

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD JUÁREZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



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

TESIS

QUE PRESENTA:

BERNARDO SALVADOR RIOS ANDRADE

**COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA

CIUDAD JUÁREZ, CHIH.

MARZO DE 2023



Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Ciudad Juárez, Chihuahua, **21/marzo/2023**

Oficio: DEPI/013/2023

Asunto: Autorización impresión de tesis

**C. BERNARDO SALVADOR RIOS ANDRADE
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA
PRESENTE**

Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de Tesis titulado **"ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS EN UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LA RAMA MÉDICA"** ha informado a esta División de Estudios de Posgrado e Investigación, que está de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior se le autoriza se proceda con la **IMPRESIÓN DEFINITIVA DE SU TRABAJO DE TESIS.**

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica

**C. EDUARDO RAFAEL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Departamento de Servicios Escolares
División de Estudios Profesionales

ERPO/dmsp



C. EDUARDO RAFAÉL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.

Por medio de la presente se hace constar que la Tesis denominada **“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS EN UNA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LA RAMA MÉDICA”**, que presenta el alumno **C. BERNARDO SALVADOR RIOS ANDRADE**, con número de control **M21110200**, para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Administrativa, ha sido revisada y aprobada en su forma y contenido por los suscritos, por lo que no existe ningún inconveniente para la impresión de la misma.

Se extiende la presente constancia a petición del interesado y para los fines legales que a él mismo convengan, en Ciudad Juárez, Chihuahua, a los veintiún días del mes de marzo del año dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®



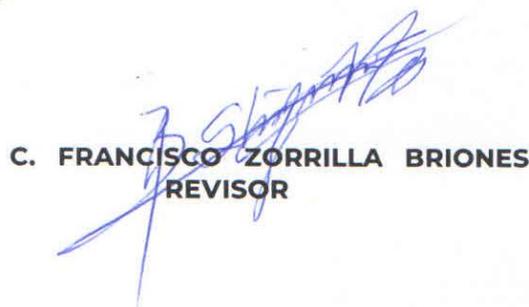
C. MANUEL ALONSO RODRÍGUEZ MORACHIS
DIRECTOR



C. DIEGO ADIEL SANDOVAL CHÁVEZ
CO-DIRECTOR



C. LUZ ELENA TERRAZAS MATA
REVISORA



C. FRANCISCO ZORRILLA BRIONES
REVISOR

ccp. Coordinación de Titulación
Alumno

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En Ciudad, Juárez, Chihuahua, México, siendo el día 24 de marzo del año 2023, el que suscribe, Ing. Bernardo Salvador Rios Andrade, alumno del Programa de la Maestría en Ingeniería Administrativa, con número de control M21110200, adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Manuel Alonso Rodríguez Morachis y cede los derechos del trabajo titulado "Análisis de la Eficiencia General de los Equipos en una Industria Manufacturera de la Rama Médica", al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el consentimiento expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: bernierios20@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente



Ing. Bernardo Salvador Rios Andrade

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de estudiar y seguir preparándome para alcanzar mis objetivos en la vida.

A mi familia por apoyarme todos los días e impulsarme a ser una mejor persona.

A mis padres por inculcarme el valor del estudio, la perseverancia y la importancia de la preparación para el futuro.

A mi director el Dr. Alfonso Aldape Alamillo por ayudarme a dirigir esta tesis y orientarme a estructurarla de manera sencilla y clara.

Al Dr. Manuel Alonso Rodríguez Morachis por apoyarme durante el proceso y proveer el soporte necesario para finalizar esta tesis.

Al Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez mi alma mater por ofrecerme las oportunidades, herramientas y mostrarme el camino para superarme como profesionalista.

DEDICATORIA

A mi amada esposa que me impulso a estudiar la maestría para seguir preparándome para el futuro, siempre depositando su confianza en mí y dando su incondicional apoyo y cariño. Te amo.

RESUMEN

En la actualidad la mayoría de las empresas requieren ser competitivas debido a la gran oferta que existe en el mercado para manufacturar los diferentes productos u ofrecer los distintos servicios, la competencia entre las empresas es de beneficio para los consumidores o clientes. 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 correctivas y preventivas 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. Esta tesis abarca la importancia de un indicador clave de rendimiento general llamado Eficiencia General de los Equipos (*OEE, Overall Equipment Effectiveness*, por sus siglas en inglés).

El análisis de la eficiencia general de los equipos en una industria manufacturera de la rama médica abarca el comportamiento y tendencias de los métricos de interés los cuales son: eficiencia, disponibilidad de equipo y calidad. Esta información se obtuvo de las bases de datos de la empresa durante el primer trimestre de año del 2022, hasta el segundo trimestre del mismo. En el capítulo 1 y 2 se identifica las áreas de oportunidad y el contexto en el que se encuentra la empresa donde se realizó el análisis. Para el marco teórico que sustenta la tesis, se consideró como tema principal los diferentes indicadores claves de rendimiento que existen junto con marco referencial, en el que se documentó una colección de artículos que presentan al *OEE* como medible y se habla de sus diferentes beneficios en las industrias. Por último, en los capítulos 4,5 y 6 se aplica una metodología que propone implementar al *OEE* como métrico base, lo que trajo consigo una serie de mejoras en los métricos ya mencionados, se realizaron estudios estadísticos para demostrar dichas mejoras.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.	V
DEDICATORIA.	VI
RESUMEN.	VII
CONTENIDO.	VIII
LISTA DE TABLAS.	XII
LISTA DE FIGURAS.	XIII
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
2.1. Antecedentes.	3
2.1.1 Historia de la Empresa	3
2.1.2 Director Ejecutivo	6
2.1.3 Último Informe Financiero Registrado	7
2.2. Descripción del Problema.	8
2.3. Preguntas de Investigación.	10
2.4. Hipótesis.	10
2.5. Objetivo.	10
2.5.1. Objetivos Específicos	10
2.6. Justificación.	11
2.6.1 Supuestos	12

2.7. Delimitaciones.	12
3. MARCO TEÓRICO.	13
3.1 indicadores Claves de Rendimiento	13
3.1.1 Características de un KPI	13
3.2 KPI Básicos de Manufactura	14
3.3 KPI Básicos de Calidad	17
3.4 Conceptos Básicos de Mantenimiento	18
3.4.1 KPI Básicos de Mantenimiento	20
3.5 OEE	23
3.5.1 Problemas Comunes al Utilizar OEE	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	34
4.1. Materiales.	34
4.2. Métodos.	35
4.2.1 Formación de un Equipo de Trabajo.	36
4.2.2 Definición del Problema, Planteamiento de Objetivos.	36
4.2.3 Recolección de Información	39
4.2.4 Análisis de Causa Raíz.	43
4.2.5 Acciones Correctivas.	46
4.2.6 Retroalimentación y Ajustes.	47
4.2.7 Tendencias en la Eficiencia Después de las Acciones Correctivas.	48
4.2.8 Pruebas de Normalidad para los Datos de	49

Eficiencia Q1 y Q2 del2022.	
4.2.9 Prueba de Hipótesis para la Eficiencia de los Equipos.	50
4.2.10 Tendencia de Calidad en los Equipos.	52
4.2.11 Pruebas de Normalidad para los Datos de Calidad Q1 y Q2 del 2022.	52
4.2.12 Prueba de Hipótesis para la Calidad de los Equipos.	54
4.2.13 Tendencias en la Disponibilidad Después de las Acciones Correctivas.	55
4.2.14 Pruebas de Normalidad para los Datos de Eficiencia Q1 y Q2 del 2022.	56
4.2.15 Prueba de Hipótesis para la Disponibilidad de los Equipos.	58
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	60
5.1 Análisis de las Tendencias de los Métricos Principales Después de la Implementación de las Acciones Correctivas.	60
5.2 Análisis de Tendencia del <i>OEE</i> .	61
5.3 Prueba de Hipótesis de los Datos de <i>OEE</i> para Q1 y Q2 del 2022.	66
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	68
6.1. Conclusiones.	68
6.1.1 Respuesta a Pregunta de Investigación.	69
6.1.2 Análisis de la Hipótesis.	69
6.1.3 Verificación del Objetivo Generales.	70
6.1.4 Verificación de los Objetivos Específicos.	70
6.2. Recomendaciones.	71
6.2.1 Uso de Tablero Digital	71

6.2.2 Disminuir la Cantidad de Defectos	72
BIBLIOGRAFÍA.	74
ANEXOS.	77
Anexo A. Figura I Diagrama de Pescado	77
Anexo B. Tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y <i>OEE</i> de Q1 2022.	78
Anexo C. Tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y <i>OEE</i> de Q2 2022.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Actualización del Negocio.	4
Tabla 4.1 Materiales Utilizados.	34
Tabla 4.2 Equipo de Trabajo.	36
Tabla 4.3 Descripción del Problema y sus Síntomas Observados.	37
Tabla 4.4 Objetivo General y Objetivos Específicos.	38
Tabla 4.5 Calendario Parcial de Turnos.	42
Tabla 4.6 Lluvia de Ideas.	44
Tabla 4.7 Ponderación de Ideas.	45
Tabla 4.8 Acciones Correctivas	46
Tabla 4.9 Retroalimentación y Ajustes.	48
Tabla 5.1 Comparativa de Métricos.	60
Tabla 6.1 Porcentaje de Mejora.	68
Tabla 6.2 Estatus de Objetivos Específicos.	70
Tabla 6.3 Recomendación de Factores a Analizar Relacionados con la Calidad.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Precio Actual de Acción de <i>Align Technology</i> ®.	8
Figura 2.2 Presentación de Medibles Actuales en la Empresa.	9
Figura 2.3 Diagrama de Flujo a Gran Escala de las Áreas de la Empresa.	12
Figura 3.1 Formula para Calcular el OEE con Rendimiento.	25
Figura 4.1 Metodología Aplicada a Esta Investigación.	35
Figura 4.2 Resumen de Datos Históricos de Eficiencia.	40
Figura 4.3 Resumen de Datos Históricos de Calidad.	41
Figura 4.4 Resumen de Datos Históricos de Disponibilidad.	42
Figura 4.5 Tendencia de Eficiencia Después de la Implementación de Acciones.	48
Figura 4.6 Prueba de Normalidad de Eficiencia para Q1 2022.	49
Figura 4.7 Prueba de Normalidad de Eficiencia para Q2 2022.	50
Figura 4.8 Prueba de Hipótesis para la Eficiencia de los Equipos.	51
Figura 4.9 Tendencia de Calidad Después de la Implementación de Acciones.	52
Figura 4.10 Prueba de Normalidad de Calidad para Q1 2022.	53
Figura 4.11 Prueba de Normalidad de Calidad para Q2 2022.	53
Figura 4.12 Prueba de Hipótesis para la Calidad de los Equipos.	55
Figura 4.13 Tendencia de Disponibilidad Después de la Implementación de Acciones.	56
Figura 4.14 Prueba de Normalidad para Disponibilidad para Q1 2022.	57

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura 4.15 Prueba de Normalidad para Disponibilidad para Q2 2022.	57
Figura 4.16 Prueba de Hipótesis para la Disponibilidad de los Equipos.	59
Figura 5.1 Tendencia de <i>OEE</i> para Q1 de 2022.	61
Figura 5.2 Resumen Gráfico de <i>OEE</i> para Q1 de 2022	62
Figura 5.3 Tendencia de <i>OEE</i> para Q2 de 2022.	63
Figura 5.4 Resumen Gráfico de <i>OEE</i> para Q2 de 2022	63
Figura 5.5 Prueba de Normalidad de <i>OEE</i> para Q1 de 2022.	64
Figura 5.6 Prueba de Normalidad de <i>OEE</i> para Q1 de 2022.	65
Figura 5.7 Prueba de Hipótesis para el <i>OEE</i> .	66
Figura 6.1 Visualizador Digital de Indicadores Claves.	72

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de medir la eficiencia general de los equipos en las industrias reside en la necesidad de conocer y entender el comportamiento de los procesos y subprocesos que se realizan, así como los niveles de aceptación de piezas defectuosas, productividad y disponibilidad operacional. Todo lo anterior con la finalidad de poder mejorar la eficiencia del sistema. Como dijo el célebre físico y matemático William Thomson “Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.”

Existen muchas herramientas en el área de la manufactura, calidad y mantenimiento que nos permiten medir los indicadores claves de rendimiento. Sin embargo, debido a los requerimientos de las industrias se necesita que esta información se obtenga de una manera más rápida y sencilla de comprender. La simplicidad de los indicadores resultantes siempre facilitará el trabajo a la hora de tomar decisiones sobre el negocio.

Por tal razón, entre varios indicadores claves de rendimiento que existen y se utilizan actualmente en las empresas, para la empresa donde se realizó esta investigación, se propuso comenzar a utilizar un indicador que cumpliera con los criterios más significativos para la gerencia, los cuales son; conocer la cantidad de producción realizada, medir la calidad del producto que se realiza y conocer la disponibilidad de los equipos utilizados. De esta manera, se seleccionó la Eficiencia General de los Equipos (*OEE, Overall Equipment Effectiveness*, por sus siglas en inglés) como indicador clave de rendimiento a utilizar, con un enfoque no solo del rendimiento de las máquinas a evaluar, si no del proceso completo de entrada a fin, es decir, que las mediciones que se realizarán en la empresa con este indicador, servirán para obtener una visualización más amplia del comportamiento real del proceso y maquinaria que se utilizan para manufacturar el producto principal.

Por definición el *OEE* es un indicador que mide la eficacia de la maquinaria industrial, y que se utiliza como una herramienta clave dentro de la cultura de mejora continua. Otra manera de definirlo al *OEE* sería que es una razón porcentual que sirve para medir el aprovechamiento integral de la maquinaria industrial, la correcta implementación de un sistema *OEE* repercute directamente en el rendimiento que se va a obtener del proceso de manufactura. Esto se debe a que conociendo el *OEE* pueden tomarse acciones que: reducen los tiempos en los que las máquinas están paradas, se eliminan las causas por las que hay pérdidas de rendimiento (cuellos de botella y velocidades reducidas) y aumenta el índice de calidad del producto, minimizando retrabajos y pérdidas ocasionadas por elaboración de producto defectuoso.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se plantearán los antecedentes y contexto que facilitará entender el problema. De igual manera se hablará de temas relacionados a la historia de la compañía y cómo se involucra con el planteamiento del problema.

2.1 Antecedentes

Para lograr comprender mejor el problema aquí descrito se realiza una visualización de la historia de la empresa.

2.1.1 Historia de la Empresa

Durante los 24 años de actividad, *Align Technology*® destaca como una empresa innovadora y de alta tecnología, que invierte en investigación y desarrollo para asegurar la mejora continua en sus productos, ofreciendo mejores soluciones y resultados a los proveedores y sus pacientes.

En 1997, cinco empleados en un pequeño dúplex en Redwood City, California, fundaron *Align Technology*® con un concepto simple en mente: Cómo aprovechar la tecnología para enderezar los dientes. Solo unos años más tarde, en 1999, *Align Technology*® fue pionera en el mercado de la ortodoncia invisible con la introducción del sistema *Invisalign*® y pronto lanzó una gran campaña publicitaria nacional en EE. UU. En 2001, *Align Technology*® había fabricado un millón de alineadores transparentes únicos, ayudó a tratar a cientos de pacientes y capacitó a más de 10000 médicos.

Al combinar la planificación del tratamiento digital y la personalización masiva, con la ingeniería de formas basada en principios biomecánicos, han revolucionado la industria de la ortodoncia. El sistema *Invisalign*® ha seguido evolucionando durante los últimos 24 años. Sobre la base de su experiencia, una base de datos de aproximadamente 10,9 millones de casos, innovaciones

continuas en materiales de alineadores, algoritmos del programa digital, sistemas de fuerza 3D, el sistema *Invisalign*® se puede utilizar para tratar una amplia gama de casos, desde adolescentes hasta adultos.

En 2011, adquirieron el escáner intraoral *iTero*®. La tecnología de escaneo digital fue una extensión natural de los procesos de tratamiento digital del sistema *Invisalign*®, lo que permitió mejores escaneos de pacientes y una mejor experiencia del paciente. Con más de 8.4 millones de casos de coronas restauradoras, puentes e implantes personalizados habilitados por el escáner *iTero*® hasta la fecha, *Align Technology*® continúa aumentando su inversión en flujos de trabajo de restauración digital. Las prácticas actuales requieren una gama de soluciones habilitadas digitalmente, desde visualización en el consultorio, capacidades de Dibujo Asistido por Computadora (*CAD, Computer Aid Design*, por sus siglas en inglés), opciones de fresado en el consultorio y flujos de trabajo de laboratorio para odontología restauradora, hasta herramientas y aplicaciones diseñadas exclusivamente para el tratamiento *Invisalign*®, que solo *iTero*® Element puede proporcionar. En la tabla 2.1 se muestra la historia de la empresa de manera cronológica.

Tabla 2.1 Actualización del Negocio. Datos Extraídos de <https://www.aligntech.com/about>

Año	Actualización del negocio.
1997	Fundación
1998	Aprobación de la FDA para la comercialización del sistema de alineadores plásticos.
1999	Introducción de alineadores plásticos al mercado en los EE.UU.
2001	Introducción de alineadores plásticos en Europa y México.
2002	Inicio de actividades en Brasil.

Tabla 2.1 Actualización del Negocio. (Continuación)

2005	Inicio de las actividades en Japón. También se alcanzó la meta de la producción de 15 millones de alineadores únicos.
2008	Lanzamiento de alineadores plásticos para pacientes adolescentes.
2009	Se alcanza la meta de un millón de tratamientos iniciados en todo el mundo.
2010	Lanzamiento de alineadores plásticos G3, un conjunto de innovaciones diseñadas para obtener mejores resultados clínicos. Además, se lanza al mercado alineadores plásticos Lite®, con el objetivo de resolver los casos menos complejos a un precio menor
2011	Adquisición de Cadent Holdings®, Inc., un proveedor líder de soluciones de escaneo 3D con aplicaciones para la odontología y ortodoncia. Lanzamiento de alineadores plásticos G4, una solución con aditamentos optimizados para movimientos específicos.
2012	Mejoras al tratamiento alineadores plásticos Lite® con refinamientos automáticos y la obtención de una licencia para la comercialización en Rusia.
2013	Gran mejora en los resultados clínicos con la liberación de SmartTrack®, material para la fabricación de los alineadores, con características fisicoquímicas que permiten un mayor ajuste de los alineadores sobre los dientes y una mejor aplicación de las fuerzas. Lanzamiento de alineadores plásticos i7 una opción para tratamientos sencillos y también de algunas mejoras a los alineadores plásticos G4.
2014	Lanzamiento de alineadores plásticos G5, como solución para casos de mordida profunda.
2015	Nuevo programa digital de visualización de imágenes en 3D, <i>ClinCheck Pro®</i> , el cual incorpora herramientas y recursos para proporcionar al proveedor un mayor control sobre el resultado de sus tratamientos.

