el método no era el correcto, debido a que la secuencia en la reglilla hace que los cables se tuerzan; en cuanto a la mano de obra, por falta de capacitación no se obtienen resultados óptimos, puesto que el método es nuevo, y para la línea de Sub-Ensamble es desconocido; esto conlleva tiempo diferente del estándar y errores por parte de los trabajadores.

Generación de los 5 Porqués

A partir del diagrama de Ishikawa se aplican los 5 porqués, la cual es una técnica que ayuda a identificar las causas principales más probables de un problema. A continuación, se muestra el desarrollo de la técnica en algunos problemas encontrados:

Figura 16. Análisis de los 5 Porqué

1) ¿Por qué?	a. Sistema de producción
2) ¿Por qué?	a. Análisis de los modelos
3) ¿Por qué?	a. Estudio de capacidad
4) ¿Por qué?	a. Gran cantidad de S/E y Bonder
5) ¿Por qué?	a. No se han podido unir las puntas sueltas

Fuente: Elaboración propia.

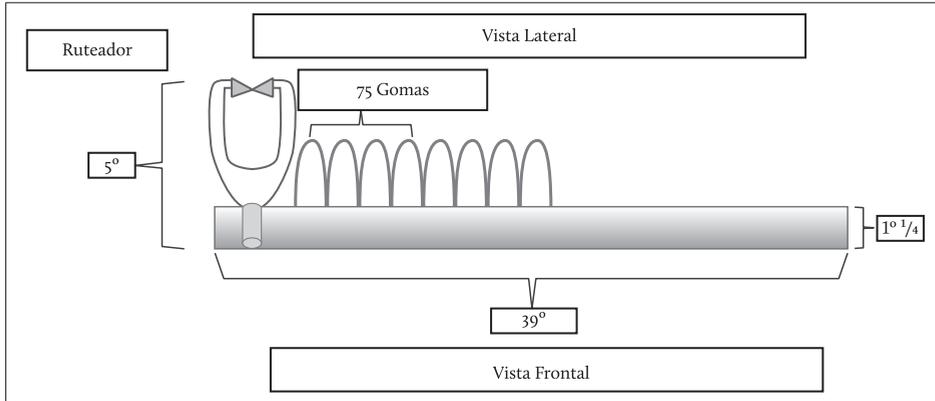
Como se observa mediante el diagrama de causa raíz y 5 porqués, la causa principal en la cantidad de defectos producidos en la línea de ensamble se debe al método ineficiente.

d. Mejora

En la etapa de análisis se determinó que la causa raíz de la cantidad de defectos y el nivel bajo se debe al método implementado en la línea de ensamble; debido a esto, se realiza un diseño de reglilla capaz de cumplir con las especificaciones del arnés, cuidando que los componentes no se dañaran y que para los operadores fuera fácil de manejar (figura 7). En seguida, se presenta el diseño aproba-

do por el departamento de producción cumpliendo con los requerimientos de diseño y funcionalidad:

Figura 17. Diseño de la Reglilla Etapa de Mejora



Fuente: Elaboración propia.

Una vez diseñada la reglilla, se puso en funcionamiento en el proceso de sub-ensamble para la reducción de las puntas sueltas que llegaba al área de direccionado, con lo cual se redujo de forma significativa la cantidad de defectos producidos y el tiempo invertido en el área de producción.

e. Control

En esta última etapa se realizó una muestra de tiempos en el área de direccionado, con el fin de observar el comportamiento que tenía la implementación de la mejora en la línea de producción.

