

## ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS EN UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LA RAMA MÉDICA

### ANALYSIS OF THE GENERAL EFFICIENCY OF EQUIPMENT IN A MANUFACTURING INDUSTRY OF THE MEDICAL BRANCH

Bernardo Salvador Rios Andrade<sup>1</sup>, Manuel Alonso Rodríguez Morachis<sup>2</sup>, Luz Elena Terrazas Mata<sup>3</sup>, Francisco Zorrilla Briones<sup>4</sup>, Diego Adiel Sandoval Chávez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Electromecánico. Estudiante de la Maestría en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. bernierios20@gmail.com. 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. mmorachis@itcj.edu.mx. 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

<sup>3</sup>Doctora en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. lterrazas@itcj.edu.mx. 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

<sup>4</sup>Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. fzorrilla@itcj.edu.mx. 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

<sup>5</sup>Doctor en Investigación. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, División de Estudios de Posgrado e Investigación. dsandoval@itcj.edu.mx. 6566882500. Av. Tecnológico No. 1340, Fraccionamiento El Crucero, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32340.

**Resumen** – Esta investigación presenta el análisis de la eficiencia general de los equipos (OEE, Overall Equipment Effectiveness, por sus siglas en inglés) en una industria manufacturera de la rama médica, la empresa donde se realizó la investigación cuenta con un índice de alto crecimiento a ritmo acelerado lo cual limitó su habilidad de análisis de información de indicadores claves de rendimiento (KPI, Key Performance Indicator, por sus siglas en inglés) y esto a su vez provocó una falta de visualización del estatus de la empresa y una mala gestión de los recursos de soporte a manufactura, la investigación presenta una metodología de mejora continua para tratar el problema basada en las metodologías de resolución de problemas PDCA; planificar (plan), hacer (do), verificar (check), y actuar (act) y 8D (8 disciplinas). La metodología incluye la formación del equipo de trabajo, definición del problema, recolección de información, análisis de la causa raíz, acciones correctivas, retroalimentación y ajustes. Una de las acciones correctivas implementadas fue la utilización del OEE como métrico base, no solo para medir los equipos sino todo el proceso en general y de esta manera tomar decisiones de negocio. Se realizaron varias pruebas de hipótesis para comparar el antes y después de la implementación de este métrico y se evaluó cual fue el impacto en los métricos de: Eficiencia, Disponibilidad operacional y Calidad, teniendo como resultado la mejora de dichos métricos en diferentes medidas.

**Palabras Clave:** KPI, OEE, Metodología de resolución de problemas, Mejora continua.

**Abstract** – This research presents the analysis of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) in a medical manufacturing company, the company where the research was carried out has a high growth rate at an fast pace, which limited its ability to analyze information on Key Performance Indicator KPI and this in turn caused a lack of visualization of the company status and a mismanagement of manufacturing support resources, the research presents a continuous improvement methodology to address the problem based on problem solving methodologies such as PDCA (plan, do, check and act) and 8D (8 disciplines). The methodology includes team establishment, problem definition, data gathering, root cause analysis, corrective actions, feedback, and adjustments. One of the corrective actions implemented was the use of the OEE as a base metric, not only to measure the equipment but the entire process and use this information to take business decisions. Several hypothesis tests were performed to compare before and after the implementation of this metric and evaluated the impact on KPI's: Efficiency, Operational Availability and Quality, resulting in the mentioned KPI's improvements in different measures.

**Key words** – KPI, OEE, Problem Solving Methodologies, Continuous Improvement.

#### INTRODUCCIÓN

La búsqueda del mejoramiento continuo requiere de un trabajo de inteligencia por parte de las empresas para crear sistemas que las ayuden a detectar problemas

existentes, analizar las causas raíz e implementar acciones para las oportunidades detectadas. Una parte fundamental para comenzar este ciclo de mejoramiento es la obtención de información o medibles de los rubros de interés. Este artículo incluye la importancia de la implementación de un indicador clave de rendimiento general llamado OEE como métrico base para la toma de decisiones de negocio y la visualización del estatus general de la empresa de manera clara y sencilla de entender en el menor tiempo posible.