Tabla 2.1 Actualización del Negocio. (Continuación)

	Lanzamiento de alineadores plásticos G6, diseñado para tratamientos de extracciones de primeros premolares que requieran de máximo anclaje. Lanzamiento de <i>ClinCheck Web</i> ®, un programa basado en la red que permite la revisión de casos de alineadores plásticos prácticamente desde cualquier plataforma.
2017	Actualmente, el sistema de alineadores plásticos se ofrece en más de 45 países.
2021	En la actualidad, han ayudado a tratar aproximadamente a 10,9 millones de pacientes con el sistema <i>Invisalign</i> ® y están impulsando la evolución de la odontología digital con el escáner intraoral <i>iTero</i> ®, que ayuda a modernizar las prácticas actuales al permitir flujos de trabajo de restauración y ortodoncia digital mejorados para ayudar a mejorar los resultados de los pacientes y la eficiencia de la práctica.

2.1.2 Director Ejecutivo

Joseph M. Hogan se incorporó a Align Technology® en junio de 2015 como presidente, director ejecutivo (*CEO, Chief Executive Officer*, por sus siglas en inglés) y director de *Align Technology*®. El Sr. Hogan es un director ejecutivo consumado con amplia experiencia en múltiples industrias, incluida la atención médica, la tecnología y la automatización industrial. Antes de unirse a Align Technology®, el Sr. Hogan se desempeñó como CEO de ABB®, una compañía global de tecnologías de automatización y energía de \$ 40 mil millones con sede en Zurich, Suiza. Durante sus cinco años en ABB®, el Sr. Hogan supervisó un aumento del 25% en los ingresos. Antes de ABB®, el Sr. Hogan pasó 25 años en General Electric (GE®) en una variedad de puestos ejecutivos y de gestión, incluidos ocho años como director ejecutivo de GE Healthcare®, donde impulsó una importante expansión geográfica y de la cartera de mercado y más del doble de ingresos de \$ 7 mil millones a \$ 16 mil millones de dólares americanos. Hogan

obtuvo una Maestría en Administración de Empresas (*MBA, Master of Business Analytics*, por sus siglas en inglés) de la Universidad Robert Morris y un B.S. Licenciado en Negocios y Economía de Geneva College, ambos en Pennsylvania.

2.1.3 Último Informe Financiero Registrado

Align Technology® anuncia los resultados financieros del tercer trimestre de 2020

21 de octubre de 2020

- a) Alcanza el paciente número nueve millones de *Invisalign*®.
- b) Los ingresos totales del tercer trimestre aumentaron un 20.9% año tras año a un récord de \$ 734.1 millones de dólares americanos.
- c) Utilidad neta diluida por acción según GAAP del tercer trimestre de \$ 1.76, utilidad neta diluida por acción no conforme a GAAP del tercer trimestre de \$ 2.25 dolares americanos.
- d) Margen operativo del tercer trimestre de 24.1%, 44.8 puntos más de forma secuencial y 3,2 puntos más año tras año.
- e) El volumen de *Clear Aligner*® del tercer trimestre aumentó un 28.7% año tras año a 496.1 mil cajas.
- f) Margen bruto de *Clear Aligner*® del tercer trimestre de 74.7%, un aumento de 10.2 puntos secuencialmente y un aumento de 1.2 puntos año tras año.
- g) Los casos del tercer trimestre con *Clear Aligner*® para pacientes adolescentes aumentaron un 25.6% año tras año a 162.7 mil casos
- h) Los ingresos de Q3 *Imaging Systems* y servicios *CAD / Manufactura asistida por computadora (CAM, Computer Aid Manufacturing*, por sus siglas en inglés) aumentaron un 24.5% año tras año a \$ 113.4 millones de dólares americanos.

En la figura 2.1 se puede visualizar un gráfico que representa el valor de las acciones de la compañía a lo largo del tiempo y su incremento exponencial en los últimos años que han llevado a *Align Technology*® de un precio por acción de

\$13.06 en el 2001 hasta su precio actual en el mercado de valores de \$596.50 por acción según la NASDAQ.



Figura 2.1 Precio Actual de Acción de *Align Technology*®.

2.2 Descripción del Problema.

La empresa donde se pretende realizar el estudio gestiona varios tipos de indicadores claves de rendimiento, con el propósito de medir, analizar, corregir, controlar y prevenir las tendencias de producción, calidad y tiempo muerto entre otros rubros. Sin embargo, esta forma actual del manejo de los datos se realiza de manera independiente para cada una de las diferentes áreas o departamentos, es decir, que para cada área o departamento ej. Manufactura, Calidad o Mantenimiento, se genera un indicador propio del área que se acompaña de gráficos de tendencia entre más información para ser presentado cuando se requiera. Esta gestión de información la lleva a cabo un grupo de trabajo correspondiente al área o departamento que se formaliza para dar seguimiento a las posibles oportunidades que se pudieran presentar a lo largo de la investigación y desarrollo de los datos que arroja el métrico, esto genera múltiples grupos de trabajo.

Al realizar los métricos de manera independiente, se presenta 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 muchos recursos para consolidarla. Esto genera que la resolución de los problemas del día a día se entorpezcan y que las acciones correctivas no sean del todo efectivas, debido a que no se tienen la información necesaria ni la correlación de los métricos

Por otra parte, los diferentes equipos de trabajo que se forman para la solución de problemas relacionados con los indicadores que presentan tendencias negativas o se salen por completo de sus metas establecidas, muchas de las veces son integrados 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. En la figura 2.2 se muestran los medibles actuales de la empresa.

MX2 Monthly Performance Metrics											Feb wk 9	
Metric	Owner	Goal	Jan	Feb	Mar	Q1	WK#1	WK#2	WK#3	WK#4	WK#5	
General AFAB												
Produccion Total		13635000	12,729,265.00				3,016,997.00	6,040,757.00	8,555,960.00	11,626,176.00		
Dias Trabajados		30	30.50				7.00	14.00	21.00	28.00		
Produccion Diaria		454500	417,352.95				430,999.57	431,482.64	407,426.67	415,220.57		
Adherencia		85%	79%				81%	81%	77%	78%		
# de Casos Sin fallas		NA	228,401.00				62,622.00	109,318.00	196,049.00	308,105.00		
# de Casos Fallados		NA	67,201.00				20,979.00	31,184.00	43,434.00	64,459.00		
Yield Total%		76%	77.27%				78.79%	77.81%	77.85%	79.10%		
Yield EMEA %		76%	74.87%				75.77%	74.45%	74.4%	74.25%		
Yield NAm %		76%	77.72%				79.39%	78.42%	78.46%	78.16%		
SLA Refabrication Total		1.02%	1.06%				0.91%	0.94%	0.94%	0.90%		
SLA Refabrication EMEA		1.02%	1.26%				1.13%	1.15%	1.16%	1.12%		
SLA Refabrication Americas		1.02%	1.02%				0.87%	0.89%	0.90%	0.91%		
Aligner Refabrication Total		0.40%	0.30%				0.25%	0.29%	0.29%	0.29%		
Aligner Refabrication EMEA		0.40%	0.32%				0.30%	0.35%	0.37%	0.37%		
Aligner Refabrication Americas		0.40%	0.30%				0.24%	0.28%	0.27%	0.28%		
# ACL		70.00	65				65	65	65	65		
PPMs CC			2.3						92			
Quejas de cliente x semana			29						6			

Figura 2.2 Presentación de Medibles Actuales en la Empresa.

Los indicadores claves de rendimiento que mide la empresa, incluyen la producción total, piezas defectuosas, tiempo muerto registrado, el rendimiento de primer paso (*FPY, First Pass Yield*, por sus siglas en inglés), y quejas de cliente.

Este proyecto propone identificar, analizar y evaluar los diferentes indicadores claves de rendimiento (*KPI, Key Performance Indicator*, por sus siglas en inglés) que utiliza la empresa, con el propósito de integrarlos en un indicador general (*OEE*) que ayuda a los usuarios de los métricos a la toma de decisiones.

2.3 Pregunta de Investigación.

¿Cuál será el impacto que tendrían los métricos de disponibilidad operacional, eficiencia y calidad en el área de fabricación de alineadores de la empresa, una vez que se implemente el *OEE* como métrico base?

2.4 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.

2.5 Objetivo General

Este análisis tiene como propósito el evaluar y mostrar que la integración de los indicadores claves de rendimiento en uno general puede ser de beneficio para la empresa.

2.5.1 Objetivo Específicos

- a) Organizar la información interna de la planta de manera estructurada por departamento o área y fecha.
- b) Consolidar (integrar) la información obtenida en el indicador *OEE*.
- c) Determinar la forma en que se presentaran los datos.
- d) Validar el uso de la herramienta y demostrar resultados.

2.6 Justificación

Al momento la empresa cuenta con diferentes técnicas para la presentación de indicadores claves de rendimiento, las cuales consisten básicamente en presentar la información de manera individual, para después crear equipos de trabajo y generar planes de acción para los métricos fuera de meta.

Esta forma de presentar los indicadores no es del todo efectiva para mostrar de manera rápida y concisa el comportamiento general de la empresa, por lo que genera que se tenga que sobreanalizar la información para entenderla y después realizar un plan de acción para los métricos que están por debajo de la meta establecida. Esta manera de utilizar los indicadores duplica el esfuerzo, generando desperdicios, en su mayoría de tiempo y de recurso humano.

Con base en la información de la empresa mencionada en las secciones 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3 se puede observar cómo la empresa ha sufrido muchos cambios en un corto tiempo y ha crecido, lo que la ha llevado a no poder establecer herramientas o sistemas de medición efectivos que les ofrezcan información de manera rápida y concisa.

Se desea realizar esta investigación con la finalidad de mostrar que la implementación de un métrico general para medir la eficiencia, puede ser de beneficio para la empresa para agilizar el proceso de análisis y resolución de problemas y que a su vez esto mejore los índices de calidad, producción y tiempo muerto.

2.6.1 Supuestos

La actual propuesta supondrá que:

- a) Todos los datos necesarios son confiables y de fácil acceso a través de las bases de datos internas de la empresa.
- b) Las fórmulas que se emplearan para calcular el índice clave de rendimiento son válidas y confiables para ser utilizadas.

2.7 Delimitaciones

El análisis que se realizará en la empresa será únicamente para el área de fabricación de alineadores, ninguna de las áreas restantes de la empresa se verá involucradas en el análisis realizado. El área de fabricación de alineadores junto con el área de Impresión de moldes 3D son las áreas de más impacto dentro de la empresa debido a que los procesos más críticos se encuentran en esta área. En la figura 2.3 se pueden observar las diferentes áreas de la empresa, empezando en el tratamiento clínico hasta el área de limpieza y embarque. La figura también señala el área de enfoque del estudio y se resaltan en línea roja punteada el área donde se realizará la investigación.

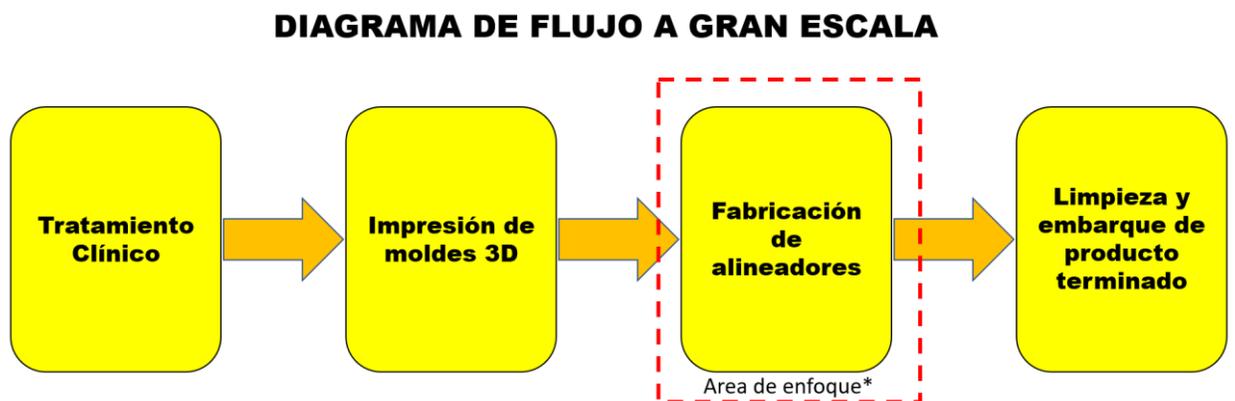


Figura 2.3 Diagrama de Flujo a Gran Escala de las Áreas de la Empresa

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los temas, investigaciones previas y conceptos teóricos con respecto a las bases que sustentan la información de esta investigación.

3.1 Indicadores Claves de Rendimiento

Countinho (2015) menciona que los indicadores claves de rendimiento son aquellos que son 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 lo que más importa. KPI:

- a) Se utilizan para mejorar el rendimiento y lograr objetivos.
- b) Centra la atención en lo que importa.
- c) Proporcionar evidencia para informar la toma de decisiones.

Los KPI también son conocidos como indicadores de calidad o indicadores clave de negocio que pueden ser utilizados y aplicables en cualquier área de negocio y sector productivo. Los KPI son utilizados por diversas ventajas:

- a) Permiten obtener información valiosa y útil.
- b) Medir determinadas variables y resultados a partir de dicha información.
- c) Analizar la información y efectos de unas determinadas estrategias (así como las tareas que se utilizaron para llevar a cabo las mismas).
- d) Comparar la información y determinar las estrategias y tareas efectivas.
- e) Tomar las decisiones oportunas.

3.1.1 Características de un KPI

De Pinedo (2017) explica que para que un KPI funcione como debe, este tiene que cumplir con las siguientes características:

- a) Alcanzable: Los objetivos planteados deben de ser realistas.
- b) Medible: Aunque suene obvio, un KPI debe de poder medirse.
- c) Relevante: No llenarse de datos, seleccioná solo los más importantes.
- d) Periódico: El indicador tiene que ser analizable periódicamente.
- e) Exacto: Elige solo la parte más precisa de toda la información recabada.

3.2 KPI Básicos de Manufactura

Algunos de los indicadores de rendimiento básicos para manufactura son los siguientes:

- a) Tiempo de ciclo, de entrega o de suministro de producción – Es el tiempo que transcurre a partir del momento en que ingresa la orden de compra, hasta que el pedido se encuentra en producto terminado.
El tiempo de ciclo a veces se usa para describir cuánto tiempo le tomaría al equipo completar un movimiento o proceso. Es importante comprender cómo se usa la palabra ciclo. El tiempo de proceso es el tiempo que tarda una pieza en entrar y salir de una estación de trabajo. El tiempo de ciclo normalmente se refiere al tiempo que lleva trabajar en una unidad de principio a fin.

$$\textit{Tiempo de ciclo} = \frac{\textit{Tiempo neto de producción}}{\textit{Número de unidades producidas}} \quad (3.1)$$

El entendimiento de este concepto es fundamental para la organización de todos los procesos a lo largo de toda la cadena de suministro. Dependiendo de tramo de la cadena de suministro en que nos fijemos y del punto de vista que se tenga, el significado del tiempo de entrega (del inglés, *lead time*) variará ligeramente. Este concepto puede dividirse en parcelas para comprender cómo afecta a cada área:

- i. Ventas o gestión comercial: Conocer el *lead time* con precisión permitirá comprometerse a una fecha de entrega u otra con los clientes.
 - ii. Compras o aprovisionamiento: Gestionar el *lead time* de los proveedores de materias primas es esencial para controlar que no haya desabastecimientos en la línea de producción.
 - iii. *Lead time* de producción: El *lead time* de los procesos manufactureros facilita el cálculo de los tiempos de fabricación y esto luego tendrá impacto en la gestión logística y comercial.
 - iv. Logística y distribución: El *lead time* logístico cobra una dimensión integral: Se necesita conocer el tiempo de suministro del resto de áreas para poder saber cuánto va a tardar producción en fabricarlos, cuándo van a llegar al almacén y en cuánto tiempo se pueden tramitar y entregar al cliente; (Fogg,2020).
- b) Nivel de servicio (entregas a tiempo) – Mide el porcentaje de pedidos que se entregan a tiempo frente a la fecha de compromiso con el cliente; (Neira,2020).
- c) Productividad – Relación entre lo producido y los medios empleados, tales como mano de obra, materiales, energía, etc. (Rae, 2021).

$$Productividad = \frac{Produccion}{Insumo} \quad (3.2)$$

La productividad es la capacidad que se tiene para dar más (más resultados, más producto, más dinero, más beneficios, etc.) sin tener que aumentar los recursos implicados (Iglesias,2013). Se expresa como una medida para conocer qué tan bien un país, industria o unidad de negocios utiliza los recursos. Todo proceso tiene una serie de entradas provenientes de clientes y partes interesadas. Tienen actividades que

agregan valor a las entradas haciendo que se transformen en salidas, que son los bienes y servicios hacia clientes, otros procesos o partes interesadas.