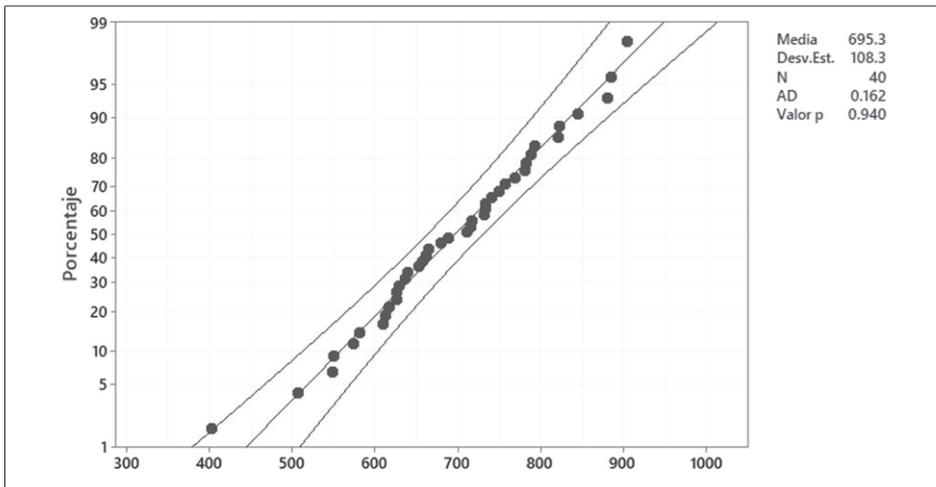
A continuación se presenta el análisis de diferencia de medias a un nivel de confianza, realizado con Minitab 19, obtenido a partir de una muestra de 40 tiempos tomados en el proceso de direccionado con el fin de verificar la mejora de los tiempos que se obtenían (tabla 12 y Figura 18):

Tabla 12. Prueba de Diferencia de Medias

N	MEDIA	DESV.EST.	ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA	IC DE 95% PARA μ
40	695.3	108.3	17.1	(660.7, 730.0)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Tiempo mejorado, valor probabilístico



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 19, los datos de los tiempos tomados muestran una distribución normal; los datos se encuentran en los límites de tolerancia. Por otra parte, el tiempo fue mejorado en un 37% con lo cual se asegura que con la implementación de la mejora y con la capacitación adecuada el personal podrá ir mejorando los tiempos ya expuestos.

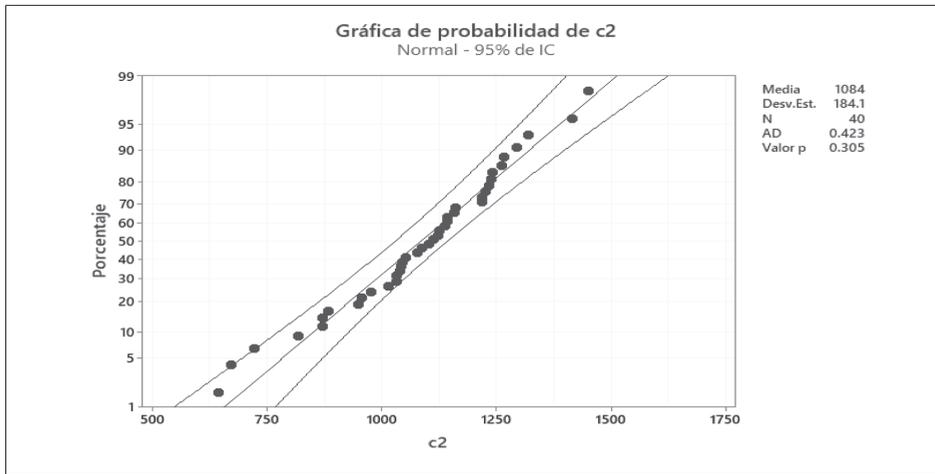
Con el fin de hacer un contraste, se muestra el análisis de datos con tiempos reales. A continuación, se presenta el caso de los tiempos tomados en el proceso normal que se tenía implementado (tabla 13):

Tabla 13. Tiempo inicial valor probabilístico

N	MEDIA	DES.V.EST.	ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA	IC DE 95% PARA μ
40	1084.1	184.1	29.1	(1025.3, 1143.0)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Tiempo inicial valor probabilístico



Fuente: Elaboración propia.