La empresa donde se desarrolla la investigación es una empresa de clase mundial que oferta innovadores productos para la alineación dental, la alta demanda de su producto principal desarrolló un crecimiento a corto plazo de las áreas de manufactura requeridas para incrementar la capacidad de las plantas y también de los recursos de soporte a manufactura. La medición y seguimiento de los indicadores claves de rendimiento se realizaban de manera independiente, por lo que era necesario tener que revisarlos uno a uno en las bases de datos para entender el comportamiento general de los procesos de manufactura y de los equipos que se utilizan, por lo que la visualización que se tenía del estatus actual de la empresa era limitada, y se requerían de muchos recursos para poder consolidarla, esto generó que la resolución de los problemas del día a día se entorpeciera y que las acciones correctivas no fueran del todo efectivas, debido a que no se tenía la información necesaria ni la correlación existente entre los diferentes métricos medidos. También se detectó que la gestión de los recursos humanos para el análisis de la información constantemente fue mal direccionada y los equipos que se definieron para trabajar en los problemas detectados duplicaban esfuerzos para resolver problemas comunes en distintos foros.

Esta investigación se centra en el área de termoformado y corte de la empresa, las demás áreas o procesos se excluyen de la información presentada, la recolección de información se llevó a cabo a partir del primero de Enero del 2022 hasta el 31 de Marzo del 2022 (90 días ) que fue el periodo antes de la implementación de las acciones correctivas (primer trimestre) y también del primero de Abril del 2022 al 30 de Junio del 2022 (91 días) que fue el periodo evaluado después de las acciones correctivas implementadas (segundo trimestre), se consideraron 93 máquinas activas para los cálculos, y un tiempo total disponible de 24 hrs. por día, toda la información para el análisis se obtuvo directamente de las bases de datos de la empresa por lo que puede ser considerada como confiable para cuestión de análisis.

Se realizaron pruebas de normalidad para los datos de los indicadores con la finalidad de establecer los estadísticos a utilizar para analizar el comportamiento antes y después de aplicar el métrico OEE. Se encontró que ninguna de

las distribuciones de los datos tiene un comportamiento normalmente distribuido, por lo que se utilizó estadística no paramétrica para su análisis, con la mediana como estadístico a utilizar.

La prueba de normalidad utilizada fue la prueba de Anderson-Darling.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los resúmenes de los datos de los indicadores clave de la empresa bajo investigación antes de implementar el métrico OEE.

Los indicadores claves de rendimiento principales que son de interés para la empresa son los siguientes:

Eficiencia. Para el periodo de antes de las acciones correctivas implementadas el métrico cuenta con una media de 0.84597 y una mediana de 0.82883, la distribución de los datos no es normal.

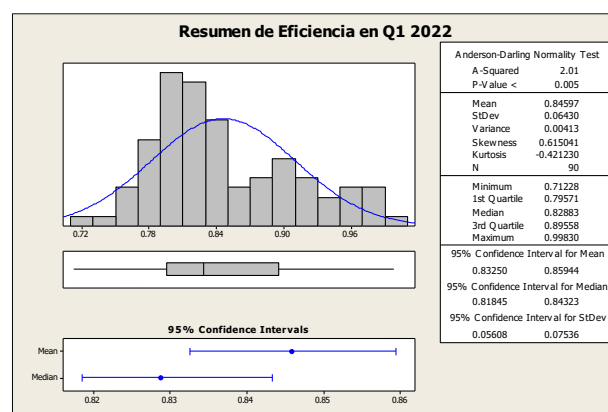


Figura 1. Resumen de Eficiencia en Primer Trimestre del 2022.

Calidad. Para el periodo de antes de las acciones correctivas implementadas el métrico cuenta con una media de 0.99134 y una mediana de 0.94014, la distribución de los datos no es normal.

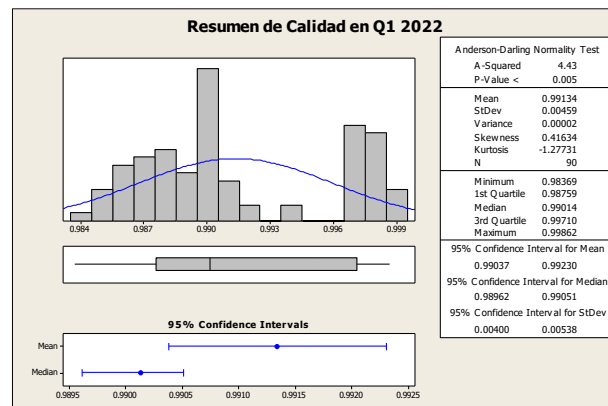


Figura 2. Resumen de Calidad en Primer trimestre del 2022.