Para hacer más productivo un proceso se requiere considerar las siguientes opciones:

- i. Reducción de entrada con salida constante: Una tienda de ropa determina que le es más beneficioso tener dos vendedores en vez de tres, pues el nivel de ventas es muy similar. Aquí se redujo la entrada (vendedores) para mantener la salida constante (ventas). Para esto tuvo que hacer algo al interior del proceso que permitiese percatarse que uno de los vendedores no estaba siendo productivo.
 - ii. Incremento de la salida con entrada constante: La misma tienda de ropa capacita a sus tres vendedores en técnicas avanzadas de servicio al cliente, lo que le permite mejorar el nivel de ventas. Aquí se mantuvo la entrada constante (vendedores) y aumentó la salida (ventas) a través de un entrenamiento. Nuevamente fue necesario hacer algo al interior del proceso para obtener mejores resultados (Betancourt, 2017).
- d) Eficiencia- Se refiere a lograr las metas con la menor cantidad de recursos. Obsérvese que el punto clave en esta definición es ahorro o reducción de recursos al mínimo (Hernandez, 2016). Se puede definir también como el índice de cumplimiento de la producción esperada, producción planeada, capacidad instalada o meta productiva.

La fórmula que se utiliza para realizar el cálculo de la eficiencia en producción es la siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Produccion Real}}{\text{Produccion Esperada}} \times 100 \quad (3.3)$$

Muchas organizaciones, en aras de mantener sus niveles de productividad, efectúan constantes evaluaciones del ritmo de trabajo mediante la comparación de la producción real y la producción estándar (Salazar, 2019).

3.3 KPI Básicos de Calidad

Los principales KPI que se utilizan en el área de calidad para medir cantidad o porcentajes de defectos son los siguientes:

- a) Partes por millón defectuosas (*DPPM, Defective Parts Per Million*, por sus siglas en inglés) se refiere a el índice que se utiliza para calcular cuántas partes defectuosas resultaron de cada millón de partes producidas (Montgomery, 2001).

$$\% PPM = \frac{\text{Cantidad de piezas defectuosas}}{\text{Cantidad de piezas inspeccionadas}} \times 1,000,000 \quad (3.4)$$

- b) El rendimiento de la primera pasada (*FPY, First Pass Yield*, por sus siglas en inglés) indica el porcentaje de producto que cumple con todas las especificaciones y pasa inspección de calidad la primera vez que pasa por el proceso, sin retrabajo o *scrap* (Liker, 2004). Su fórmula es la siguiente:

$$\% FPY = \frac{\text{Cantidad de unidades sin defectos}}{\text{Cantidad de unidades procesadas}} \times 100 \quad (3.5)$$

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 costos 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 (Martinez, 2014).

- c) Índice de desperdicio (*scrap*, del inglés) se refiere a uno de los siete desperdicios catalogados por el sistema de producción Toyota® (*TPS*, Toyota Production System®, por sus siglas en inglés). Cada vez que aparecen defectos, se incurre en costos adicionales reelaboración de la parte, reprogramación de producción, etc. Los defectos en la práctica a veces pueden duplicar el costo de un solo producto. Esto no debe ser transmitido al consumidor y debe ser tomado como una pérdida (Toledano, 2009).

La fórmula que se utiliza para su cálculo es la siguiente:

$$\% SCRAP = \frac{\text{Total de defectos}}{\text{Total de unidades}} \times 100 \quad (3.6)$$

3.4 Conceptos Básicos de Mantenimiento

Algunos de los conceptos básicos que se requieren para entender el tema son los siguientes:

- a) Falla: La terminación de la capacidad de un equipo para realizar una función requerida (Lezana, 1990).
- b) Disponibilidad: La disponibilidad de un aparato es, matemáticamente, Tiempo medio entre fallas (*MTBF*, *Mean Time Between Failures*, por sus siglas en inglés) / (*MTBF* / Tiempo medio por reparación (*MTTR*, *Mean Time To Repair*, por sus siglas en inglés) para el tiempo de trabajo programado.
- d) Tiempo de Falla: Es el tiempo que transcurre desde que la unidad está fuera de servicio por una falla.
- e) Tiempo de Reparación: Se considerará igual al tiempo de falla.

- f) **Mantenimiento:** Es el conjunto de actividades y procesos estratégicos realizados para conservar o restablecer infraestructuras, sistemas, equipos y dispositivos de instalación a una condición que les permita cumplir con las funciones requeridas dentro de un marco económico óptimo y de acuerdo con las normas técnicas y procedimientos de seguridad establecidos. Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la más alta disponibilidad y con el máximo rendimiento (Knezevic,1996).
- g) **Mantenimiento Correctivo:** Es el mantenimiento que se ejecuta después de la aparición de una falla para restablecer un equipo a una condición en la cual pueda cumplir la función requerida.
- h) **Mantenimiento Preventivo:** Es el mantenimiento que se ejecuta a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos, utilizando todos los medios disponibles, para determinar frecuencia de inspecciones, revisiones, sustitución de piezas, probabilidad de aparición de fallas, vida útil, etc. Tiene el objeto de reducir, predecir o prevenir fallas, o detectarlas en su fase incipiente, evitando así la degradación o deterioro del equipo y sus consecuencias negativas para el proceso productivo.
- i) **Mantenimiento Mayor:** Es el mantenimiento preventivo o correctivo que se ejecuta a una o varias instalaciones o sistemas para restablecer o conservar sus condiciones operacionales. Para ejecutar este mantenimiento, se requiere detener la producción de las instalaciones o sistemas (Sanzol, 2010).
- j) **Proyecto de Mantenimiento:** Son las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento, corrigiendo la causa raíz de la falla de manera integral. Las acciones más comunes que realiza son: Modificaciones de elementos de

máquinas, modificaciones de alternativas de proceso, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación, mediante la elaboración de un proyecto (Ocque,2004).

3.4.1 KPI Básicos de Mantenimiento

Algunos de los KPI básicos que se utilizan en el área de mantenimiento son los siguientes:

- a) Tiempo medio por reparación (*MTTR*, Mean Time To Repair, por sus siglas en inglés). Se trata de una métrica o magnitud que se utiliza en el ámbito profesional del mantenimiento y que representa cuánto tiempo es necesario para reparar o resolver un fallo desde que se originó. De este modo, se toma en consideración el tiempo total: desde que el equipo sufre el fallo hasta que es finalmente resuelto y es devuelto a sus condiciones normales.

Por tanto, el *MTTR* permite a los técnicos organizarse para la reparación del problema mediante la estimación de un tiempo medio de resolución. Hay incidencias más complicadas que otras, lo que supone invertir más tiempo en su subsanación. Esta magnitud facilita la labor a los técnicos para saber cuánto tiempo van a necesitar para reparar el problema de forma efectiva.

El *MTTR* se calcula mediante la división del tiempo total de mantenimiento entre la cantidad de acciones de reparación que el técnico tiene que hacer. Su fórmula estará expresada de la siguiente manera:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de inactividad}}{\textit{Cantidad de acciones de reparacion}} \quad (3.7)$$

Muchas veces, se busca reducir el *MTTR* en relación con un problema. Se puede cometer el error de querer reducir sólo el tiempo total para conseguirlo, pero lo cierto es que hay que reducir ambos. Sin embargo, el *MTTR* puede no ser útil cuando no se requieren muchas acciones de reparación.

Es importante definir el tiempo total disponible con la siguiente fórmula (Allen,2020)

$$TTD = \text{Tiempo total de funcionamiento} + \text{Tiempo total de inactividad} \quad (3.8)$$

Donde *TTD*=Tiempo total disponible.

- b) Tiempo medio entre fallas (*MTBF*, *Mean Time Between Failures*, por sus siglas en inglés) es junto con el *MTTR*, uno de los principales indicadores de la disponibilidad de un equipo. El *MTBF* representa el promedio del tiempo que transcurre entre dos averías en un mismo equipo. Cuanto más elevado sea el *MTBF*, más fiable es el funcionamiento de la máquina en cuestión o bien menor será su tiempo de inactividad.

El cálculo del *MTBF* se hace con base en la diferencia entre el tiempo total disponible y el tiempo perdido, dividiendo por el número de paradas. La fórmula se representa con la siguiente expresión:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Cantidad de acciones de reparacion}} \quad (3.9)$$

El *MTBF* actual o histórico se calcula utilizando observaciones en el mundo real, el cálculo del *MTBF* actual requiere de un conjunto de observaciones, cada observación es:

- i. Momento del tiempo de funcionamiento: El momento en el cual una maquina empieza a trabajar inicialmente o después de una reparación.
- ii. Momento del tiempo de inactividad: el momento en el cual una maquina fallo después de trabajar a partir del momento de tiempo de funcionamiento previo.

Por lo que cada tiempo entre falla es la diferencia entre una observación del momento del tiempo de funcionamiento y el subsecuente momento del tiempo de inactividad.

Mientras que el *MTBF* mide la fiabilidad, el *MTTR* es un fuerte indicador de la eficacia de la reparación. O sea, juntos permiten obtener una previsión de cuánto tiempo está indisponible un determinado sistema. El análisis del *MTBF* y del *MTTR* en conjunto también permite hacer previsiones sobre la producción que, se reduce o se detiene completamente durante las averías. Es posible prever acerca de los costos de mantenimiento y de las reparaciones a lo largo del año.

Con base en estos indicadores, es posible entender cuáles son los equipos menos fiables, es decir, que necesitan más mantenimiento o incluso sustitución. El objetivo debe ser implementar políticas de mantenimiento preventivas y así reducir el número de averías. Un *MTBF* más elevado dará más credibilidad y confianza a su empresa, tanto a nivel interno como con sus clientes.

En cuanto al *MTTR*, el objetivo debe ser reducirlo, lo cual pasa, por un lado, por el mantenimiento preventivo, para que el número de averías sea menor; por otro lado, hace falta, también, reducir el tiempo de reparación. Aquí, se trata de actuar rápidamente y preparar a su equipo, cuanto más rápido se responda a una avería, más rápido se solucionará.

Con un *MTBF* elevado y un *MTTR* bajo, el sistema estará trabajando en su máxima capacidad. En ese caso, se debe continuar con las buenas prácticas y no se debe de dejar de invertir en mantenimiento preventivo (Olofsson,2010).

Estos indicadores están enfocados principalmente en medir las características o condiciones del equipo o sistema que se está utilizando, por lo que se ve limitado su alcance si se desea obtener una visualización completa del proceso que se está realizando, por lo que hace falta tomar en cuenta otros factores que intervienen.

3.5 El *OEE*

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 (Belohlavek, 2006).

Otra definición de *OEE* según la página web Kanban Tool ® es que el *OEE* describe el nivel en el que el proceso es productivo cuando está en funcionamiento. No dice cuánto pueden entregar las máquinas y equipos cuando trabajan a máxima capacidad, sino qué porcentaje del funcionamiento en curso es, de hecho, efectivo. La métrica *OEE* se utiliza para identificar las causas de los desperdicios en un proceso, lo que permite solucionarlos, aumentar la productividad y estabilizar los niveles de eficiencia. También proporciona una línea de base con la que se puede comparar el estado del proceso periódicamente para calibrar si el valor que se entrega a los clientes está aumentando o no. Centrarse en el valor tal y como lo ve el cliente es de suma importancia en la manufactura esbelta, dentro de la cual se suele utilizar la *OEE*.

La eficiencia general de los equipos puede medirse en un plazo relativamente corto y con un costo reducido, al tiempo que proporciona información valiosa sobre lo que debe mejorarse en el proceso.

Si un proceso funcionara con un *OEE* del 100%, significaría que está fabricando únicamente productos sin errores, a la máxima velocidad posible y sin interrupciones. En realidad, un 60% de *OEE* es el estándar, un 85% de *OEE* se considera sobresaliente, y la producción con una *OEE* inferior al 45% necesita una ayuda seria. La eficacia global de los equipos, aunque tiene un valor accesible al instante, no debería convertirse en el único análisis del proceso que se realiza y no debería ser el único punto de preocupación. La razón es que incluso una puntuación relativamente alta identifica puntos débiles e ineficiencias, cuya falta de atención seguirá llevando a una menor entrega de valor al cliente. El hecho que los directivos dejen de centrarse en la mejora de los niveles de valor ofrecidos al cliente y se dediquen simplemente a aumentar el número de *OEE* es algo bastante común, que debería evitarse por el bien de sus clientes y de su empresa.

El sistema de indicadores *OEE* lo forman tres razones de análisis que permiten conocer si lo que falta para llegar al 100% de productividad es porque se ha perdido por disponibilidad (paradas de la maquinaria), eficiencia (no se trabajó con toda la capacidad) o calidad (unidades defectuosas). Adicional a esta manera de calcular *OEE*, también existen otras maneras o variantes que se pueden utilizar a la hora de calcular el *OEE*. Este cambio se realiza de acuerdo con las necesidades de cada usuario de este métrico, una de estas variantes o modificaciones a la fórmula es intercambiar la eficiencia reemplazándola por el rendimiento, como se puede ver en la figura 3.1 donde se utiliza el rendimiento en lugar de la eficiencia para el cálculo de *OEE*.

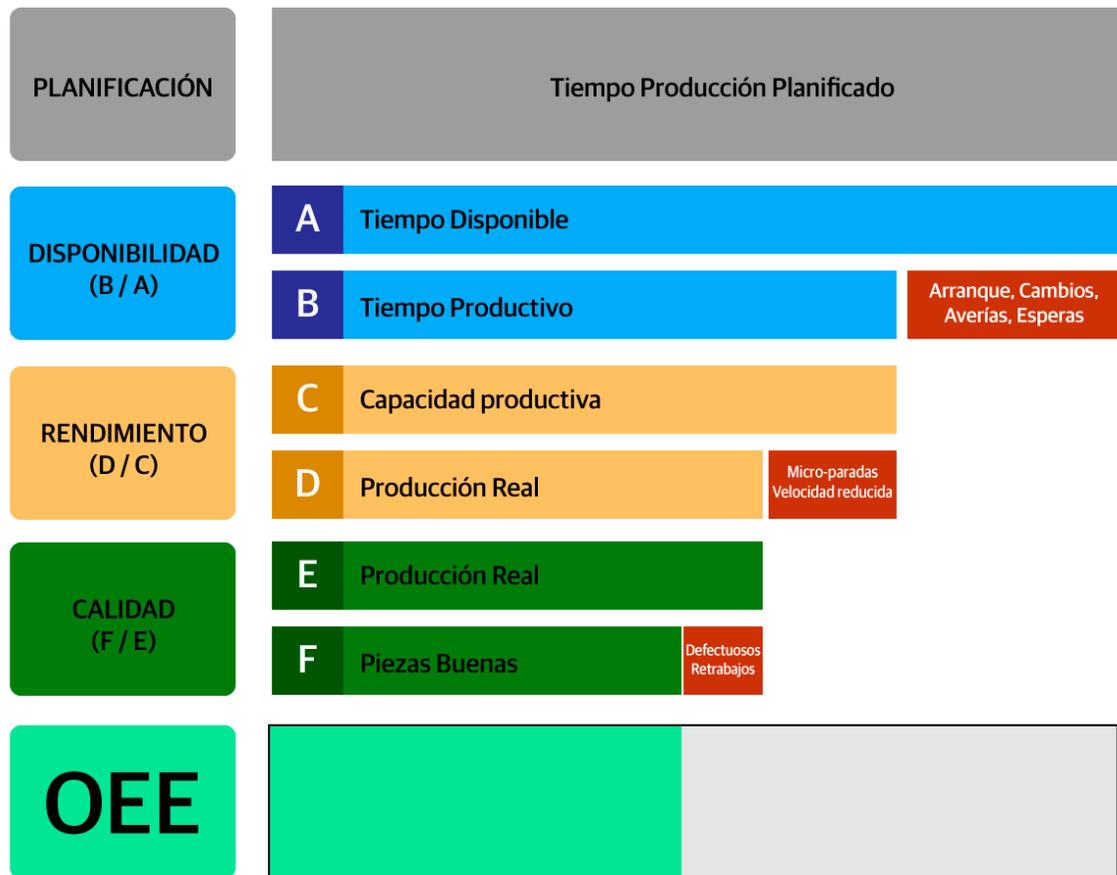


Figura 3.1 Fórmula para Calcular el *OEE* con Rendimiento.

Se pudiera concebir al *OEE* como una herramienta útil para medir la eficiencia de un equipo o sistema de manera completa, tomando en cuenta no solamente las características o cualidades del equipo o sistema, sino también otros factores, como la calidad y la salida de producción brindando al usuario una mejor percepción de la realidad y un estatus más acertado que servirá para la toma de decisiones. Estas decisiones deberán de considerar también otros factores como el factor humano y los costos de operación.

Para realizar el cálculo del *OEE* se utiliza la siguiente fórmula:

$$OEE = \% Disponibilidad \times \% Eficiencia \times \% Calidad \quad (3.10)$$

Donde:

Disponibilidad: Es el tiempo real en que un equipo está en producción. Incluye todos aquellos eventos que interrumpen la producción planeada. El porcentaje de disponibilidad se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo produciendo}}{\text{Tiempo programado para producir}} \times 100 \quad (3.11)$$

Eficiencia: Mide la calidad del trabajo de su equipo, incluyendo su velocidad de trabajo. También se refiere a todas aquellas causas que provocan que los procesos de producción funcionen a menos velocidad de su máxima posible, por ejemplo, tiempos lentos, pequeñas paradas. Esto es:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Produccion Real}}{\text{Produccion Planeada}} \times 100 \quad (3.12)$$

Calidad: Se refiere a partes producidas que no cumplen con los estándares de calidad, incluyendo aquellas que necesitan producirse nuevamente.

$$\% \text{ Calidad} = \frac{\text{Cantidad de piezas buenas}}{\text{Produccion Real}} \times 100 \quad (3.13)$$

3.5.1 Problemas Comunes al Utilizar OEE

De acuerdo con Villafuente (2020), estos son los problemas más comunes al usar el OEE de manera errónea:

- I. Confusión entre el desempeño efectivo total del equipo (TEEP, *Total Equipment Effectiveness Performance*, por sus siglas en inglés) y OEE. OEE es una métrica para medir la efectividad de satisfacer la demanda, para prevenir sobreproducción que es una de las siete *mudas* en manufactura esbelta. No tiene valor producir al 100% de capacidad si no hay demanda.

Si se requiere medir la utilización de activo la métrica a utilizar es TEEP que es el *OEE* x Utilización.