En contraste, se puede observar (figura 19) que los datos son inconstantes, lo que deja ver claros atrasos en la línea de producción ocasionando defectos debido a la variación presentada. Además, obsérvese que la media del tiempo es mayor que la media del tiempo de la mejora, dejando claro que el tiempo medio de la mejora planteada aumenta la eficiencia en el procesamiento. Por otro lado, se tiene una desviación estándar más alta en la toma de tiempos reales, en comparación a la desviación que se obtuvo en la muestra de la mejora implementada; esto implica que la variación en el proceso de arneses disminuye con la implementación de la mejora.

10. Conclusiones

La metodología 6 Sigma busca la disminución de la variación por medio de los niveles de desviaciones estándar de los procesos, a mayor número de desviaciones mayor será el nivel de calidad. A su vez, es posible usar los índices de capacidad y para determinar el nivel de sigmas de un proceso. El objetivo de la metodología desde un punto de vista teórico es alcanzar las seis desviaciones estándar en un proceso de producción, aunque esto pareciera que incrementaría la variación si se observa como niveles de capacidad de proceso el nivel de 6 sigma significa que se producirán únicamente 3.4 piezas por millón de defectos, es decir, la variación será muy poca y por lo tanto, los errores de igual forma serán muy pocos. Por otra parte, dentro del método 6 sigma en la implementación de proyectos se usa la metodología DMAIC, que significa definir, medir, analizar, implementar y controlar. En cada etapa del proceso DMAIC existen herramientas de calidad que permiten la obtención exitosa de la etapa en la que se encuentra el proyecto. Incluso algunas herramientas son posible se repitan de una etapa a otra lo por ejemplo en la etapa de medición las herramientas de calidad buscan determinar los críticos de calidad para disminuirlos o bien erradicarlos y al mismo tiempo en la etapa de control e implementación se pueden utilizar estas mismas herramientas para estimar si las mejoras que se implementaron en el proyecto 6 sigma funcionaron de forma adecuada. En esta investigación se presentaron las herramientas que más se utilizan en la metodología DMAIC y una forma sencilla de comprender y usar estas herramientas. Al igual se describió cada etapa de la metodología buscando que de la manera más sencilla pueda utilizarse por practicantes del método 6 Sigma en la implementación de proyectos y reducción de los críticos de calidad, de diferentes tipos de empresas.

Mediante la metodología 6 Sigma fue posible aumentar la eficiencia de la línea de producción y a su vez reducir las horas hombre requeridas. Teniendo un impacto favorable para la empresa donde se realizó esta investigación. Es importante señalar que las causas que afectaban directamente la eficiencia de la línea de producción, así como la inversión en horas hombre para producir, era la cantidad de personal que estaban asignados en una de las áreas que no agregaban valor al producto, una vez identificada la causa se logró satisfactoriamente la disminución del número de operadores. Por otro lado, mediante el análisis estadístico de los datos se confirma la mejora implementada y la eficiencia de la metodología.