Disponibilidad Operacional. Para el periodo de antes de las acciones correctivas implementadas el métrico cuenta con una media de 0.832521 y mediana de 0.85514, la distribución de los datos no es normal.

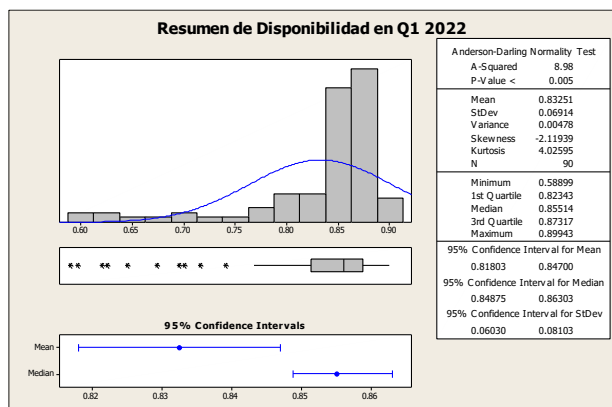


Figura 3. Resumen de Disponibilidad en Primer trimestre del 2022.

El objetivo general es evaluar y demostrar que la integración de los indicadores claves de rendimiento en uno general puede ser de beneficio para la empresa. Se desea realizar esta investigación con la finalidad de demostrar que la implementación del OEE puede agilizar el proceso de análisis y resolución de problemas y a su vez mejorar los índices de calidad, eficiencia y disponibilidad operacional, además de aprovechar el recurso humano invertido en la tarea de investigación y presentación de los métricos de la empresa. Se entiende que el OEE es un indicador que por sí solo no puede alterar ningún factor, sin embargo, la utilización de la información obtenida a través de este métrico y las acciones correctivas y preventivas que se realicen debido al conocimiento adquirido, serán los factores de cambio que impacten a la operación, esta razón de cambio, positiva o negativa es la información que se analizara durante el desarrollo de esta investigación hasta concluir de manera cuantitativa cual fue el impacto obtenido.

### MARCO TEÓRICO

[1] menciona que los indicadores claves de rendimiento son los indicadores críticos del progreso hacia un resultado esperado. Le ayudan al usuario a comprender si está logrando sus objetivos. Los KPI crean una base analítica para la toma de decisiones y ayudan a centrar la atención en los asuntos de importancia para el usuario. KPI: Se utilizan para mejorar el rendimiento y lograr objetivos, centra la atención en lo que importa y proporcionar evidencia para informar la toma de decisiones.

Los beneficios de los KPI son que permiten obtener información útil y valiosa, medir variables determinadas y sus resultados a partir de la información obtenida. También analizar los efectos y la información de determinadas estrategias y las tareas que se utilizaron para realizarlas, comparar la información y determinar las estrategias y tareas efectivas para tomar decisiones oportunas.

[2] explica que para que un KPI sea efectivo, debe cumplir con los siguientes requisitos: Debe ser medible, el KPI debe de tener la capacidad de poderse medir; alcanzable, los objetivos planteados deben de ser realistas; relevante, seleccionar solo los más importantes; exacto, se debe elegir solo la parte más precisa de todos los datos recopilados y periódico, el indicador tiene que ser analizable periódicamente.

La filosofía japonesa Lean Manufacturing se originó a partir del Sistema de Producción Toyota® (TPS, por sus siglas en inglés, Toyota® Production System) enfocada a un sistema de justo a tiempo [3], enfocado a la identificación y reducción de desperdicios, aumentando así el valor de cada acción realizada y eliminando las actividades innecesarias. Es una manera simple de mejorar las operaciones y actividades de cualquier sistema de productivo.

Manufactura esbelta es hacer más con menos esfuerzo, (menos esfuerzo humano, menos personas, menos recursos, menos tiempo y menos espacio), es un sistema integrado de principios y métodos, una filosofía de gestión que conduce a la perfección de todo el sistema.