- II. Definición de pérdidas de disponibilidad cuando existe sobrecapacidad, cuando se usa el tiempo muerto u ocioso de un activo, no afecta la disponibilidad.
- III. Pedir a los operarios contabilizar microparadas. Las microparadas no son visibles para el operario y en muchos casos solo son identificables como pérdida de rendimiento. Si el equipo debe producir 100 u/hora x 7hrs = 700 unidades, y solo produce 450 unidades, 250 unidades son pérdida de rendimiento.
- IV. Capacidad reducida en arranque de línea (puesto a punto, ajustes, rendimiento), se considera la hora de arranque como el inicio de tiempo neto de operación. Comúnmente se clasifica como pérdida de rendimiento. Si el equipo arranca con 3 u/hora durante 1 hora cuando debe producir 100 u/hora. ¿Qué es lo que se debe de controlar? El tiempo - se consideran todas las unidades defectuosas; las unidades - quién contabiliza los productos defectuosos durante el puesto a punto o ajuste. La clasificación de las pérdidas por ajustes, por motivo de ajuste, planeado o no planeado, por cambio de modelo o mantenimiento preventivo.
- V. Las seis grandes pérdidas se enfocan en las fallas y anomalías de las máquinas durante la operación de la planta, creando visibilidad de oportunidades a nivel de máquinas, pero existen vacíos sobre problemas de material, personal y método. Dentro de estos problemas está la clasificación de configuración y ajustes y fallas del proceso.
 - a. Las pérdidas de disponibilidad implican que la planta no se encuentra en condiciones para producir de forma continua cuando es requerido. La configuración y los ajustes implican intervenciones de equipos planeadas que no permiten de una producción continua, y se deben contabilizar las pérdidas generadas durante esa parada,

ejecución y arranque. Las falla de proceso se genera cuando hay un paro no planeado de planta por factores externos a "falla de equipos", como problemas de material y mala operación de equipos. El mantenimiento preventivo se considera una pérdida de disponibilidad solo si afecta el tiempo programado de producción.

- b. Las pérdidas de rendimiento representan la producción no realizada por velocidad reducida de operación" debido a mal funcionamiento de equipos y anomalías.
- c. Las pérdidas de calidad son los productos rechazados y reprocesados en etapas anteriores.

A continuación se presentarán algunos artículos relacionados con la implementación del *OEE* en diferentes sectores de la industria manufacturera como base teórica para este proyecto, con el fin de mostrar cómo la implementación de *OEE* en las diferentes ramas de la industria ha sido de beneficio y ha traído consigo grandes ventajas.

Casilimas Macias (2012), 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.

Para la captura de datos fue necesario que los operarios archivaran los reportes manuales en las carpetas de producción, los formatos de reporte de paros, previamente codificados, las causas de los inconvenientes que se presentaban en el proceso y de esta forma poder determinar las causas más recurrentes y así presentar la propuesta de mejora.

En la investigación de Casilimas Macias (2012), se presentan gráficos y figuras, los datos obtenidos en el proceso de implementación de la empresa donde se presenta las principales causas de las perdidas presentes en el proceso productivo, como lo son los cambios de montaje, las fallas de las máquinas. Al realizar la implementación se encontraron resultados del *OEE* variables que van

desde el 19.3% hasta el 78.4%, que indican las diferentes tecnologías y métodos utilizados en el proceso. Esta apreciación se ratifica con las características de los equipos, ya que se tienen máquinas con más de 50 años funcionando. Por lo anterior, para entrar en la escala mundial es imprescindible que la organización realice fuertes inversiones en la adquisición de tecnología de punta. Sin embargo, se puede llegar a mejorar los valores obtenidos con la aplicación de técnicas y herramientas, que contribuyan al cambio de los métodos actuales, lo que se traduciría en una reducción de pérdidas y posterior aumento de la productividad.

Otro ejemplo de aplicación del sistema *OEE* lo reporta Vilema (2019), 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. Ese trabajo fundamenta la investigación y el análisis de la información de los siete últimos meses del año 2016 y los tres primeros del 2017. Se encontraron procesos y operaciones rutinarias que no generaban valor a la línea, creando desperdicios en tiempo y recursos y ocasionando pérdidas en las ventas por no disponer de producto justo a tiempo o devoluciones por parte de clientes. Se estudió la situación actual de la compañía en su cadena de valor y se utilizaron diferentes metodologías y herramientas, como el ciclo de Deming, diagrama de Pareto y control de procesos.

La aplicación de la medición del *OEE* no se ve limitada a un sector de la industria de manufactura sino que puede ser utilizada prácticamente en todos los sectores industriales, como se muestra en la siguiente investigación, en la que Nuñez (2020) 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 investigación tuvo como objetivo la mejora en la eficiencia mediante el uso del sistema *OEE*. Este objetivo se basa en la toma de datos relevantes al

trabajo diario y a su análisis. Se emplearon técnicas propias del sistema de manufactura esbelta para desarrollar las diferentes acciones de mejora que se propusieron tras el análisis de los datos. Se estudiaron diferentes indicadores de la eficiencia industrial integrados en la industria objeto de estudio, mediante los cuales se pudieron realizar análisis detallados y certeros de los problemas que surgen en el trabajo del día a día en la planta de producción.

Como resultado de este trabajo, se propusieron distintas acciones de mejora a implantar en la fábrica que incrementaron la eficiencia de la embolsadora. Se realizó un estudio mediante la herramienta conocida como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) en el que se identificaron y cuantificaron los problemas. De igual manera, se analizaron los datos obtenidos tras el DMAIC mediante talleres *Kaizen* por su traducción del japonés al español como *kai* que significa cambio y *zen* que significa continuo o bien mejora continua, en la empresa en los cuales se propusieron acciones de mejora a aplicar. Una vez que se desarrollaron las acciones de mejora, se integraron un plan de seguimiento que permitió estudiar la implantación de dichas acciones de mejora.

La presentación de los datos siempre será un factor decisivo en la toma de decisiones, 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 plantea como resultado un programa digital que ayudará a medir el *OEE*.

El proyecto estuvo enfocado en 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 computacional que lleva a cabo dicha tarea. En la actualidad existen muy pocas herramientas para llevar el *OEE* de las máquinas y procesos, lo cual lleva a un desconocimiento del rendimiento real de las plantas de la industria manufacturera.

La mayoría de las plantas manufactureras llevan a cabo procedimientos manuales para el cálculo aproximado del *OEE*, esto ocasiona demora para obtener

los resultados. Existen ocasiones en las que obtener los resultados de *OEE* en una planta pueden tardar desde unas cuantas semanas, hasta meses, Si los resultados fueron negativos, no hay nada que hacer para solucionar el problema y solo se puede aprovechar esa información para realizar acciones correctivas en un futuro. Esto despertó la iniciativa de desarrollar una aplicación computacional para disminuir los tiempos de obtención de resultados acercándolos lo más posible al tiempo real.

El método de recolección de datos con el que cuenta el programa digital, se realiza manualmente. La captura la llevan a cabo los usuarios, por lo que existe un margen de error que no puede ser evitado, a menos que la recolección sea automatizada y el programa digital lea la información de la máquina directamente.

Este programa digital se desarrolló con el fin de recolectar y analizar resultados de producción relacionados al *OEE* de la industria manufacturera, con el fin de reducir las horas-hombre, aumentando la eficiencia de las máquinas. Se realizó una búsqueda de las aplicaciones computacionales existentes y sus características, así como un análisis de la manera en que se calcula el *OEE* y el tiempo que necesario para el cálculo del mismo. Se llegó a la conclusión de no automatizar la captura de información, porque en las empresas maquiladoras se restringe el acceso a los programadores lógicos programables (*PLC*, *Programmable Logic Controller* por sus siglas en inglés) que controlan las máquinas (Silas Garcia, 2011).

La siguiente investigación propone una metodología para la medición de eficiencia general de los equipos en líneas de procesos de sección mantequilla en industria láctea, presentado por Mohr (2012).

En el informe se da a conocer los estudios realizados para la elaboración de una metodología de medición de eficiencia general de equipos de las líneas de proceso de sección mantequilla de una industria láctea de la zona, con el fin de obtener resultados acerca del comportamiento de la producción de dicha sección

y las propuestas que serán de gran ayuda a la industria para la toma de decisiones a futuro.

En primera instancia, se entregó una descripción del problema y de los objetivos generales y específicos de la investigación. Una vez descrito el problema se mostraron las investigaciones preliminares realizadas para la toma de decisiones del diseño de la investigación de campo, con el objetivo de orientar de mejor forma el análisis de los datos recogidos en terreno.

En segunda instancia se presentó el desarrollo del diseño metodológico propuesto, el cual entregó información acerca de las variables necesarias para llevar a cabo el análisis y el cálculo de la eficiencia de los equipos a estudiar. Una vez conocidas las variables y su relación, se desarrolló una metodología que en primera instancia será de análisis, para después definir las y formar un modelo que las relaciones con la evaluación del indicador de eficiencia general de los equipos.

Finalmente se mostró un ejemplo con antecedentes reales de un estudio realizado en una industria láctea de la zona, en el que se tomaron datos de los tiempos de trabajo en distintos turnos durante dos meses de las líneas de envasado, etiquetado y estibamiento de los procesos de sección mantequilla, conociendo así resultados de las eficiencias de cada línea. Los problemas identificados por faltas de mantención, principales fallas encontradas por máquina, pérdidas de tiempo por distribución espacial, entre otros factores directamente relacionados con la producción y las pérdidas económicas de la empresa.

Por último, se presenta un trabajo desarrollado por Falconi (2014), en el que se utilizó la herramienta del *OEE* en una empresa del sector plástico para mejorar la eficiencia. De igual manera, se suma al trabajo la utilización de la metodología de Cambio de Matriz en menos de 10 minutos (*SMED*, *Single Minute Exchange of Die*, por sus siglas en inglés).

En esta tesis, las herramientas *OEE* y *SMED* fueron usadas como técnicas de producción esbelta para medir y hacer más eficiente la producción. Se hace un

enfoque de cómo se está midiendo la productividad y se propone un método mediante la utilización de un KPI adecuado y útil. La investigación fue llevada a cabo en el área de termoformado de la empresa Plásticos del Litoral® S.A. ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

La metodología empleada está basada en la investigación descriptiva a través de la toma directa de datos reales de producción. Las conclusiones del estudio muestran que el *OEE* unido al *SMED* son técnicas útiles y aplicables a diversas máquinas. Se muestra a través de la investigación que el *OEE* visibiliza las pérdidas productivas de una máquina, y una vez identificadas, pueden ser eliminadas o reducidas por la aplicación de la técnica *SMED* con la consiguiente reducción de los costos de producción.

Como se puede observar en todos los artículos relacionados con la implementación de un indicador clave de rendimiento, el uso del *OEE* fue de beneficio para las diferentes empresas manufactureras donde se llevó a cabo, se pretende tomar estos ejemplos como base para formalizar este proyecto en específico.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se abordarán los temas referentes a los materiales y métodos utilizados para la realización de esta investigación.

4.1 Materiales

En la tabla 4.1 se puede observar los materiales utilizados para el desarrollo de esta investigación.

Tabla 4.1 Materiales Utilizados.

Material	Uso
Computadora Dell® Latitude 7420	Investigación, procesamiento de información, presentación de los datos obtenidos.
Microsoft® Excel® for Microsoft 365 MSO 64-bit	Bases de datos internas para investigación histórica
Bases de datos interna para Producción	Histórico de métrico de salida de producción.
Bases de datos interna para Calidad	Histórico de métrico de cantidad de defectos
Bases de datos interna para Mantenimiento	Histórico de métrico de tiempo muerto de máquinas termo formadoras.
Minitab 16 ®	Procesamiento de información, generación de gráficos.
Sistema de ejecución de manufactura (MES, <i>Manufacturing Execution System</i> por sus siglas en inglés).	Conexión con el servidor local para exportar información a bases de datos
Formato de KPI de la compañía	Se utilizo este formato como base para realizar los cálculos de <i>OEE</i> .
Lista de asistencia	En esta forma se dio seguimiento a la participación de cada uno de los integrantes del equipo.
Plataforma de Mejora continua	En esta plataforma se formalizan los proyectos de mejora continua para dar seguimiento apropiado.

4.2 Métodos

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 Deming, Planear, Hacer, Revisar y Actuar (*PDCA, Plan, Do, Check, Act*, por sus siglas en inglés). Esta adaptación de metodología servirá para dar el seguimiento apropiado a la investigación que se realizará.

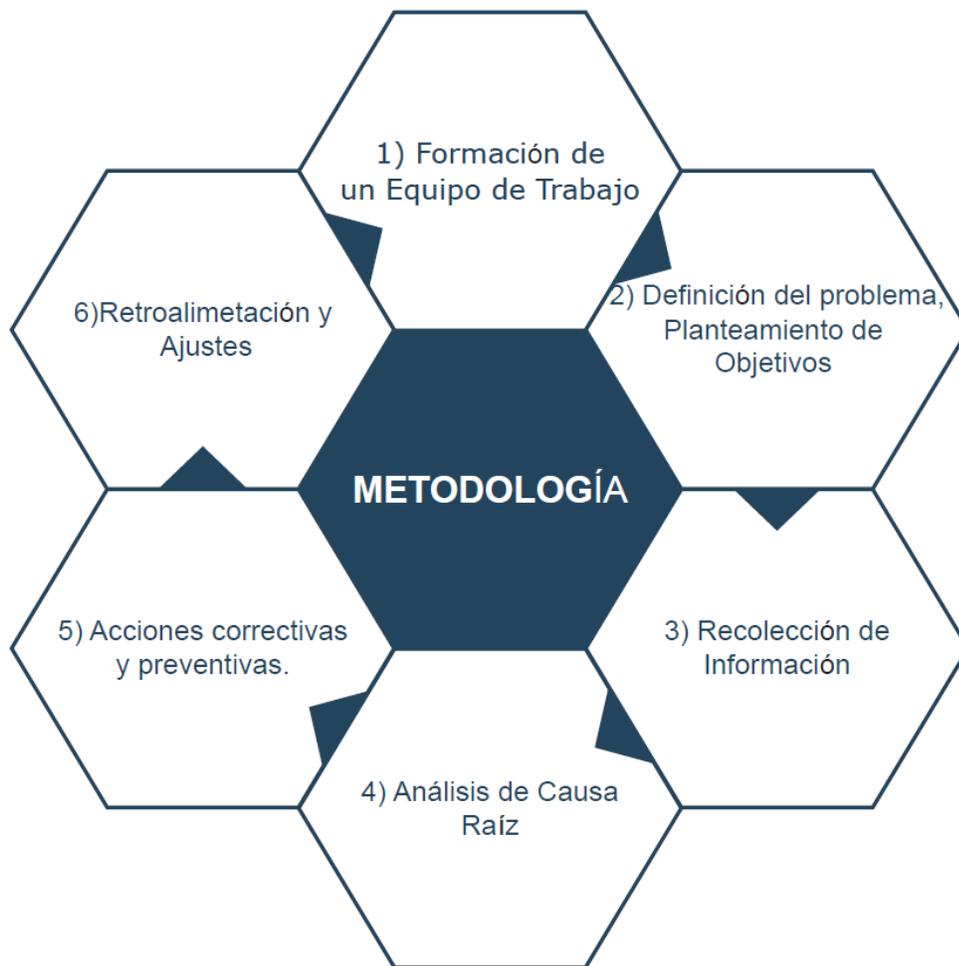


Figura 4.1 Metodología Aplicada a Esta Investigación.

En la figura 4.1 se observa la metodología realizada para el seguimiento de la investigación, compuesta por seis fases o etapas. Cada una de ellas es dependiente de la etapa anterior.

4.2.1 Formación de un Equipo de Trabajo.

En 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 alta gerencia al momento de formalizar el equipo de trabajo que dará seguimiento al proyecto. En la tabla 4.2 se muestra los roles de los participantes que integraron el equipo.

Tabla 4.2 Equipo de Trabajo.

Participante	Rol	Área de Especialidad
Ingeniero de Procesos	Líder	Ingeniería en procesos
Ingeniero de Calidad	Participante	Sistemas de Calidad
Ingeniero de Mantenimiento	Co-Líder	Ingeniería en Mantenimiento
Supervisor de Manufactura	Participante	Procesos de Manufactura
Supervisor de Calidad	Participante	Aseguranza de Calidad
Supervisor de Mantenimiento	Participante	Administración de Mantenimiento
Técnico de Mantenimiento	Participante	Mantenimiento de Equipo
Gerente de Mantenimiento	Supervisor	Supervisión de proyectos

4.2.2 Definición del Problema, Planteamiento de Objetivos.

Para la definición del problema y planteamiento de los objetivos se agendó una reunión con el equipo, en la que se analizó y conceptualizó la definición de los síntomas que se estaban presentando día a día. En la tabla 4.3 se puede apreciar una síntesis de la sección 2.2 Descripción del problema de esta

investigación, donde se describen los problemas definidos por el equipo y se asocian con el síntoma observado.

Tabla 4.3 Descripción del Problema y sus Síntomas Observados.

Síntoma	Descripción del problema
1. No se tiene la información deseada al alcance cuando se necesita.	Al realizar los métricos de manera independiente, se cae en 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 muchos recursos para consolidarla. Esto genera que la resolución de los problemas del día a día 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.
2. Se requiere inversión de recurso humano para consolidar la información.	
3. El análisis de la información digerida que se presenta en las juntas no es suficiente.	
4. Algunas acciones correctivas que son aplicadas como parte de la solución de un problema, generan problemas en relación con otros métricos	
1. Se tienen acciones similares en diferentes foros para problemas comunes con equipos de trabajo distintos.	Los diferentes equipos de trabajo que se forman para la solución de problemas relacionados a los indicadores que presentan tendencias negativas o se salen por completo de sus metas establecidas, muchas de las

Tabla 4.3 Descripción del Problema y sus Síntomas Observados.
(Continuación)

Síntoma	Descripción del problema
<p>2. No se analiza la dependencia que tienen los métricos de producción con los de fallas de equipos o con calidad del producto.</p> <p>3. Desperdicio de tiempo de analistas.</p>	<p>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.</p>

Después de describir el problema, el equipo definió las metas y objetivos propuestos. En la tabla 4.4 se mencionan el objetivo principal y los objetivos específicos que se pretenden lograr.