Referencias

- Abbes, N., Sejri, N., Chaabouni, Y., & Cheikhrouhou, M. (2018). Application of Six Sigma in Clothing SMES: A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 460(1). <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/460/1/012009>>.
- Akmal, A. K., Irawan, R., Hadi, K., Irawan, H. T., Pamungkas, I., & Kasmawati (2021). Pengendalian Kualitas Produk Paving Block untuk Meminimalkan Cacat Menggunakan Six Sigma pada UD. Meurah Mulia. *Journal Optimalisasi*, 7(2), 236-248.
- Arnold, S. F. (2006). Design of Experiments with MINITAB. In *The American Statistician* (vol. 60, Issue 2). <<https://doi.org/10.1198/tas.2006.s46>>.
- Basri, W. (2015). House of Quality as a Quality Tool in Higher Education Management. *Journal of Culture, Society and Development*, 10(January 2015), 4.
- Bhargava, M., & Gaur, S. (2021). Process Improvement Using Six-Sigma (DMAIC Process) in Bearing Manufacturing Industry: A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1017(1). <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1017/1/012034>>.
- Cabrera Calva, R. C. (2015). VSM, Value Stream Mapping. *Lean Solutions*, 1-37. <https://eddymercado.files.wordpress.com/2013/05/analisis-del-mapeo-de-lacadena-de-valor.pdf> <<http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>>
- Nadia Gheorghe, I. C. (2010). Application of Fishbone Diagram to Determine the Risk of an Event with Multiple Causes. *Management Research and Practice*, May.
- Chabukswar, A., Jagdale, S., Kuchekar, B., Joshi, V., Deshmukh, G., Kothawade, H., Kuckekar, A., & Lokhande, P. (2011). Six sigma: Process of Understanding the Control and Capability of ranitidine Hydrochloride Tablet. *Journal of Young Pharmacists*, 3(1), 15-25. <<https://doi.org/10.4103/0975-1483.76415>>.
- Chaudhary, A. K. (2019). *Application of Lean Six Sigma in Manufacturing of Precision Tools and Die*. IOE, September.
- Curristine, T., Lonti, Z., & Joumard, I. (2007). Improving Public Sector Efficiency: Challenges and Opportunities. *OECD Journal on Budgeting*, 7(1), 1-42. <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=16087143&AN=26394361&h=GmjbAdCY-ZO9jj8PsdifF9f2uat64owO8KcOuef3p6h8rTKpEQr6IdzPS3E4a3RafNbhp/kKgnzDcwoLgRICIA==&crl=c>>.
- David Meza, & Ki-Young Jeong. (2013). Measuring Efficiency of lean six Sigma Project Implementation Using Data Envelopment Analysis at Nasa. *Journal of*

- Industrial Engineering and Management*, 6(2), 401-422. <<http://www.jiem.org/index.php/jiem/article/view/582>>.
- Dean, A. (2016). Six Sigma Deployment in Supply Chain Management: Enhancing Competitiveness. *Materials Management Review*, April, 31-35.
- Deng, Y., He, Z., Antony, J., Zhang, M., & Taheri, B. (2016). Six Sigma and Organizational Performance : A Systematic Review of Empirical Evidence and Agenda for Further. *International Conference On Lean Six Sigma*, June, 99-113.
- Dewri, R., Ray, I., Ray, I., & Whitley, D. (2018). Implementación de Poka-Yoke en Herramental para Disminución de Ppms en Estación de Ensamble. *CULCYT*, 64, 1037. <<https://doi.org/10.1145/1645953.1646085>>.
- Dinis-Carvalho, J., Moreira, F., Bragança, S., Costa, E., Alves, A., & Sousa, R. (2015). Waste Identification Diagrams. *Production Planning and Control*, 26(3), 235-247. <<https://doi.org/10.1080/09537287.2014.891059>>.
- Domagala, M. (2022). *A Concept of Risk Prioritization in FMEA of Fluid Power Components*. *Energies*, 5947.
- Duque, E. (2005). Del servicio y sus modelos de medición. *Revista Innovar*, 64-80.
- Elías Heriberto, A.-N., Armando Javier, R.-L., V.-L., José Antonio & Russell, P.-G. (2015). Estudio comparativo entre los enfoques de diseño experimental robusto de Taguchi y tradicional en presencia de interacciones de control por control. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(1), 131-142. <[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72114-1](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72114-1)>.
- Estanislau, M., Mansur, D., Félix, M., Olavo, D. A., Braga, D. O., Luis, N., Valdiviezo, E., Luis, V., Torres, F., & Damasceno, R. (2022). DMAIC in improving Patient Care Processes: Replication and Lessons Learned in Context of Healthcare. *IFAC PapersOnLine*, 55(2018), 549-554. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.451>>.
- Fhionnlaioich, N. Mac, Yang, Y., Qi, R., Galvanin, F., & Guldin, S. (2019). *DoE-It-Yourself: A Case Study for Implementing Design of Experiments into Nanoparticle Synthesis*. 1-17. <<https://doi.org/10.26434/chemrxiv.8198420.v1>>.
- Garza, R. C., González, C. N., Rodríguez, E. L. & Hernández, C. M. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22(1), 19-35.
- Giménez, L. M. (2005). *An Introduction to Six Sigma. Mastering Statistical Process Control*, 423-437. <<https://doi.org/10.1016/b978-075066529-2/50044-9>>.