[4] definió algunos de los indicadores claves de rendimiento para manufactura los cuales son el lead time (del inglés, tiempo de espera) de producción – Es el tiempo que transcurre desde que se ingresa una orden de compra hasta que se finaliza todo el proceso. Capacidad Instalada – Es el cálculo de la capacidad de producción de la planta o instalaciones, este indicador proviene de la capacidad del cuello de botella del sistema de producción, tal y como lo confirma la teoría de las restricciones. Nivel de servicio (entregas a tiempo) – Mide el porcentaje de pedidos entregados a tiempo en comparación con la fecha compromiso que se ofreció al cliente. Utilización – Mide el porcentaje en el que se está utilizando la capacidad instalada de una línea de producción, unidad, o planta en un periodo de tiempo específico. Rendimiento (del inglés, Throughput) – Mide la cantidad de producto se sale de una máquina, línea, o planta en un periodo de tiempo determinado. Horas-hombre/ unidad – Es un cálculo de cuantas horas se invirtieron para producir cada unidad de producto durante un periodo de tiempo entre la cantidad de personas que lo realizaron. OEE –Es un indicador multivariable relacionada con los procesos de rendimiento, mantenimiento y productividad.

Para [5], el OEE es un concepto que permite medir la producción industrial en función de la disponibilidad, desempeño y calidad de una planta. En un concepto que se integra directamente con acciones y no requiere su análisis a través de subconceptos. Otra definición de OEE según [6], es que el OEE describe el nivel en el que el proceso es productivo cuando está en funcionamiento. No dice que cantidad pueden entregar las máquinas y dispositivos cuando trabajan a su máxima capacidad instalada, sino qué porcentaje del funcionamiento se está aprovechando y es efectivo. El OEE se utiliza para identificar la causa raíz de los desperdicios en un equipo o proceso, lo que permite comprender el problema y proponer acciones para solucionar los problemas y de esta manera aumentar la productividad y estabilizar los niveles de eficiencia. También proporciona una línea de base de referencia con la que se puede comparar el estado actual del proceso para calibrar si el producto que se entrega a los clientes está incrementando o no. Para la manufactura esbelta centrarse en el valor tal y como lo ve el cliente es de suma importancia, dentro de la cual se suele utilizar la OEE. En la figura 4 se muestra una visualización general de los componentes de OEE y las formulas para realizar su calcula de manera sencilla.

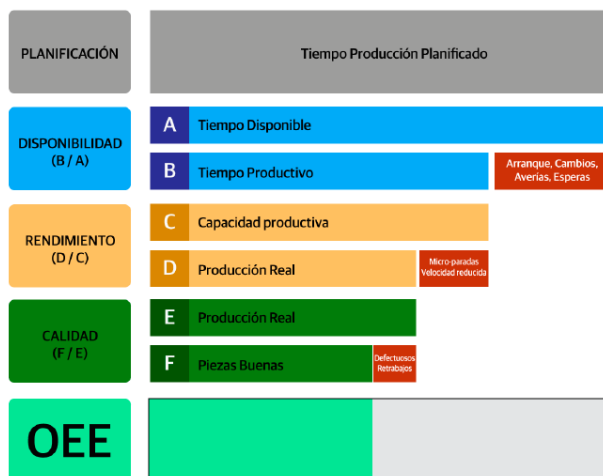


Figura 4. OEE

Para la mejor comprensión de la investigación se abundará más en los métricos que componen al OEE, los cuales son la eficiencia, disponibilidad operacional y la calidad. Según [7], la eficiencia se refiere a lograr las metas con la menor cantidad de recursos, el punto clave en esta definición es ahorro o reducción de recursos al mínimo. [8], también la define como el índice de cumplimiento de la producción esperada, producción planeada, capacidad instalada o meta productiva. Su fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Produccion Real}}{\text{Produccion Planeada}} \times 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Para el métrico de calidad, el cual es otro factor que compone al OEE, el dato que se utiliza para el cálculo es el rendimiento de la primera pasada (FPY, por sus siglas en inglés, First Pass Yield) indica que porcentaje del producto realizado cumple con todas las especificaciones en la inspección de calidad a la primera vez que pasa por el proceso, sin necesidad de re trabajo o SCRAP (del inglés, desperdicio) [9].

Su fórmula es la siguiente:

$$\% \text{ FPY} = \frac{\text{Cantidad de unidades sin defectos}}{\text{Cantidad de unidades procesadas}} \times 100 \quad \text{Ec. (2)}$$

El FPY es una importante indicación métrica para la calidad y la operativa de producción y su inclusión en la tabla de valoración del ejecutivo de producción es muy beneficiosa ya que aporta información directa sobre los costes extraordinarios derivados de la no calidad (Reproceso), se calcula dividiendo las unidades que van a ser menos las unidades defectuosas por el número total de unidades de entrar en el proceso [10].