Tabla 4.4 Objetivo General y Objetivos Específicos.

Objetivo General	Objetivos Específicos
<p>Este análisis tiene como propósito el evaluar y demostrar que la integración de los indicadores claves de rendimiento en uno general puede ser de beneficio para la empresa.</p>	<p>1. Organizar la información interna de la planta de manera estructurada por departamento o área y fecha.</p>
	<p>2. Consolidar (integrar) la información obtenida en un indicador clave de rendimiento</p>
	<p>3. Determinar la forma en que se presentaran los datos.</p>

Tabla 4.4 Objetivo General y Objetivos Específicos. (Continuación)

	4. Validar el uso de la herramienta y demostrar resultados.
--	---

4.2.3 Recolección de Información

Después de que el equipo definió de manera completa el problema y el objetivo general y específicos a cumplir, se comenzó con la etapa de recolección de información. En esta etapa se hizo una investigación profunda de las fuentes de información disponibles de la empresa, con la finalidad de extraer información que fuera útil para el análisis de los métricos. Se buscó que la información fuera directa de la fuente para evitar error en la medición de los métricos. También se definió el periodo de tiempo que serviría como punto de referencia para la investigación, este periodo fue de tres meses comenzando el día primero de enero del 2022 y finalizando el día 31 de marzo del 2022. Esta información se extrajo de tres principales bases de datos a las cuales se accedió por medio del servidor privado de la empresa. Las bases fueron las siguientes:

- a) Base de datos de Eficiencia: aquí se concentra toda la información relacionada con la producción de los equipos del área de fabricación de alineadores ingresadas a MES por medio del operador de producción. Entre sus principales columnas de información se encuentran la fecha y hora de inicio de corrida, numero de máquina, cantidad procesada en piezas, cantidad procesada en ordenes, turno, tipo de material, fecha y hora de finalización de la corrida entre más información. La información recolectada de los tres meses de historial está disponible para consulta en el Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022. La información que se utilizó de esta base de datos fue la producción y

capacidad. En la figura 4.2 se muestra el resumen de la información de eficiencia.

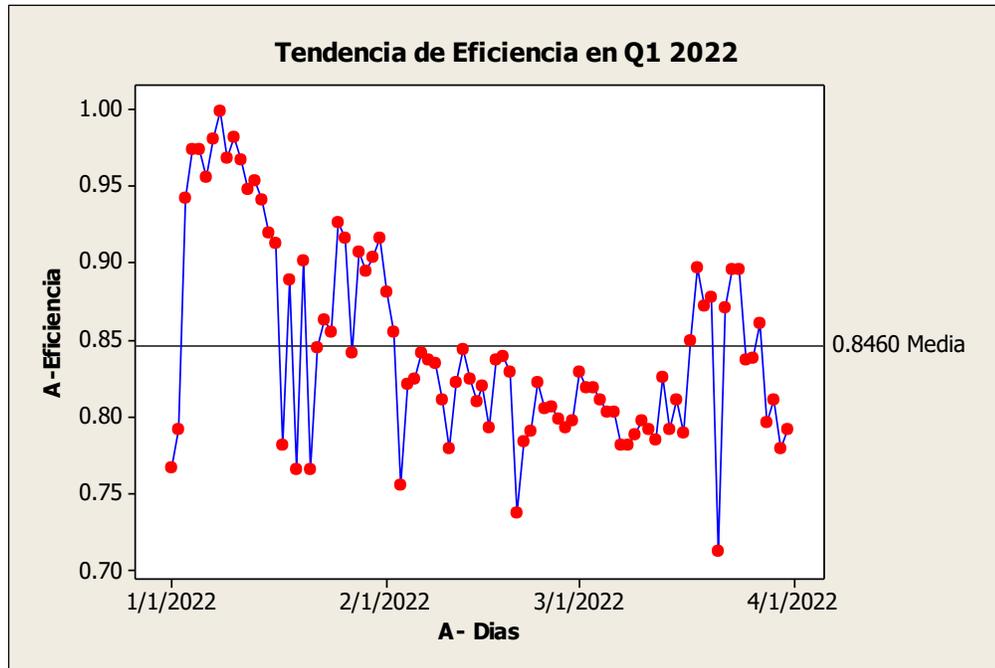


Figura 4.2 Resumen de Datos Históricos de Eficiencia.

b) Base de datos de calidad: aquí se concentra toda la información relacionada con los defectos de calidad ingresados por sistema por parte de los inspectores de calidad de las líneas de manufactura. Entre sus principales columnas de información se encuentran la fecha y hora de registro de captura, cantidad total de piezas por orden, la cantidad de piezas requerida, turno, tipo de defecto, usuario del inspector de calidad, entre más información. La información recolectada de los tres meses de historial está disponible para consulta en el Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022. La información que se utilizó de esta base de datos fue la cantidad de piezas defectuosas para calcular su porcentaje de desperdicio (*scrap*). En la figura 4.3 se muestra el resumen de la información de calidad.

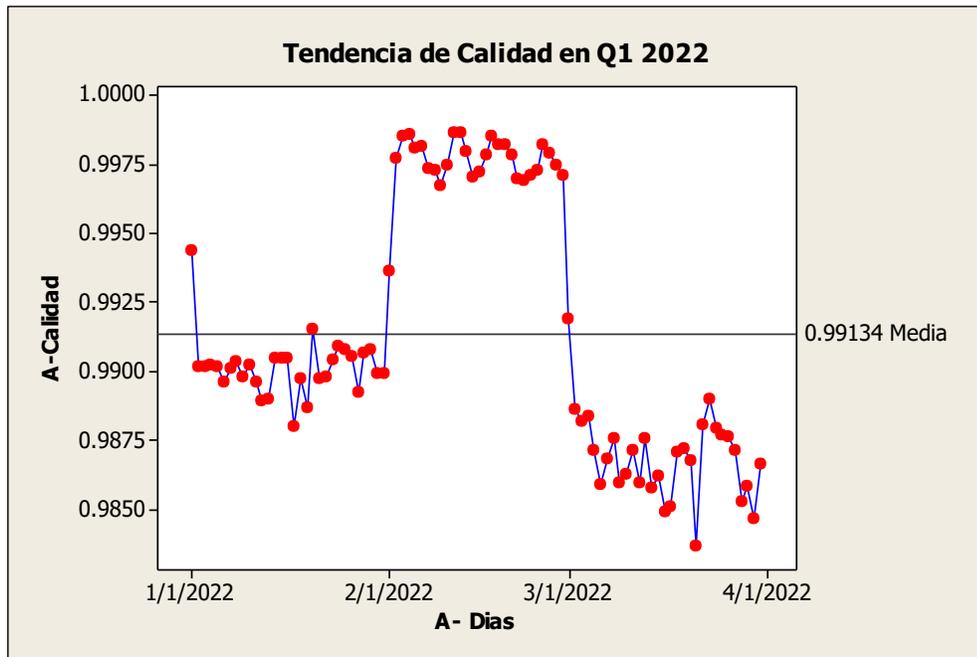


Figura 4.3 Resumen de Datos Históricos de Calidad.

c) Base de datos de mantenimiento: aquí se concentra toda la información relacionada con la disponibilidad de los equipos del área de fabricación de alineadores. Esta información se ingresa por medio de los técnicos de mantenimiento de equipo a una plataforma de gestión de información especializada en mantenimiento denominada Ignition® desarrollada por Rockwell Automation®. Entre sus principales columnas de información se encuentran la fecha y hora de registro de inicio de falla, el tipo de falla, acción correctiva, técnico que atendió la falla, turno, fecha y hora de cierre de falla, entre más información. La información recolectada de los tres meses de historial está disponible para consulta en el Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022. La información que se utilizó de esta base de datos fue la disponibilidad de los equipos. En la figura 4.4 se muestra el resumen de la información de disponibilidad.

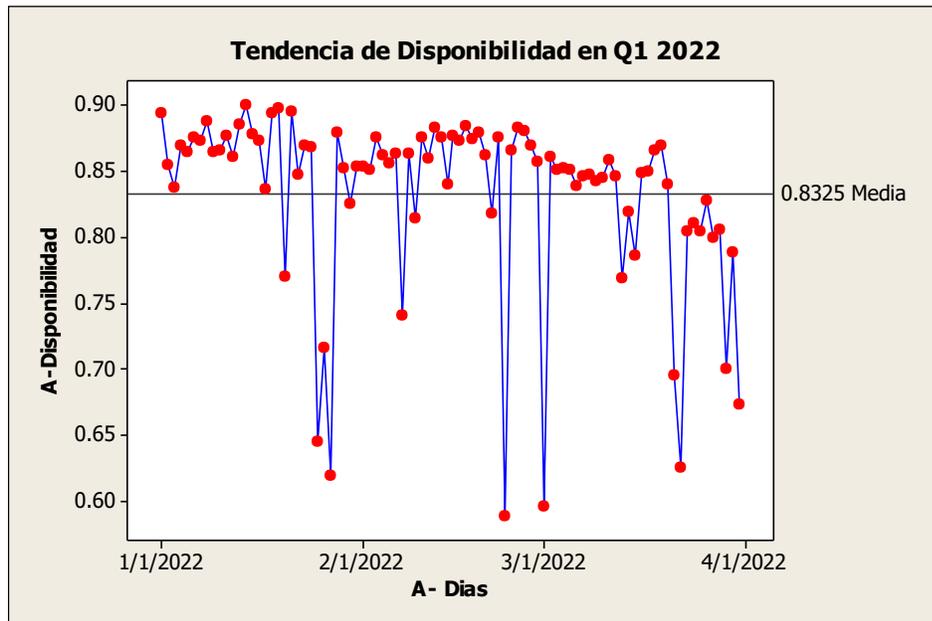


Figura 4.4 Resumen de Datos Históricos de Disponibilidad.

Al generar las tendencias de cada uno de los métricos fue posible observar algunas particularidades en el métrico de producción y calidad, tales como que la tendencia de producción es negativa y también cómo el porcentaje de retrabajo sufrió un cambio brusco durante el mes de febrero, impactando de manera positiva.

Para el cálculo de la eficiencia y de la disponibilidad operacional que se realizara, se estarán considerando 93 máquinas productivas. Para la disponibilidad operaciones de los equipos se está considerando el tiempo total disponible a 24 horas, esto debido a que la empresa donde se está realizando el estudio tiene cuatro turnos de 12 horas. En la tabla 4.5 se observan los turnos de producción de la empresa. Los términos TA, TB, TC, TD hacen referencia a los turnos.

Tabla 4.5 Calendario Parcial de Turnos.

Semana	Horario	Domingo	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado
1	6:30 am - 6:30 pm	TA	TA	TA	TA	TC	TC	TC
	6:30 pm - 6:30 am	TB	TB	TB	TB	TD	TD	TD
2	6:30 am - 6:30 pm	TA	TA	TA	TC	TC	TC	TC
	6:30 pm - 6:30 am	TB	TB	TB	TD	TD	TD	TD

4.2.4 Análisis de Causa Raíz.

Para el análisis de la causa raíz se utilizó una metodología de resolución de problemas denominada diagrama de pescado, diagrama de *Ishikawa* o bien diagrama de Causa-efecto. Aquí se categorizan las ideas que pueden causar el efecto descrito dentro del diagrama. Esta categorización de ideas se divide en seis partes: Mano de obra, Hombre, Máquina o Equipo, Medio ambiente, Material, Método y Medida.

Para el llenado de este diagrama se realizó una dinámica denominada lluvia de ideas. En la tabla 4.6 se puede observar la lluvia de ideas que se generó durante la reunión. La lluvia de ideas consiste en que cada uno de los participantes del equipo menciona una idea la cual está relacionada con la causa del problema o efecto que se pretende resolver. Después de que todos los participantes se quedan sin ideas, se realiza una depuración inicial realizada por el equipo mismo, en la que se eliminan algunas ideas que no están relacionadas al problema a resolver o que su solución está fuera del alcance del equipo. Las ideas restantes se categorizaron dentro de las seis partes del diagrama de pescado. Todas las observaciones registradas en el diagrama de pescado fueron ponderadas por el equipo multidisciplinario de la siguiente manera:

- a. Calificando con número 1, si la observación no es relevante al problema.
- b. Calificando con número 3, si se considera que la observación se relaciona con el problema.
- c. Calificando con número 5, si la observación está fuertemente relacionada con el problema descrito.

A los tres principales contribuidores definidos por el equipo se les denominó causa raíz y se les asignaron acciones correctivas de seguimiento. Esta información se muestra en la tabla 4.8 Acciones Correctivas. El Anexo A figura I Diagrama de Pescado contiene el diagrama realizado por parte del equipo multidisciplinario.

Tabla 4.6 Lluvia de Ideas.

Numero	Idea
1	El análisis de las fallas que se realiza es independiente de la producción.
2	Mala asignación de recurso humano por parte de la gerencia.
3	El sistema actual donde se registra la información tiene problemas.
4	La experiencia de los analistas es limitada.
5	No se tiene un método definido para la extracción de la información.
6	Se requieren más analistas para procesar la información.
7	Los métricos que se están midiendo no son los adecuados para el negocio
8	No existe una retroalimentación para el personal con respecto a sus metas de manera amplia.
9	Los registros que se realizan en los diferentes sistemas no son reales.
10	No se cuenta con un área de control de producción efectivo.
11	El tiempo de análisis es limitado.
12	Las bases de datos contienen mucha información desorganizada.
13	Se requiere comprar más equipo tecnológico para investigación.
14	No se cuenta con las plataformas ideales para la presentación de la información.
15	Se necesita consolidar la información presentada en un solo foro.
16	No se cuentan con muchos recursos para el procesamiento de la información.
17	No se cuenta con las plataformas ideales para la presentación de la información.
18	Los equipos que se utilizan para procesar la información son obsoletos.

Tabla 4.6 Lluvia de Ideas. (Continuación)

19	Los equipos que se generan para resolver los problemas no son los adecuados.
20	No se utiliza un métrico que relacione la producción con el tiempo muerto.
21	Las bases de datos no son accesibles para tantos usuarios.
22	Incluir más factores determinantes para mejorar las decisiones que se realizan sobre el negocio.

En la tabla 4.6 se registraron todas las ideas u observaciones que realizó el equipo multidisciplinario durante la sesión de definición de causa raíz, contabilizando un total de 22 ideas. Solamente 14 ideas fueron categorizadas dentro del diagrama de pescado y ponderadas.

Tabla 4.7 Ponderación de Ideas.

Idea \ Miembro	1	4	5	8	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21
Ingeniero de Procesos	1	3	5	5	1	1	3	5	3	3	3	3	5	1
Ingeniero de Calidad	3	3	3	5	3	1	1	3	3	3	5	1	5	3
Ingeniero de Mantenimiento	1	3	1	1	3	1	1	5	3	3	1	1	5	3
Supervisor de Manufactura	3	3	3	1	1	1	3	3	3	3	1	1	5	1
Supervisor de Calidad	1	3	1	1	1	1	3	5	3	3	1	1	5	3
Supervisor de Mantenimiento	5	3	1	1	1	1	3	5	5	5	3	1	5	3
Técnico de mantenimiento	3	1	3	3	3	1	3	5	3	5	1	1	5	1

Tabla 4.7 Ponderación de Ideas. (Continuación)

Gerente de Mantenimiento	1	1	3	3	3	1	3	3	3	3	1	1	3	1
TOTAL	18	20	20	20	16	8	20	34	26	30	16	10	38	16

En la tabla 4.7 se observa la ponderación de las 14 ideas que el equipo consideró estaban más relacionadas al problema. Dentro de estas 14 ideas, se le dará seguimiento a las principales tres observaciones que fueron las siguientes:

1. Con 30 puntos: Idea 17- No se cuenta con las plataformas ideales para la presentación de la información.
2. Con 34 puntos: Idea 15- Se necesita consolidar la información presentada en un solo foro.
3. Con 38 puntos: Idea 20 - No se utiliza un métrico que relacione la producción con el tiempo muerto.

4.2.5 Acciones Correctivas.

Las acciones correctivas se fijaron en base a las tres principales causas que el equipo pondero con las calificaciones más altas. En la tabla 4.8 se enlistaron estas acciones relacionándolas con su causa raíz.

Tabla 4.8 Acciones Correctivas

Causa Raíz	Acción Correctiva
No se cuenta con las plataformas ideales para la presentación de la información	1) Diseñar una plataforma en la que se pueda mostrar la información requerida
	2) Generar accesos para personal directo e indirecto en la operación para mejor seguimiento de los métricos.

Tabla 4.8 Acciones Correctivas (Continuación)

Se necesita consolidar la información presentada en un solo foro.	3) Entrenamiento cruzado a analistas de datos entre departamentos. manufactura, calidad, mantenimiento, quejas de clientes.
	4) Creación de junta semanal de <i>OEE</i> .
	5) Selección de foro específico para mejorar comunicación entre departamentos
No se utiliza un métrico que relacione la producción con el tiempo muerto.	6) Implementación de métrico <i>OEE</i> , como métrico principal para seguimiento del estatus de la empresa.

Las acciones definidas por el equipo se documentaron por medio de la plataforma digital de mejora continua que utiliza la empresa para el seguimiento de todos los proyectos, *gembas*, ideas de mejora o seguimiento a oportunidades encontradas en el proceso. Esto con la finalidad de formalizar el plan de mejora y generar compromiso con los responsables de las actividades para finalizar sus tareas pendientes.

Cabe resaltar que las acciones correctivas fueron definidas para solucionar la causa raíz del problema que se definió en la sección 2.2: Descripción del problema de esta investigación. Sin embargo, se prevé que los efectos de la solución a esta problemática sean de gran impacto para la condición actual de la empresa como se menciona en la sección 2.4: Hipótesis de esta investigación.

4.2.6 Retroalimentación y Ajustes.

Con respecto a la retroalimentación y ajustes que se requieren, en las secciones 4.2.7 a la 4.2.15 se encuentra el detalle de la información, en la tabla 4.9 Retroalimentación y Ajustes se resume lo visto en estos capítulos.

Tabla 4.9 Retroalimentación y Ajustes.