- González, H., & Escobar, C. (2021). Application of the SIPOC tool to the Internal Supply Chain of a medicines Distributor Company, 5(2539-0678). <<http://revistas.unicatolica.edu.co/revista/index.php/LumGent/article/view/361/207>>.
- Guti, H. (2015). *Análisis y diseño de experimentos* (Issue November). McGraw-Hill.
- Hambleton, L. (2007). *Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC). Treasure Chest of Six Sigma Growth Methods, Tools, and Best Practices*, 13-27.
- Hammad, M., Khan, A. K., Deng, S., Rashid, A., Khan, J. A., & Zulfqar, F. (2017). An Integration of Kano Model, QFD and Six Sigma to Present a New Description of DFSS. *European Journal of Business and Management Online*, 9(6), 2222-2839.
- Herrera Acosta, R. J. & Fontalvo Herrera, T. J. (2006). *Seis Sigma: metodología y técnicas*. Herrera Acosta, Roberto José, 150.
- Horbach, S. (2013). Advances in Sustainable and Competitive Manufacturing Systems. 23rd International Conference on Flexible Automation & Intelligent Manufacturing, June, 379-387. <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-00557-7>>.
- Horton, G., & Goers, J. (2019). *A Revised Kano Model and its Application in Product Feature Discovery*. <https://www.researchgate.net/publication/332304132_A_Revised_Kano_Model_and_its_Application_in_Product_Feature_Discovery>.
- Ishaq Bhatti, M., & Awan, H. M. (2014). The Key performance Indicators (KPIs) and their Impact on overall Organizational Performance. *Quality and Quantity*, 48(6), 3127-3143. <<https://doi.org/10.1007/s11135-013-9945-y>>.
- Jin, G., Meng, Q., & Feng, W. (2022). Optimization of Logistics System with Fuzzy FMEA-AHP Methodology. *Processes*, 10(10). <<https://doi.org/10.3390/pr10101973>>.
- Kaya, İ., & Kahraman, C. (2011). Process Capability Analyses Based on Fuzzy Measurements and Fuzzy Control Charts. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3172-3184. <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.004>>.
- Kent, R. (2016). Tools for quality Management and Improvement. *Quality Management in Plastics Processing*, 197-226. <<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102082-1.50007-1>>.
- Key, B. A. (2019). *Five Whys Root Cause System Effectiveness: A Two Factor Quantitative Review*. Western Kentucky University. <<https://digitalcommons.wku.edu/theses>>.
- Khan, S. A., Kaviani, M. A., J. Galli, B., & Ishtiaq, P. (2019). Application of Continuous Improvement Techniques to improve Organization Performance: A Case Study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(2), 542-565. <<https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2017-0048>>.