Por último, la disponibilidad operacional, según [11] menciona que la disponibilidad operativa incluye todos los retrasos logísticos y operativos del mantenimiento en el tiempo muerto del sistema. Esta es la disponibilidad que el cliente interno realmente experimenta, ya que incluye todas las fuentes de tiempo de inactividad del equipamiento. También se puede definir como el tiempo real en que un equipo está en producción. Incluye todos aquellos eventos que interrumpen la producción planeada.

Su fórmula es:

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo disponible}} \times 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Como marco referencial se revisaron algunos artículos documentados en revistas científicas que hablan respecto a la implementación del OEE en distintas empresas y como esto impacto de manera positiva en los métricos.

[12] implementó en la empresa CORPACERO® S.A. dicha herramienta en la línea de tubería de la empresa, desde la captura de los datos necesarios para el cálculo del OEE, hasta las recomendaciones y posteriores conclusiones. Otro ejemplo de aplicación del sistema OEE lo reporta [13], en el trabajo de investigación sobre el análisis y mejoramiento del proceso de envasado en una industria de agroquímicos por medio de la aplicación del sistema OEE y manufactura esbelta. La aplicación de la medición del OEE no se ve limitada a un sector de la industria de manufactura si no que puede ser utilizada prácticamente en todos los sectores industriales, como se muestra en la siguiente investigación, donde [14] trata de un estudio efectuado para la mejora de una embolsadora

en una empresa de IV Gama; la Cuarta Gama de la Alimentación, se basa en que el producto original recibe tratamientos suaves que producen cambios poco notables en sus propiedades deseables como alimento y, en particular, las nutritivas y organolépticas, mejorando su facilidad de utilización o conveniencia.

La presentación de los datos siempre será un factor decisivo en la toma de decisiones que realizan los directores y gerentes de las empresas por lo que es de suma importancia generar un sistema que ayude a procesar la información de los medibles que se pretenden presentar, en el siguiente trabajo de investigación se planteó como resultado un programa digital que ayudara a medir el OEE la investigación de [15], se enfocó a la recolección de información de producción de una industria manufacturera, para dar como resultado el cálculo de la eficiencia general de un equipo. Para esto se diseñó un programa que lleva a cabo esta tarea.

En la actualidad hay muy pocas herramientas para llevar el OEE de las máquinas y procesos lo cual nos lleva a un desconocimiento del rendimiento real de las plantas de la industria manufacturera. [16] describe un método para medir la eficiencia general de los equipos en líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea. En la investigación se dan a conocer los estudios y resultados realizados para la elaboración de la metodología de medición de OEE en las líneas de proceso de una industria láctea, con la finalidad de utilizar la información obtenida acerca del comportamiento de producción, calidad y mantenimiento para la toma de decisiones a futuro en beneficio de la empresa.

## DESARROLLO

La metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación es de origen propio, sin embargo, se basa en gran parte en la metodología del ciclo de PDCA, ésta adaptación de metodología sirvió para dar el seguimiento apropiado a la investigación que se realizó. La metodología se conforma de 6 etapas principales que son: La formación de un equipo de trabajo, la definición del problema y el planteamiento de los objetivos, la recolección de información para análisis, el análisis de causa raíz, la implementación de acciones correctivas y preventivas, y finalmente la retroalimentación y los ajustes necesarios para mantener las acciones implementadas.

En la Figura 5, se puede observar la metodología realizada para el seguimiento de la investigación, compuesta por 6 fases o etapas donde cada una de ellas es dependiente de su etapa anterior.



Figura 5. Metodología Aplicada a Esta Investigación.