Retroalimentación	Ajustes
La tendencia de producción es negativa en el primer trimestre 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 en su forma en el mes de febrero.	Uno de los modos de falla que más impactan al producto se dejó de requerir por los inspectores de calidad debido a una mala información por parte de los supervisores en los turnos de la noche.

4.2.7 Tendencias en la Eficiencia Después de las Acciones Correctivas.

La figura 4.5 muestra un gráfico de tendencia de los números obtenidos de eficiencia que se midieron durante el periodo del segundo trimestre del 2022.

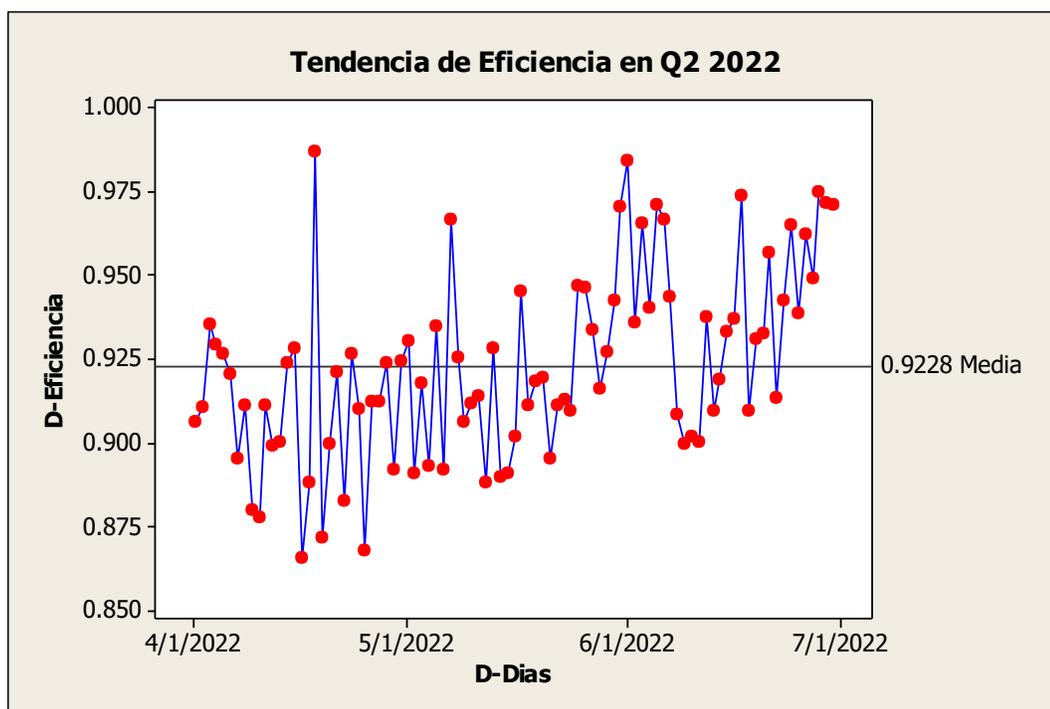


Figura 4.5 Tendencia de Eficiencia Después de la Implementación de Acciones.

4.2.8 Pruebas de Normalidad para los Datos de Eficiencia Q1 y Q2 del 2022.

En la figura 4.6 se puede observar los resultados de la prueba de normalidad realizada para los datos del periodo de Q1 antes de la implementación de las acciones. En la figura 4.7 los datos después de las acciones correctivas.

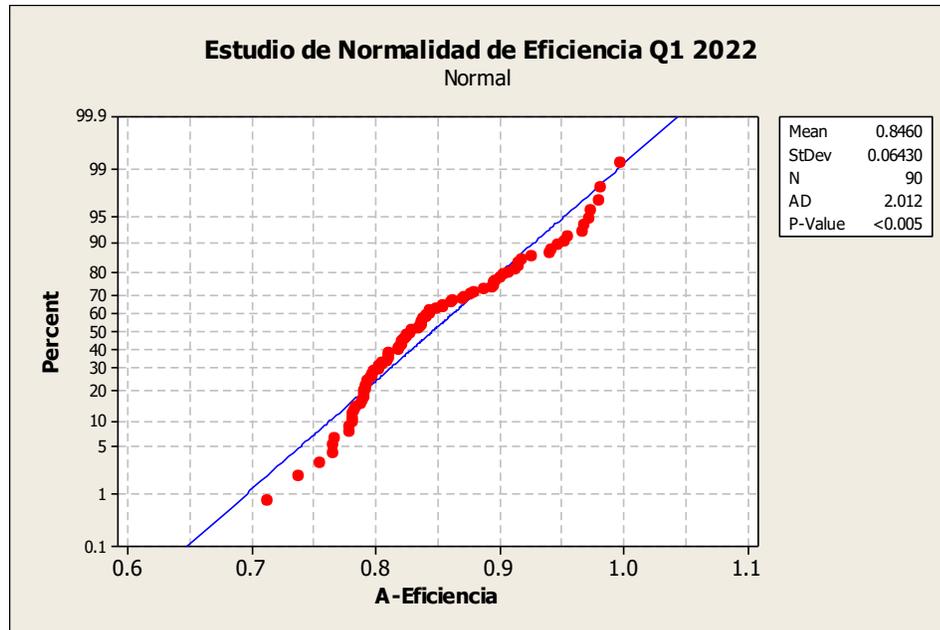


Figura 4.6 Prueba de Normalidad de Eficiencia para Q1 2022.

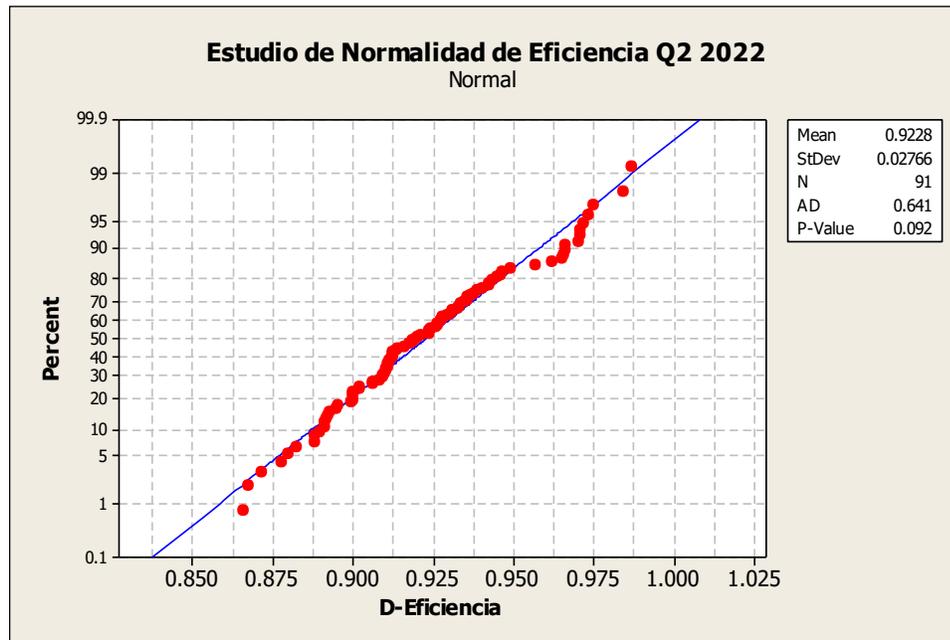


Figura 4.7 Prueba de Normalidad de Eficiencia para Q2 2022.

Para la figura 4.6 como principal información se puede observar la cantidad de datos medidos, con el índice N que es igual a 90 y representa la cantidad de días medidos y el valor p que es menor que 0.005 concluye que los valores obtenidos antes de la implementación de las acciones correctivas no tienen una distribución normal. Para la figura 4.7 se puede observar la cantidad de datos medidos, donde N es igual a 91 y el valor p que es igual a 0.092 concluye que los valores obtenidos después de las acciones correctivas durante la medición tienen una distribución normal.

La información recolectada de los tres meses de historial está disponible para consulta en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022.

4.2.9 Prueba de Hipótesis para la Eficiencia de los Equipos.

En la figura 4.8 se puede observar los resultados de la prueba de hipótesis que se realizó para la comparación de las medianas entre los periodos de antes de la implementación de las acciones correctivas y después de que se realizaran.

Las hipótesis que se plantearon son las siguientes: $H_0 = \tilde{\mu}_d \geq \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

$H_1 = \tilde{\mu}_d < \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas no es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

Cabe resaltar que debido a que la distribución de los datos no es normal para los datos de Q1, por el principio de homocedasticidad se consideran las varianzas constantes para ambos conjuntos de datos Q1 y Q2, por lo que se realizó una prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

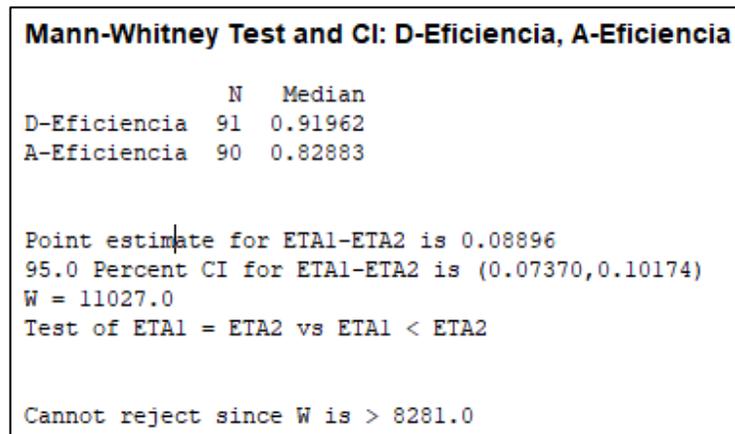


Figura 4.8 Prueba de Hipótesis para la Eficiencia de los Equipos.

Se acepta la $H_0 = \tilde{\mu}_d \geq \tilde{\mu}_a$ con una $W > 8281.0$, donde W es igual a la sumatoria de los rangos de la muestra para el cálculo de la U de Mann Whitney. La prueba de hipótesis indica que la mediana de los datos del Q2 es mayor que la mediana de los datos del Q1 lo que a su vez indica que en lo que respecta al métrico de eficiencia de los equipos existió un impacto positivo después de la implementación de las acciones correctivas.

4.2.10 Tendencia de Calidad en los Equipos.

La figura 4.9 nos muestra un gráfico de tendencia de los porcentajes obtenidos de calidad que se midieron durante el periodo del segundo trimestre del 2022.

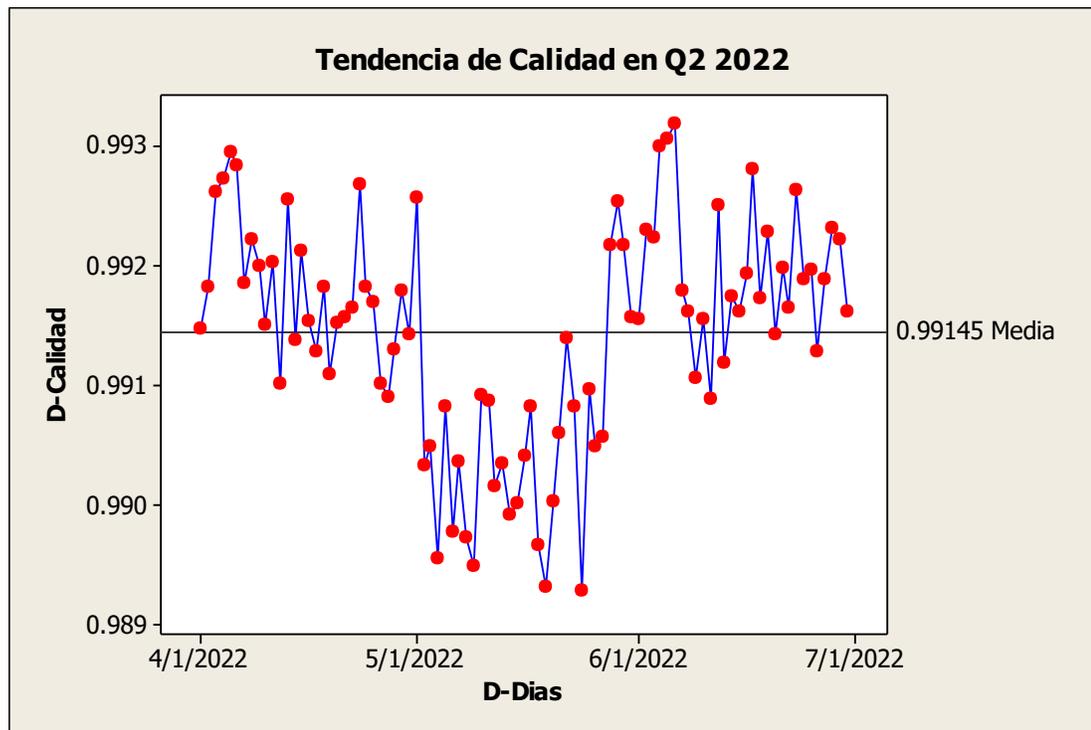


Figura 4.9 Tendencia de Calidad Después de la Implementación de Acciones.

4.2.11 Pruebas de Normalidad para los Datos de Calidad Q1 y Q2 del 2022.

En la figura 4.10 se puede observar los resultados de la prueba de normalidad realizada para los datos de calidad del periodo de Q1 antes de la implementación de las acciones. En la figura 4.11 los datos después de las acciones correctivas.

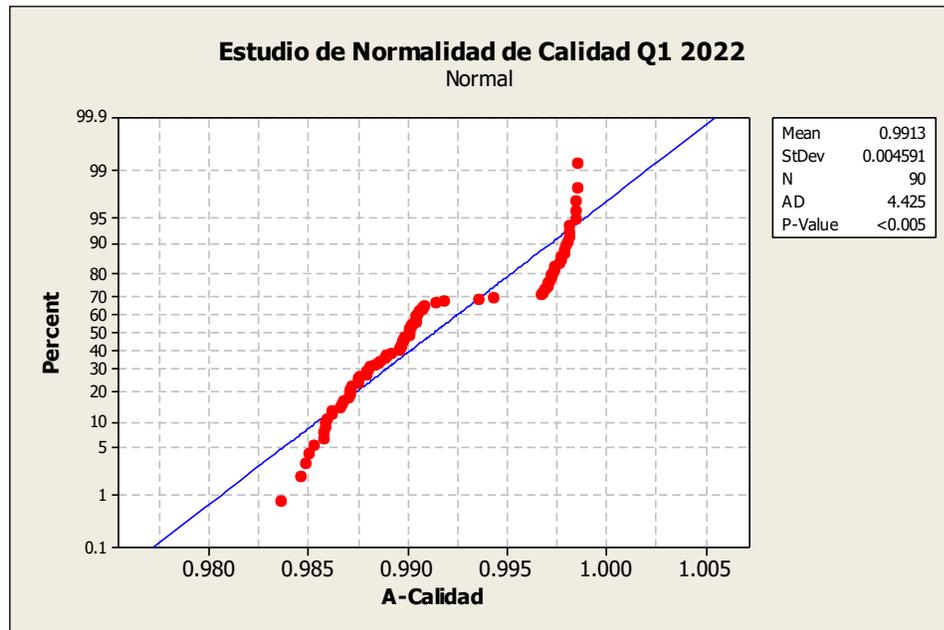


Figura 4.10 Prueba de Normalidad de Calidad para Q1 2022.

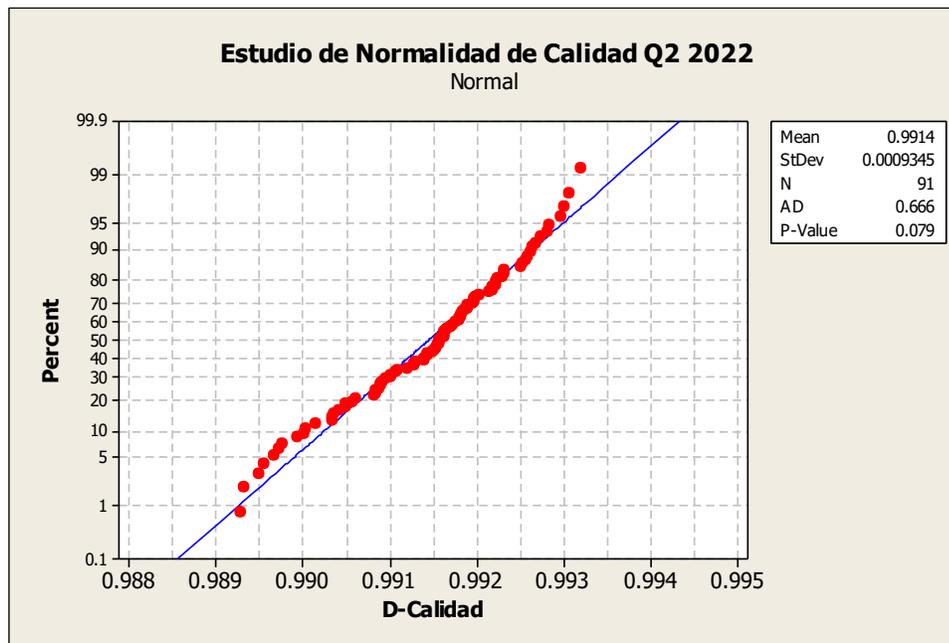


Figura 4.11 Prueba de Normalidad de Calidad para Q2 2022.

Para la figura 4.10 como principal información se puede observar la cantidad de datos medidos, con el índice N que es igual a 90 y representa la cantidad de días medidos en la prueba y el valor p que es menor que 0.005

concluye que los valores obtenidos antes de la implementación de las acciones correctivas no tienen una distribución normal. Para la figura 4.11 se puede observar la cantidad de datos medidos, donde N es igual a 91 y el valor p que es igual a 0.079 concluye que los valores obtenidos después de las acciones correctivas durante la medición tienen una distribución normal.

La información recolectada de los tres meses de historial está disponible para consulta en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022.

4.2.12 Prueba de Hipótesis para la Calidad de los Equipos.

En la figura 4.12 se puede observar los resultados de la prueba de hipótesis que se realizó para la comparación de las medianas entre los periodos de antes de la implementación de las acciones correctivas y después de que se realizaran.