- Klimaitienė, R., & Rudžionienė, K. (2020). *Application of Key Performance Indicators To Improve the Efficiency of Monitoring of the Organisation'S Activities: Theoretical Approach 1*. December 2020. <<https://doi.org/10.13165/PSPO-20-25-20>>.
- Krishnaiah, & Shahabudeen. (2012). *Applied Design of Experiments and Taguchi Methods* (Issue June). <<https://books.google.com/books?id=hju9JYVhfV8C&pgis=1>>.
- Langstrand, J. (2016). *An Introduction to Value Stream Mapping and Analysis*. Linköping University. <<http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:945581%0Ahttps://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:945581/FULLTEXT01.pdf>>.
- Liliana, L. (2016). A New Model of Ishikawa Diagram for Quality Assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1). <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>>.
- Liu, Y., Wang, H., Liu, Z., & McLean, A. (2022). Emotion Regulation and Learning Satisfaction Improvement of Underachievers Based on Six Sigma DMAIC. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 25(Supplement_1), A88-A88. <<https://doi.org/10.1093/ijnp/pyaco32.119>>.
- Lopata, A., Gudas, S., Butleris, R., Rudžionis, V., Žioba, L., Veitaitė, I., Dilijonas, D., Grišius, E., & Zwitterloot, M. (2022). Financial Data Anomaly Discovery Using Behavioral Change Indicators. *Electronics (Switzerland)*, 11(10), 1-14. <<https://doi.org/10.3390/electronics11101598>>.
- Mairena, T. A. (2018). Diseño e instalación de un sistema de monitoreo y control de los equipos de producción en la empresa KAIZEN S.A. utilizando un sistema Andon. utilizando un sistema Andon [Other, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://ribuni.uni.edu.ni/2684/>
- Manjunath, M, Shiva Prasad, H., C, Keerthesh Kumar, K. S., & Puthran, D. (2014). Value Stream Mapping : A Lean Tool. *The International Journal of Business & Management*. <<http://internationaljournalcorner.com/index.php/theijbm/article/view/128466/89100>>.
- Mansur dos Reis, M. E. D., de Abreu, M. F., Neto, O. de O. B., Viera, L. E. V., Torres, L. F., & Calado, R. D. (2022). DMAIC in improving Patient Care Processes: Challenges and Facilitators in Context of Healthcare. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 215-220. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.628>>.
- Mantilla Celis, O. L. & Sánchez García, J. M. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. *Estudios Gerenciales*, 28(124), 23-43. <[https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(12\)70214-0](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(12)70214-0)>.

- Mao, L. (2022). Identification of the Outcome Distribution and sensitivity Analysis Under Weak Confounder-Instrument Interaction. *Statistics and Probability Letters*, 189. <<https://doi.org/10.1016/j.spl.2022.109590>>.
- Marques, P. A., & Requeijo, J. G. (2009). SIPOC: A Six Sigma Tool Helping on ISO 9000 Quality Management Systems. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, ISO 9001, 1229-1238.
- Martínez-Hernández, J. C., Cruz-Solís, E. J., Hernández-Luna, A., & Hernández-Hilario, R. (2020). El sistema ANDON, como herramienta fundamental para disminuir el tiempo de respuesta y eliminar los defectos en línea de panel. *Revista de Ingeniería Industrial*, 4(12), 30-41. <<https://doi.org/10.35429/jie.2020.12.4.30.41>>.
- Miluska Aylin, A. Y. (2016). Integración Lean Manufacturing y Seis Sigma. Aplicación pymes. <[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72921/TFM Integración Lean Seis Sigma_ Miluska Añaguari.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72921/TFM%20Integraci%C3%B3n%20Lean%20Seis%20Sigma_Miluska_A%C3%B1aguari.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>.
- Mishra, P., & Sharma, R. K. (2014). A Hybrid Framework Based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving Process Dimensions in supply Chain Network. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 31(5), 522-546. <<https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>>.
- Mkpojiogu, E. O. C., & Hashim, N. L. (2016). Understanding the relationship Between Kano Model's Customer Satisfaction Scores and Self-stated requirements Importance. *SpringerPlus*, 5(1), 1-22. <<https://doi.org/10.1186/s40064-016-1860-y>>.
- Monika, M., & Jan, M. (2013). The Effect of Process Map Design Quality on Process Management Success. ECIS 2013 - Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems, June 2013.
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329-346. <<https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>>.
- Morales, J. (2007). Aplicación De la metodología Seis Sigmas en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo. *Maestro de Ingenierías de Calidad*, 1-211. <<http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014873/014873.pdf>>.
- Navarro Albert, E., Gisbert Soler, V., & Pérez Molina, A. I. (2017). Metodología 4 Implementación de Six Sigma. *3C Empresa: Investigación y Pensamiento Crítico*, 6(5), 73-80. <<https://doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.73-80>>.
- Nkiruka, E. (2022). FMEA Model for Sustainable Land Administration. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, November.