### Declaración de Hipótesis

Mediante la implementación de OEE en la medición de los métricos se tendrá un impacto significativo en los equipos medidos en la empresa para el área de fabricación de alineadores. La expresión matemática que se utilizó fue la siguiente.

$$H_0 = \tilde{\mu}_a \leq \tilde{\mu}_d \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde  $H_0$  = Hipótesis nula,  $\tilde{\mu}_a$  = Mediana de antes de las acciones correctivas implementadas y  $\tilde{\mu}_d$  = Mediana de después de las acciones correctivas implementadas. Se utilizó la mediana como índice de medición debido a que la distribución de los datos no fue normal para ningún conjunto, por el principio de homocedasticidad se consideraron las varianzas constantes para ambos conjuntos de datos antes y después de las acciones, por lo que se realizó una prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

### Formación de equipo de trabajo

Para la formación del equipo de trabajo se tomaron en cuenta diferentes criterios, tales como, el área correspondiente de cada participante, su especialidad, su experiencia, su nivel de participación y su poder de decisión sobre las decisiones que impactan al negocio. Además de estos criterios también se consideraron las recomendaciones de la gerencia para su selección.

### Definición del problema

Al realizar los métricos de manera independiente, se llega a la necesidad de tener que revisarlos uno a uno para entender el comportamiento general de los procesos de

manufactura y de los equipos que se utilizan, por lo que la visualización que se tiene del estatus actual de la empresa es limitada, y se requieren recursos para consolidarla, esto genera que la resolución de los problemas se entorpezcan y que las acciones correctivas no sean del todo efectivas, debido a que no se tienen la información necesaria ni la correlación entre los métricos. Además, los diferentes equipos de trabajo que se forman para la solución de problemas muchas de las veces son integradas por los mismos participantes en diferentes foros, esto genera que se dupliquen los esfuerzos para resolver problemas comunes y es considerado un desperdicio de recurso humano.

### Objetivos

En la tabla 1, se presentan los objetivos que se pretenden lograr con la implementación del OEE.

Tabla 1. Objetivo general y objetivos específicos.

Objetivo General	Objetivos Específicos
Este análisis tiene como propósito el evaluar y demostrar que la integración de los indicadores de rendimiento en uno general puede ser de beneficio para la empresa.	Organizar la información interna de la planta de manera estructurada por departamento o área y fecha.
	Consolidar (integrar) la información obtenida en un indicador clave de rendimiento.
	Determinar la forma en que se presentaran los datos.
	Validar el uso de la herramienta y demostrar resultados.

### Análisis de causa raíz

Para el análisis de la causa raíz se utilizó una metodología de resolución de problemas denominada diagrama de causa-efecto en donde se categorizan las ideas que pueden causar el efecto descrito dentro del diagrama para el llenado se realizó una dinámica denominada lluvia de ideas que consiste en que cada uno de los participantes del equipo menciona una idea la cual están relacionada a la causa del problema o efecto que se pretende resolver. A los dos principales contribuidores definidos por el equipo se les denominó causa raíz y se les asignaron acciones correctivas de seguimiento. En la Figura 6 se puede observar el diagrama realizado por el equipo.

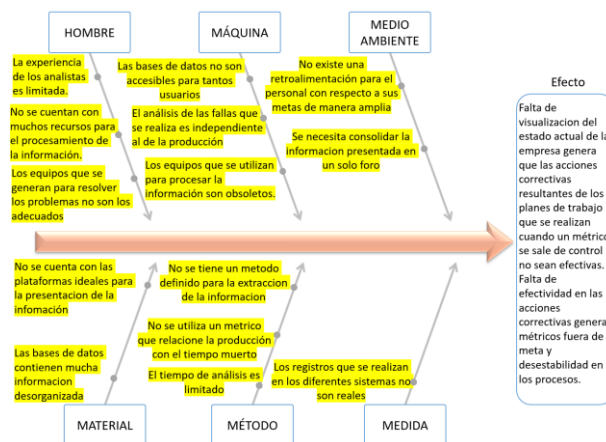


Figura 6 Diagrama de pescado

### Acciones correctivas.

La tabla 2 describe las causas raíces significativas obtenidas del diagrama causa-efecto, así como las acciones correctivas a realizar.

Tabla 2. Acciones correctivas.

Causa Raíz	Acción Correctiva
No se cuenta con las plataformas ideales para la presentación de la información.	Diseñar una plataforma donde se pueda mostrar la información requerida.
No se utiliza un métrico que relacione la producción con el tiempo muerto.	Implementación de métrico OEE, como métrico principal para seguimiento del estatus de la empresa.

### Retroalimentación y Ajustes

La tabla 3 muestra la retroalimentación y los ajustes presentados a la dirección de la empresa para el seguimiento de los indicadores.