Las hipótesis que se plantearon son las siguientes: $H_0 = \tilde{\mu}_d \geq \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

$H_1 = \tilde{\mu}_d < \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas no es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

Cabe resaltar que debido a que la distribución de los datos no es normal para los datos de Q1, por el principio de homocedasticidad se consideran las varianzas constantes para ambos conjuntos de datos Q1 y Q2, por lo que se realizara una prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

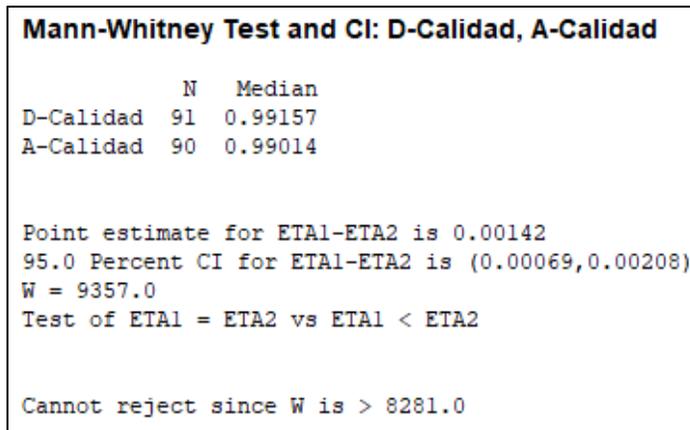


Figura 4.12 Prueba de Hipótesis para la Calidad de los Equipos.

Se acepta la $H_0 = \tilde{\mu}_d \geq \tilde{\mu}_a$ con una $W > 8281.0$, donde W es igual a la sumatoria de los rangos de la muestra para el cálculo de la U de Mann Whitney. La prueba de hipótesis indica que la mediana de los datos del Q2 es mayor que la mediana de los datos del Q1, sin embargo, la diferencia entre ambos conjuntos de datos no es significativa, esto quiere decir que después de las acciones realizadas existió una mejora mínima en el métrico de calidad estadísticamente hablando.

4.2.13 Tendencias en la Disponibilidad Después de las Acciones

Correctivas.

La figura 4.13 muestra un gráfico de tendencia de los números obtenidos de la disponibilidad de los equipos que se midieron durante el periodo del segundo trimestre del 2022.

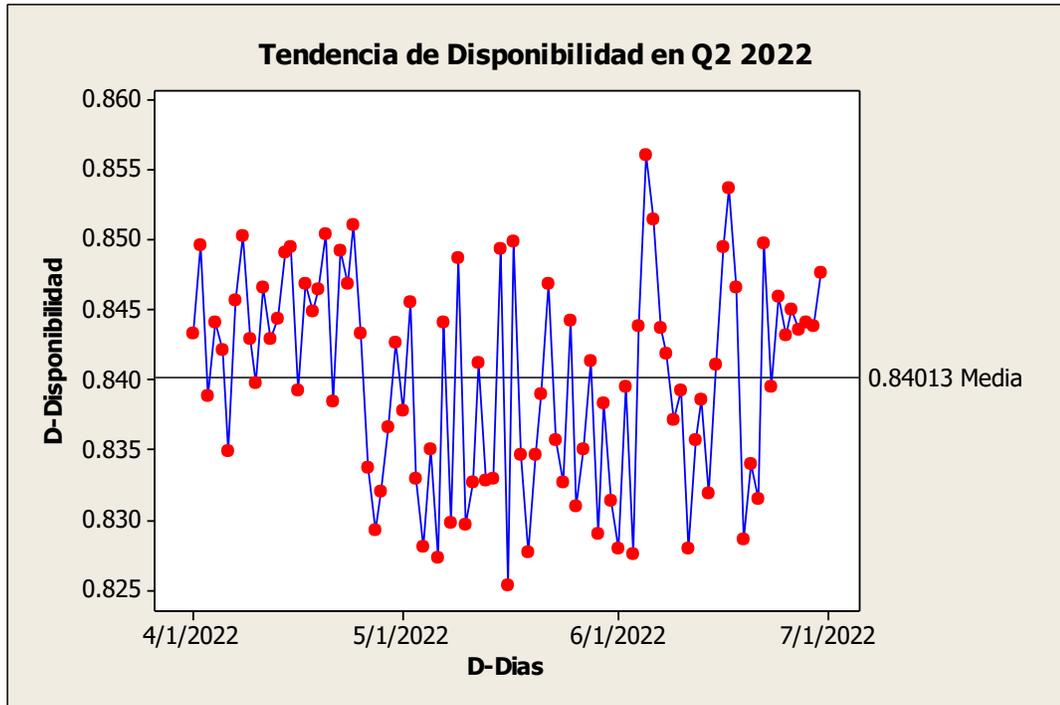


Figura 4.13 Tendencia de Disponibilidad Después de la Implementación de Acciones.

4.2.14 Pruebas de Normalidad para los Datos de Disponibilidad Q1 y Q2 del 2022.

En la figura 4.14 se puede observar los resultados de la prueba de normalidad realizada para los datos de disponibilidad operación del periodo de Q1 antes de la implementación de las acciones. En la figura 4.15 los datos después de las acciones correctivas.

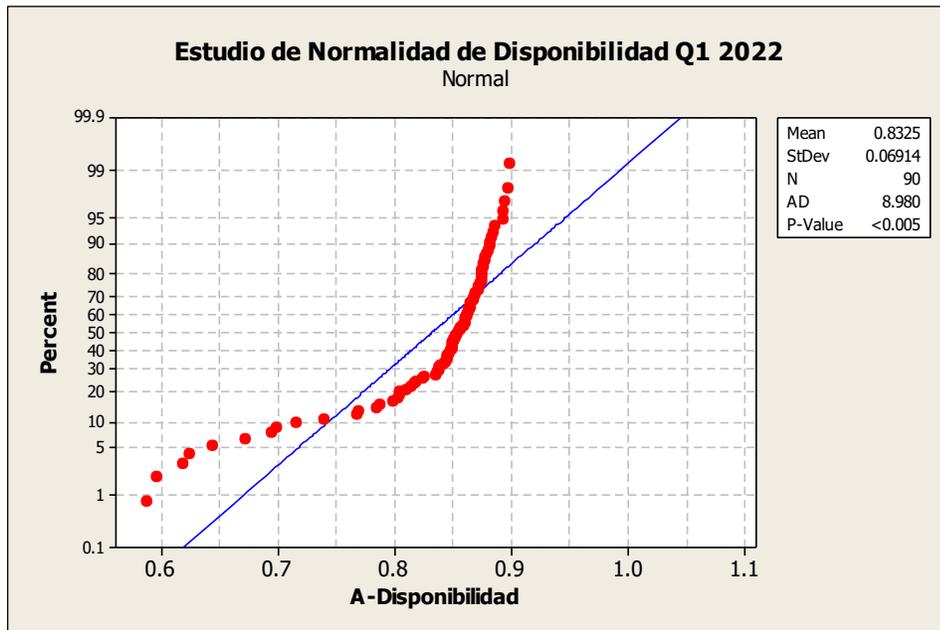


Figura 4.14 Prueba de Normalidad para Disponibilidad para Q1 2022.

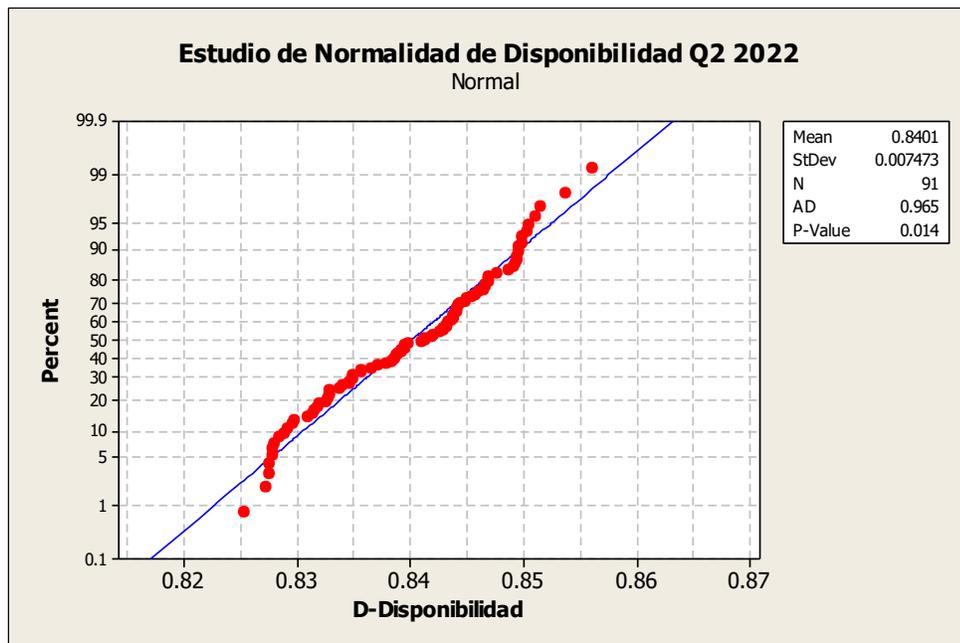


Figura 4.15 Prueba de Normalidad para Disponibilidad para Q2 2022.

Para la figura 4.14 como principal información se puede observar la cantidad de datos medidos, con el índice N que es igual a 90 y representa la cantidad de días medidos y el valor p que es menor que 0.05 concluye que los

valores obtenidos antes de la implementación de las acciones correctivas no tienen una distribución normal. Para la figura 4.15 se puede observar la cantidad de datos medidos, donde N es igual a 91 y el valor p que es igual a 0.014 concluye que los valores obtenidos antes de la implementación de las acciones correctivas no tienen una distribución normal.

La información recolectada de los 3 meses de historial está disponible para consulta en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022.

4.2.15 Prueba de Hipótesis para la Disponibilidad de los Equipos.

En la figura 4.16 se puede observar los resultados de la prueba de hipótesis que se realizó para la comparación de las medianas entre los periodos de antes de la implementación de las acciones correctivas y después de que se realizaran.

Las hipótesis que se plantearon son las siguientes: $H_0 = \tilde{\mu}_d \geq \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

$H_1 = \tilde{\mu}_d < \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas no es mayor a la mediana antes de la implementación de las acciones correctivas.

Cabe resaltar que debido a que la distribución de los datos no es normal para los datos de Q1, por el principio de homocedasticidad se consideran las varianzas constantes para ambos conjuntos de datos Q1 y Q2, por lo que se realizara una prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

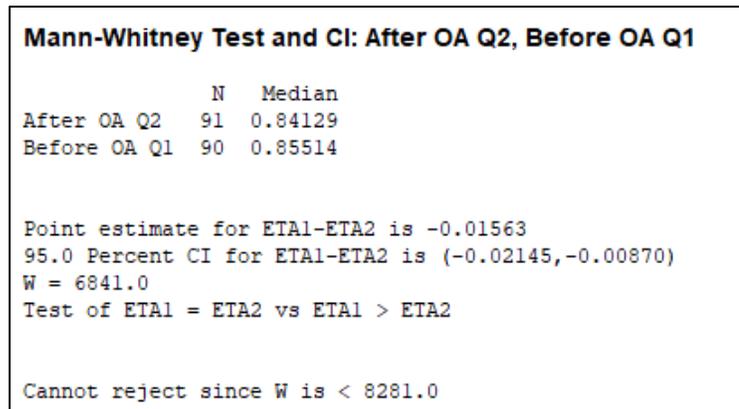


Figura 4.16 Prueba de Hipótesis para la Disponibilidad de los Equipos.

Se acepta la $H_1 = \tilde{\mu}_d < \tilde{\mu}_a$ con una $W < 8281.0$, donde W es igual a la sumatoria de los rangos de la muestra para el cálculo de la U de Mann Whitney. La prueba de hipótesis nos indica que la comparación de las medianas de los datos del Q2 y Q1 no son significativamente diferentes, esto quiere decir que después de las acciones realizadas no hubo un impacto en el métrico de disponibilidad estadísticamente hablando.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos después de la implementación de las acciones correctivas mencionadas en el capítulo 4 de esta investigación, así como la tendencia del *OEE*. Además, se realizará una prueba de hipótesis en la que se pretende mostrar el comparativo del *OEE* en un intervalo de tiempo de tres meses antes de implementar las acciones correctivas, es decir, 90 días, iniciando el primero de enero del 2022 hasta el 31 de abril del 2022 y el después de las acciones correctivas, 91 días, iniciando la medición el primero de abril del 2022 hasta el 31 de junio del 2022, siendo este periodo de tiempo considerable para el análisis de los resultados.

5.1 Análisis de las Tendencias de los Métricos Principales Después de la Implementación de las Acciones Correctivas.

En la tabla 5.1 se muestra en resumen la comparativa de los métricos principales que componen al *OEE* antes y después de la implementación de las acciones correctivas. Esta tabla presenta los valores de las medias obtenidas de la información del Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022 y en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022

Tabla 5.1 Comparativa de Métricos.

Métrico	Antes	Después
Eficiencia	0.8460	0.9228
Calidad	0.9913	0.9914
Disponibilidad	0.8315	0.8401
<i>OEE</i>	0.6986	0.7687

A primera vista se puede apreciar cómo la eficiencia de los equipos medidos se incrementó de una manera considerable al igual que el *OEE*. También se puede observar que la disponibilidad, aunque fue mayor después de las acciones implementadas, la mejora no fue tan notoria, teniendo el mismo escenario para el métrico de calidad en el que su incremento no fue significativo y se pudiera considerar que no hubo un impacto en este métrico.

5.2 Análisis de Tendencia del *OEE*.

En la figura 5.1 y figura 5.2 se pueden observar la tendencia del índice de eficiencia general de los equipos en el periodo de tiempo de Q1 del 2022, teniendo una media igual a 0.70250 y una mediana igual a 0.69585.

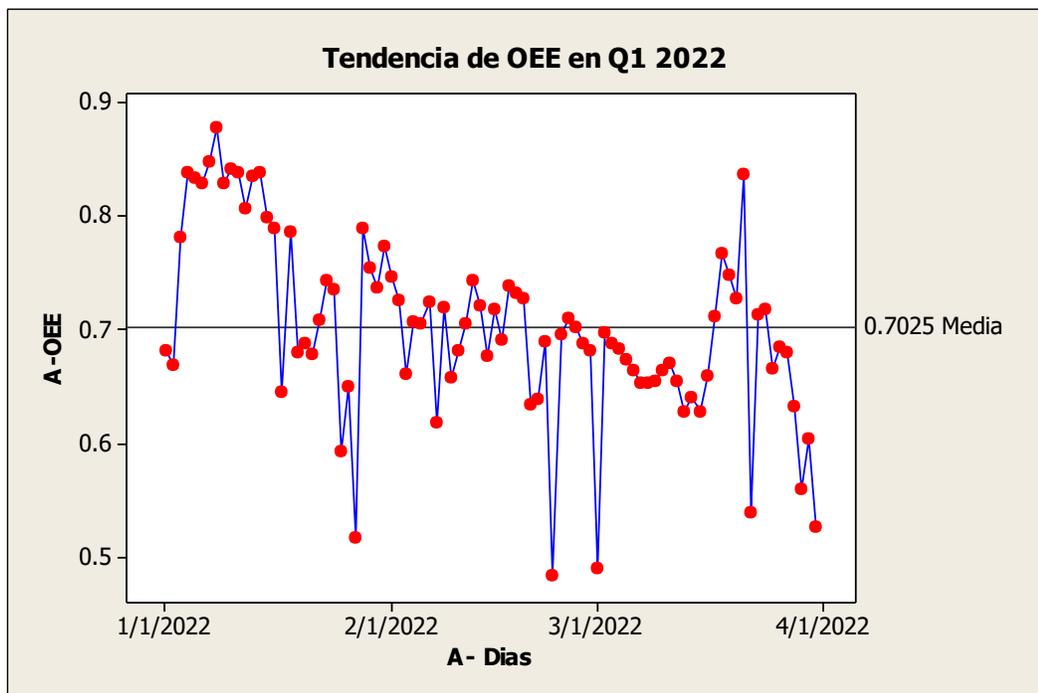


Figura 5.1 Tendencia de *OEE* para Q1 de 2022.

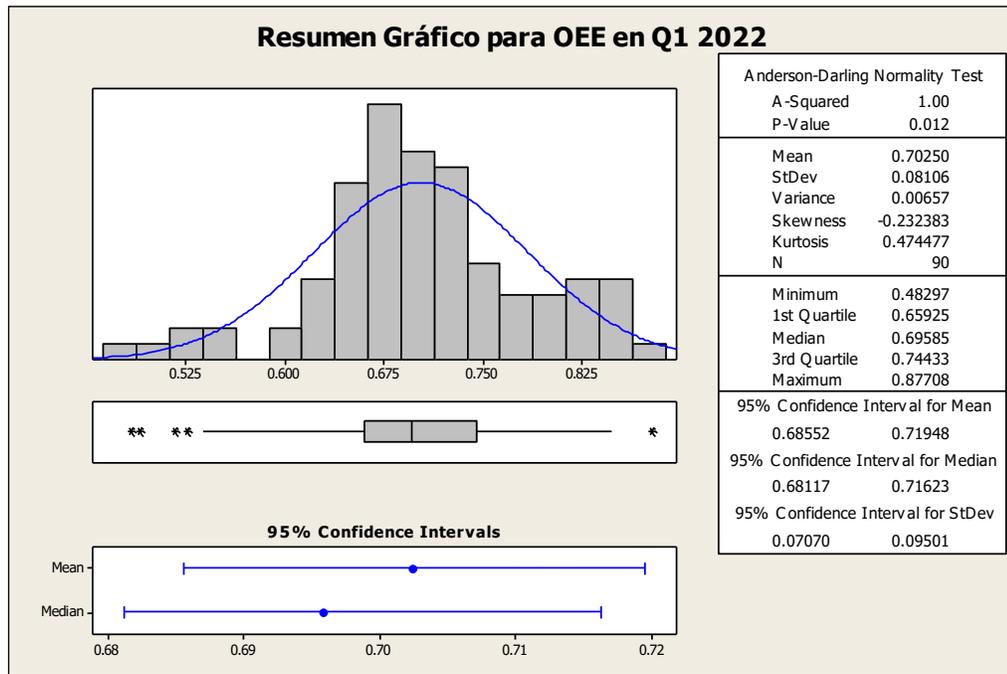


Figura 5.2 Resumen Gráfico de *OEE* para Q1 de 2022

En la figura 5.3 y 5.4 se pueden observar la tendencia del índice de eficiencia general de los equipos en el periodo de tiempo de Q2 del 2022, teniendo una media igual a 0.76870 y una mediana igual a 0.76521.