- Nonthaleerak, P., & Hendry, L. C. (2006). Six Sigma: Literature Review and key Future Research Areas. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 2(2), 105-161. <<https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2006.010111>>.
- Nurjannah, Hafidzah, Mardianty, Desy, & Hayati (2020). The Implementation of Kano Model and Quality Function Deployment to Optimize the Quality of higher Education in Indonesia. *Revista Espacios*, 41(06), 1-9.
- Oberleitner, T., Zahel, T., & Pretzner, B. (2022). Holistic Design of Experiments Using an Integrated Process Model. *Bioengineering*, 1-15.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. LACCEI: Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. <<http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>>.
- Olaya-Escobar, E. S., Cortes, C. J., & Duarte, O. G. (2005). Despliegue de la función calidad (QFD): beneficios y limitaciones detectados en su aplicación al diseño de prótesis mioeléctrica de mano. Quality function deployment QFD: benefits and limitations when. *Ingeniería e Investigación*, 25, 30-38.
- Paredes Rodríguez, A. M. (2017). *Application of Value Stream Mapping tool to a company Packing Glass Products*. *Entremado*, 13(1), 262-277. <<https://doi.org/10.18041/entramado.2017VI3NI.25103>>.
- Paz, R. C., & Daniel, G. G. (2012). *Administración de la Calidad Total* (U. M. de Plata, ed.). <http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09_administracion_calidad.pdf>.
- Plan, D. C., & Plan, D. C. (2016). Data Collection Plan How to Guide How to Use a Data Collection Plan. Business Process Improvement Shared Service at University of Illinois, 1-2.
- Poels, G., García, F., Ruiz, F., & Piattini, M. (2020). Architecting Business Process Maps. *Computer Science and Information Systems*, 17(1), 117-139. <<https://doi.org/10.2298/CSIS181118018P>>.
- Prasetyo, Y. T., Santiago, M. A., Persada, S. F., & Chuenyindee, T. (2022). The Utilization of Six Sigma DMAIC Methodology in the Improvement of the Quality and Application of Methyl Methacrylate (MMA)-Based Elastomeric Membrane. In 2022 3rd International Conference on Internet and E-Business (ICIEB 2022), June 15-17, 2022, Madrid, Spain (vol. 1, Issue 1). Association for Computing Machinery. <<https://doi.org/10.1145/3545897.3545918>>.
- Price waterhouse Coopers (2017). *Showing your Story to land the Message* (Issue April). <<http://www.pwc.com.au/the-difference/the-power-of-visual-communication-apr17.pdf>>.

- Qiu, Y., & Zhang, H. (2022). A Modified FMEA Approach to Predict Job Shop Disturbance. *Processes*, 10(11), Art. 11. <https://doi.org/10.3390/pr10112223>
- Radha Krishnan, B., & Prasath, K. A. (2013). Six Sigma Concept and DMAIC Implementation. *International Journal of Business, Management & Research (IJBMR)*, 3(2), 111-114.
- Rahman, A., Shaju, S. U. C., Sarkar, S. K., Hashem, M. Z., Hasan, S. M. K., Mandal, R., & Islam, U. (2017). A Case Study of Six Sigma Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC) Methodology in Garment Sector. *Independent Journal of Management & Production*, 8(4), 1309. <<https://doi.org/10.14807/ijmp.v8i4.650>>.
- Rallage, B., & Dharmarathne, Y. (2018). *Improving Classification of Quality Attributes in the Kano Model* (Issue May 2018).
- Rodríguez, R. D., Medini, K., & Wuest, T. (2022). A DMAIC Framework to Improve Quality and Sustainability in Additive Manufacturing-A Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(1), 1-18. <<https://doi.org/10.3390/su14010581>>.
- Salazar-Rojas, M. L. & Pérez-Olguín, I. J. C. (2019). Ciclo DMAIC en Latinoamérica: análisis de aplicación y relación con el Producto Interno Bruto. *Camino hacia la internacionalización: Logística Internacional*, May, 23-30.
- Salkind, N. (2013). *Quantitative Research Methods. Encyclopedia of Educational Psychology*. <<https://doi.org/10.4135/9781412963848.n224>>.
- Santos, J. R. dos, Oliveira, M. A. de, Vieira, R. K., & Melo, E. S. de (2021). Use of DMAIC to Elaborate a Proposal to Improve the Purchase Processes of the Material Department of the Federal University of Amazonas: A Study on Public Procurement Management. *European Journal of Business and Management Research*, 6(3), 155-160. <<https://doi.org/10.24018/ejbmr.2021.6.3.887>>.
- Serrat, O. D. (2009). The Five Whys Technique (Número 30) 1-4. Asian Development Bank. <https://www.adb.org/publications/five-whys-technique>
- Serrat, O. (2017). *The Five Whys Technique. In Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance* (1-1140). <<https://doi.org/10.1007/978-981-10-0983-9>>.
- Sharma, G. V. S. S., Rao, P. S., & Babu, B. S. (2018). Process capability Improvement Through DMAIC for aluminum Alloy Wheel Machining. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 213-226. <<https://doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z>>.
- Simanova, L., & Gejdoš, P. (2020). Implementation of the six Sigma Methodology in Increasing the Capability of Processes in the Company of the furniture