Tabla 3. Retroalimentación y Ajustes

Retroalimentación	Ajustes
La tendencia de producción es negativa en el primer cuarto de año del 2022	En base a la tendencia observada del métrico de producción surgió la necesidad del rastreo de los equipos con poca eficiencia.
La tendencia de calidad presenta anomalías	Uno de los modos de falla que más impactan al producto se dejó de requerir por los

en su forma en el mes de febrero.	inspectores de calidad debido a una mala información por parte de los supervisores en los turnos de la noche.
-----------------------------------	---

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como parte del desarrollo para el análisis de esta investigación se realizaron pruebas de hipótesis para los indicadores de eficiencia, calidad y disponibilidad operacional individualmente, con el propósito de dar respuesta a la pregunta de investigación, se realizó una prueba para comprobar la hipótesis que se describe en la Ec. (4), en la figura 6 se puede observar la información que arroja la prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos que consistió en una comparación de las medianas entre los periodos de antes de la implementación de las acciones correctivas y después de que se realizaran. Se seleccionó esta prueba debido a que la distribución de los datos medidos en ambos periodos del primer y segundo trimestre del 2022 no fueron normales, por lo que la comparación por medio de medias fue descartada y reemplazada por la comparación de medianas apegándonos al principio de homocedasticidad se consideraron las varianzas constantes para ambos conjuntos de datos.

Mann-Whitney Test and CI: D-OEE, A-OEE		
	N	Median
D-OEE	91	0.76521
A-OEE	90	0.69585
Point estimate for ETA1-ETA2 is 0.06981		
95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0.05440,0.08342)		
W = 10703.0		
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2		
Cannot reject since W is > 8281.0		

Figura 6 Prueba de Hipótesis para el OEE.

Según la información que presenta la prueba de Mann-Whitney podemos aceptar la  $H_0$  con una  $W > 8281.0$ . La prueba de hipótesis nos indica que la comparación de las medianas de los datos del primer y segundo trimestre son significativamente diferentes, esto quiere decir que después de las acciones correctivas realizadas hubo un impacto significativo en el métrico de OEE. El comportamiento de los equipos y el proceso en general presento un impacto positivo después de la implementación del OEE como métrico base.

## CONCLUSIONES

En la tabla 5 se muestra como conclusión la comparativa de los métricos principales que componen al OEE antes y después de la implementación de las acciones correctivas y su porcentaje de mejora por cada métrico. Se puede apreciar como la eficiencia y el OEE fueron impactados de manera positiva en una cantidad considerable, asimismo, como los métricos de disponibilidad y calidad, no tuvieron un impacto considerable después de las acciones implementadas, aunque la mediana de los conjuntos de datos medidos fue mayor después de las acciones implementadas la mejora no fue tan notoria.

Tabla 5. Porcentaje de Mejora

Métrico	Antes	Después	Porcentaje de mejora
Eficiencia	0.8460	0.9228	7.68%
Calidad	0.9913	0.9914	0.01%
Disponibilidad	0.8315	0.8401	0.86%
OEE	0.6986	0.7687	7.01%

### Análisis de la hipótesis.

La hipótesis para comprobar, la cual se muestra en la Ec. (4) supone que mediante la integración de OEE en la medición de los métricos se tendrá un impacto significativo en los equipos medidos en la empresa para el área de fabricación de alineadores en la sección de resultados Figura 6 se dio a conocer los resultados de la prueba de hipótesis la cual describe que la mediana del después es significativamente mayor que la mediana del antes de las acciones correctivas implementadas. Se acepta  $H_0$

### Verificación de los Objetivos.

El objetivo general de la investigación fue el evaluar y demostrar que la integración de los indicadores claves de rendimiento en uno general puede ser de beneficio para la empresa. Dicho objetivo se vio cumplido al seguir la metodología planteada para realizar el análisis de los datos, evaluarlos y concluir por medio de un estudio estadístico que la hipótesis nula es aceptada. Además de mostrar el comparativo que incluye el porcentaje de cambio o mejora que hubo en cada métrico medido.

Es necesario enfatizar y dejar claro que la utilización del indicador OEE como métrico base, por sí mismo no genera ningún cambio, sin embargo, este ofrece la información necesaria para poder visualizar de una manera resumida los métricos más importantes para la empresa y así poder identificar las áreas de oportunidad en los equipos, procesos e inclusive personal y de esta manera poder proponer soluciones, crear planes de acción correctivos y preventivos que impacten los métricos de eficiencia, disponibilidad y calidad de manera positiva.