- Industry of the Slovak Republic. *Management Systems in Production Engineering*, 29(1), 54-58. <<https://doi.org/10.2478/mspe-2021-0007>>.
- Simion, C. (2021). Assessment of Process Stability and Capability in a Manufacturing Organization: A Case Study. *MATEC Web of Conferences*, 343, 05011. <<https://doi.org/10.1051/mateconf/202134305011>>.
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value Stream Mapping: Literature Review and Implications for Indian Industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(5-8), 799-809. <<https://doi.org/10.1007/s00170-010-2860-7>>.
- Singh, B. J., & Khanduja, D. (2014). Perspectives of Control Phase to Manage Six Sigma implements: An Empirical Study. *International Journal of Business Excellence*, 7(1), 88-111. <<https://doi.org/10.1504/IJBEX.2014.057860>>.
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238(April 2018), 590-596. <<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>>.
- Study, C. A. C., Jou, Y., Silitonga, R. M., Lin, M., & Sukwadi, R. (2022). *Application of Six Sigma Methodology in an Automotive Manufacturing*. Sustainability Article, November. <<https://doi.org/10.3390/sui42114497>>.
- Suárez-Barraza, M. F., Miguel-Dávila, J., & Vásquez-García, C. F. (2016). Supply Chain Value Stream Mapping: A New Tool of Operation Management. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 33(4), 518-534. <<https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2014-0171>>.
- The Council for Six Sigma Certification. (2018). Six Sigma: A Complete Step-By-Step Guide. 1era Edición, Búfalo N.Y. Recuperado de: <https://www.sixsigma-council.org/wp-content/uploads/2018/08/Six-Sigma-A-Complete-Step-by-Step-Guide.pdf>
- Torres Jaime, J., Vázquez Colín, J., Castillo Subdías, F. J., Contreras Calderón, E., Martín Urzúa Rangel, R., & Beltrán Román, G. (2011). Sistema Poka - Yoke. *Programación Matemática y Software*, 3(1), 1-12.
- Toyoda, S. & Semler, R. (2020). *Los cinco ¿Por qué?* <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:DownloadAsPdf&page=Los_cinco_¿Por_qué%3F&action=show-download-screen>.
- Uluskan, M. (2019). Analysis of Lean Six Sigma tools from a Multidimensional Perspective. *Total Quality Management and Business Excellence*, 30(9-10), 1167-1188. <<https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1360134>>.

Yang, K., & El-Haik, B. S. (2009). Design for Six Sigma-A Roadmap for Product Development.

Zhao, Q., Wang, J., Spiller, W., Bowden, J., & Small, D. S. (2019). Two-sample Instrumental Variable Analyses Using Heterogeneous Samples. *Statistical Science*, 34(2), 317-333. <<https://doi.org/10.1214/18-STS692>>.