La realización y análisis de la investigación nos lleva a una conclusión que se pudiera resumir con la con la frase que se le atribuye a Aristóteles filósofo griego que dice lo siguiente; “el conocimiento es poder”, en una apreciación personal de esta frase se entiende que entre más información tengamos de un tema en específico más poder de acción se tiene para poder manipular los resultados a favor y esto aplica para todos los ámbitos.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Coutinho, V. (2015) “KPIs: descubre qué son los indicadores clave de rendimiento y cómo usarlos para orientar tus estrategias.” Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. <https://rockcontent.com/es/blog/kpis/>

[2] De Pinedo, N. (2017) “¿Qué es un KPI y para qué sirve?”. Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. <https://www.isdi.education/mx/blog/que-es-un-kpi-y-para-que-sirve>

[3] De Diego, T. (2009). Las claves del éxito de Toyota LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. Cuadernos de Gestión. Vizcaya, España. Vol. 9, No. 2 pp.113-122.

[4] Neira, I. “15 Indicadores de Desempeño (KPIs) Relevantes en Manufactura.” Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. 2020. <https://clockwork.com.co/15-indicadores-de-desempeno-kpis-relevantes-en-manufactura/>

[5] Belohlavek, P. (2006). OEE Overall Equipment Effectiveness, Blue Eagle Group. Buenos Aires, Argentina.

[6] Kan Ban tool “¿Qué es la Eficiencia General de los Equipo (OEE)?” Recuperado el 05 de mayo del 2022. Documento Web. 2009 <https://kanbantool.com/es/guia-kanban/eficiencia-general-de-los-equipos>

[7] Hernandez, S. (2016) Eficiencia, Eficacia y Productividad en una Empresa. Recuperado el 29 de noviembre de 2021, de INADEM: <https://www.inadem.gob.mx/eficiencia-eficacia-y-productividad-en-una-empresa/>

[8] Lopez, J. (2012) Productividad, Bloomington, Indiana, USA.

[9] Liker, J. (2004): The Toyota way, New York, Free Press

[10] Alvarez, J. (2019) Metodología para la predicción del Yield de manufactura. [Tesis de Maestría]. CIATEQ, Jalisco, Mexico Recuperada de: <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/364/1/AlvarezRodriguezJoseA%20MMANAV%202019.pdf>

[11] Fracttal Tech S. L® (2023) “¿Qué es la disponibilidad en mantenimiento y cómo calcularla?” Recuperado de: <https://www.fracttal.com/es/que-es-la-disponibilidad-en-mantenimiento-y-como-calcularla>

[12] Casilimas, M. (2012). Implementación del sistema de indicadores de productividad y mejoramiento OEE (Overall Effectiveness Equipment) en la línea tubería en CORPACERO® S.A.

[13] Vilema (2019). Análisis y mejoramiento del proceso de envasado en una industria de agroquímicos por medio de la aplicación del sistema OEE (eficiencia global de equipos) y manufactura esbelta.

[14] Nuñez, I. (2020). Uso del sistema OEE para la mejora de una embolsadora en una empresa de IV gama

[15] Mohr, B. (2012) Propuesta de metodología para la medición de eficiencia general de los equipos en líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea.

## ROL DE CONTRIBUCIÓN

ROL DE CONTRIBUCIÓN	NOMBRE DEL AUTOR
Conceptualización	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – igual
Curación de datos	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – apoya
Metodología	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – apoya Diego Adiel Sandoval Chávez – apoya
Administración del proyecto	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Francisco Zorrilla Briones - apoya
Recursos	Luz Elena Terrazas Mata - principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – apoya Francisco Zorrilla Briones - apoya Diego Adiel Sandoval Chávez – apoya
Software	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – igual Francisco Zorrilla Briones – igual

Supervisión	Manuel Alonso Rodríguez Morachis – principal Luz Elena Terrazas Mata - apoya Francisco Zorrilla Briones - apoya Diego Adiel Sandoval Chávez - apoya
Validación	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – igual
Visualización	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal
Redacción	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – igual
Redacción	Bernardo Salvador Rios Andrade –principal Manuel Alonso Rodríguez Morachis – igual Luz Elena Terrazas Mata - apoya Francisco Zorrilla Briones - apoya Diego Adiel Sandoval Chávez – apoya



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.