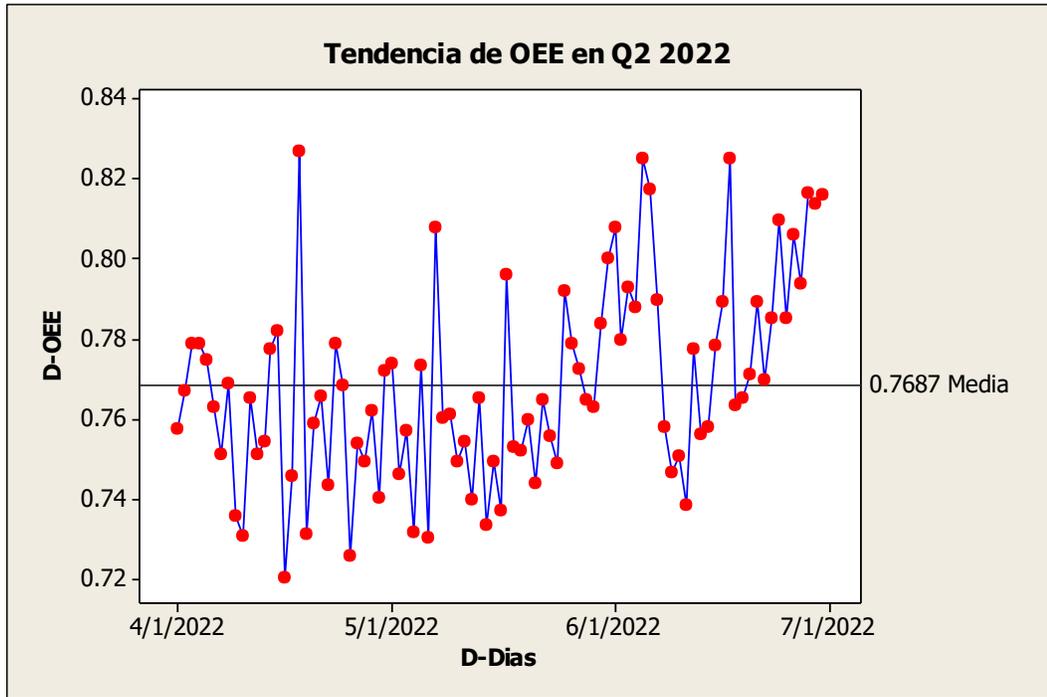


Figura 5.3 Tendencia de *OEE* para Q2 de 2022



Figura 5.4 Resumen Gráfico de *OEE* para Q2 de 2022

5.3 Prueba de Normalidad de los Datos de *OEE* para Q1 y Q2 del 2022.

En la figura 5.5 y 5.6 se puede observar las pruebas de normalidad que se le realizaron a los conjuntos de datos para el índice de eficiencia general de los equipos en el periodo de tiempo de Q1y Q2 del 2022 respectivamente.

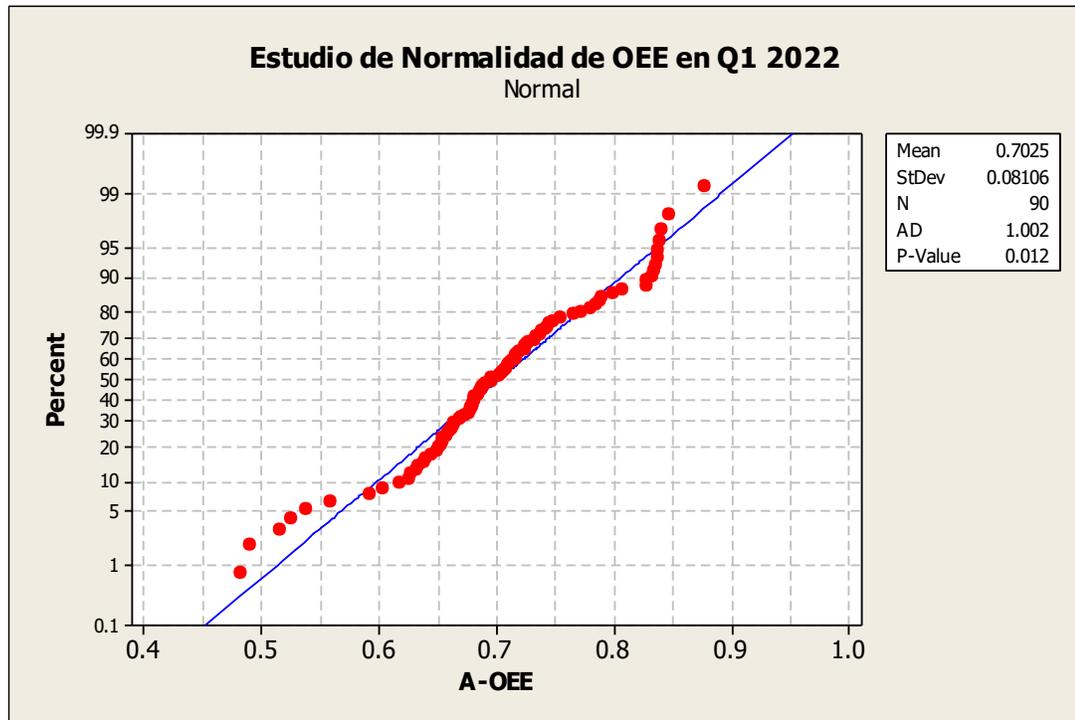


Figura 5.5 Prueba de Normalidad de *OEE* para Q1 de 2022.

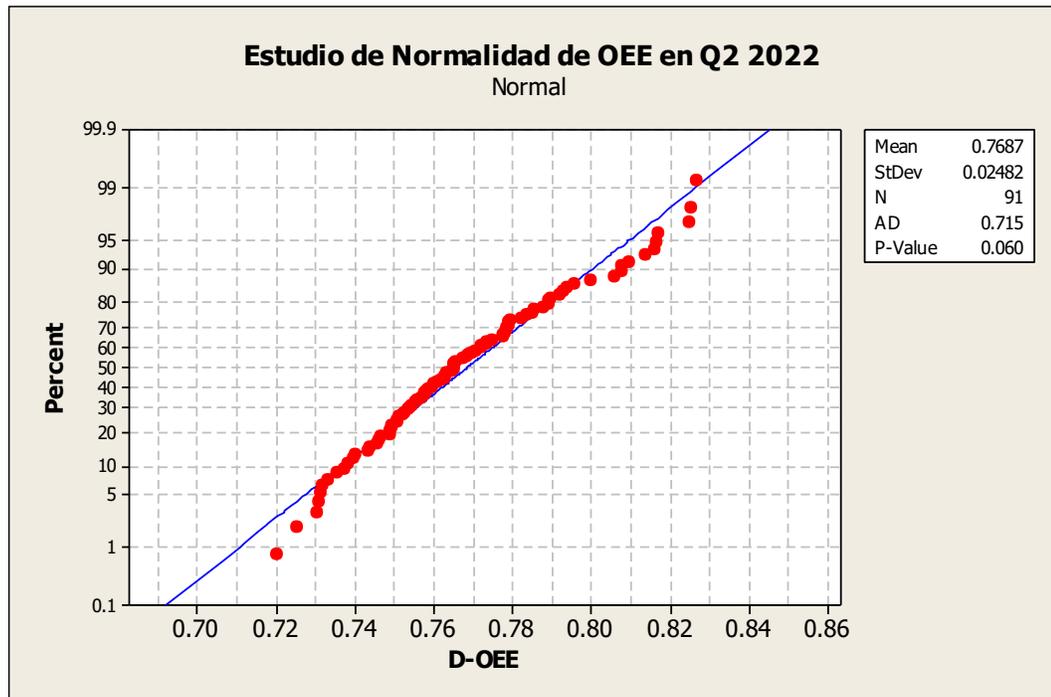


Figura 5.6 Prueba de Normalidad de *OEE* para Q1 de 2022.

Como principal información en la figura 5.5 se puede observar la cantidad de datos medidos, con el índice N que es igual a 90 y representa la cantidad de días medidos y el valor p que es menor que 0.05 siendo igual 0.012 concluye que los valores obtenidos antes de la implementación de las acciones correctivas no tienen una distribución normal. Para la figura 5.6 se puede observar de igual manera la cantidad de datos medidos, donde N es igual a 91 y el valor p que es igual a 0.060 concluye que los valores obtenidos después de las acciones correctivas durante la medición tienen una distribución normal. Los resultados de las pruebas de normalidad mostraron que la distribución de los datos de *OEE* no es normal por lo que no es posible realizar una prueba de hipótesis de medias para comparar el antes y el después de la implementación de las acciones correctivas. Al igual que con el análisis de los datos de Eficiencia, Calidad y Disponibilidad, debido a que la distribución de los datos no es normal para los datos de Q1, por el principio de homocedasticidad se consideran las varianzas

constantes para ambos conjuntos de datos Q1 y Q2, por lo que se realizó una prueba de hipótesis de Mann-Whitney para datos no paramétricos.

La información recolectada de los 3 meses de historial está disponible para consulta en el Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022 y en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022

5.3 Prueba de Hipótesis de los Datos de *OEE* para Q1 y Q2 del 2022.

En la figura 5.7 se puede observar los resultados de la prueba de hipótesis de Mann-Whitney que se realizó para la comparación de las medianas entre los periodos de antes de la implementación de las acciones correctivas y después de que se realizaran.

Las hipótesis que se plantearon son las siguientes: $H_0 = \tilde{\mu}_d > \tilde{\mu}_a$ La media después de la implementación de las acciones correctivas es mayor a la media antes de la implementación de las acciones correctivas.

$H_1 = \tilde{\mu}_d \leq \tilde{\mu}_a$ La mediana después de la implementación de las acciones correctivas no es mayor a la media antes de la implementación de las acciones correctivas.

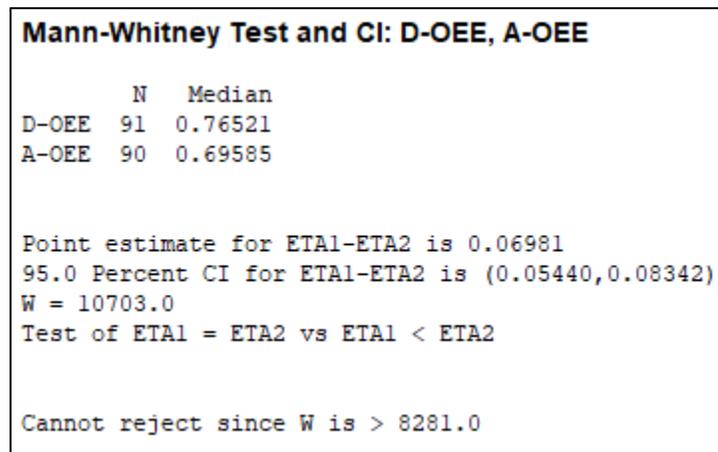


Figura 5.7 Prueba de Hipótesis para el *OEE*.

Se acepta la $H_0 = \tilde{\mu}_d > \tilde{\mu}_a$ con una $W > 8281.0$, donde W es igual a la sumatoria de los rangos de la muestra para el cálculo de la U de Mann Whitney.

La prueba de hipótesis nos indica que la comparación de las medianas de los datos del Q2 y Q1 son significativamente diferentes, esto quiere decir que después de las acciones realizadas hubo un impacto significativo en el métrico de *OEE* estadísticamente hablando. Esto quiere decir que el comportamiento de los equipos y el proceso en general medido tuvo un impacto positivo después de la implementación del OEE como métrico base.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo final se abordan las conclusiones para la empresa dental médica donde se realizó el análisis de los métricos y se implementaron las acciones correctivas. Además, se realizarán algunas recomendaciones para lograr mantener los resultados obtenidos.

6.1 Conclusiones

En la tabla 6.1 se muestran los valores de los métricos que componen al *OEE*, el *OEE* y el porcentaje de mejora, antes y después de las acciones correctivas implementadas en el proceso. Esta tabla presenta los valores de las medias obtenidas de la información del Anexo B, tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022 y en el Anexo C, tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022

Tabla 6.1 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%
<i>OEE</i>	0.6986	0.7687	7.01%

Analizando la tabla es posible concluir que el impacto obtenido después de la implementación del *OEE* como métrico base y la realización de las acciones correctivas que se dieron a partir del análisis y la interpretación de los datos fue positivo en un 7.01% para la empresa.

6.1.1 Respuesta a Pregunta de Investigación.

En el capítulo 2, sección 2.3 de esta investigación, se plasmó la pregunta de investigación que dio dirección al análisis realizado, la cual es la siguiente, ¿Cuál será el impacto que tendrían los métricos de disponibilidad operacional, eficiencia y calidad en el área de fabricación de alineadores de la empresa, una vez que se implemente el *OEE* como métrico base? Esta respuesta se observa en la tabla 6.1 donde se describe el porcentaje de mejora de los métricos. En resumen, el impacto obtenido después de la implementación de *OEE* como métrico base y la realización de las acciones correctivas fue positivo o de mejora para los métricos.

Cabe resaltar que el índice de *OEE* no era un métrico que se estuviera midiendo antes de la mejora, por lo que los datos de *OEE* presentados fueron calculados al momento de realizar este análisis con la información disponible en el Anexo B. tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022 y Anexo C. tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022.

6.1.2 Análisis de la Hipótesis.

En la sección 2.4 se dieron a conocer las hipótesis a comprobar, las cuales son las siguientes, H_0 . 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 y H_1 . Mediante la integración de *OEE* en la medición de los métricos se no tendrá un impacto significativo en los equipos medidos en la empresa para el área de fabricación de alineadores las cuales se transcribieron en la siguiente ecuación $H_0 = \tilde{\mu}_d > \tilde{\mu}_a$, en la sección 5.3 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 $H_0 = \tilde{\mu}_d > \tilde{\mu}_a$

6.1.3 Verificación del Objetivo Generales.

En la sección 2.5 se describe el objetivo general de la investigación, el cual tiene como propósito 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 realizar el análisis de los datos y concluir sobre las hipótesis formuladas.

6.1.4 Verificación de los Objetivos Específicos.

En la sección 2.5 se describen los objetivos específicos de la investigación, los cuales se dividieron en cuatro incisos como se muestra en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Estatus de Objetivos Específicos.

Objetivos Específicos	Estatus de cumplimiento
a) Organizar la información interna de la planta de manera estructurada por departamento o área y fecha.	Logrado satisfactoriamente.
b) Consolidar (integrar) la información obtenida en un indicador clave de rendimiento	Logrado satisfactoriamente.
c) Determinar la forma en que se presentaran los datos.	Logrado satisfactoriamente.
d) Validar el uso de la herramienta y demostrar resultados.	Logrado satisfactoriamente.

Por último, es necesario enfatizar y dejar claro que la utilización del indicador *OEE* como métrico base, por si 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 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.

6.2 Recomendaciones

Para finalizar el capítulo se brindan algunas recomendaciones que se mencionan en la sección 4.2.5 con base en las acciones correctivas que no pudieron ser implementadas.

6.2.1 Uso de Tablero Digital

Como principal recomendación para mantener los resultados positivos obtenidos en los indicadores de eficiencia, disponibilidad y *OEE*, es necesario continuar realizando la actividad del monitoreo de los indicadores de manera puntal en la medida que sea posible.

En la tabla 4.8 del capítulo 4, actividad 1 menciona el diseñar una plataforma en la que se pueda mostrar la información requerida. El desarrollo de esta actividad no se pudo realizar durante el periodo de tiempo cuando se realizó esta investigación, por lo que quedo fuera de las acciones correctivas del momento. Sin embargo, es recomendable dar seguimiento a esta actividad de realizar el visualizador digital para monitoreo para los indicadores claves incluyendo al *OEE*. En la figura 6.2 se muestra el avance que se logró realizar para el visualizador digital de información que muestra el *OEE* por grupo de máquinas. Este visualizador digital fue diseñado por medio de la aplicación de *Microsoft Power BI*® el software tiene varios beneficios, posee la capacidad de interconectarse con las bases de datos de la compañía y descargar de manera

automática la información que se requiera para dar un seguimiento en tiempo real de la información que se programe para visualizar. Además, brinda la posibilidad de visualizar la información de manera flexible ya que el programa o interfaz que se realice puede ser exportada a internet para visualizarse por medio de un enlace o directamente en dispositivos móviles, como celulares o tabletas, sin tener que pagar por utilizar este servicio.



Figura 6.1 Visualizador Digital de Indicadores Claves.

6.2.2 Disminuir la Cantidad de Defectos

Con respecto al indicador de calidad, este no presentó el comportamiento deseado. Estadísticamente no hubo una diferencia significativa entre el antes y el después del cambio y esto puede estar relacionado a una variedad de factores que no se pudieron observar dentro de esta investigación. Sin embargo, se recomienda analizar el comportamiento que tiene el índice de *scrap* en los diferentes meses como se muestra en la figura 4.3 del capítulo 4, y seguir alguna metodología de resolución de problemas para crear planes de acción que ayuden

a disminuir el índice y así mejorar la tendencia de este métrico. Dentro de los factores que se deben de considerar están enlistados en la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Recomendación de Factores a Analizar Relacionados con la Calidad.

Factor	Posible acción para realizar
Apreciación personal de los inspectores al detectar defectos de calidad.	Análisis de concordancia de atributos
Mala categorización de los defectos de calidad	Entrenamiento al personal
Afectación entre fallas de máquinas y defectos de calidad	Consulta y actualización del análisis de modos de falla y efectos de proceso
Problema con el diseño de Producto	Consulta y actualización del análisis de modos de falla y efectos de diseño.

BIBLIOGRAFÍA

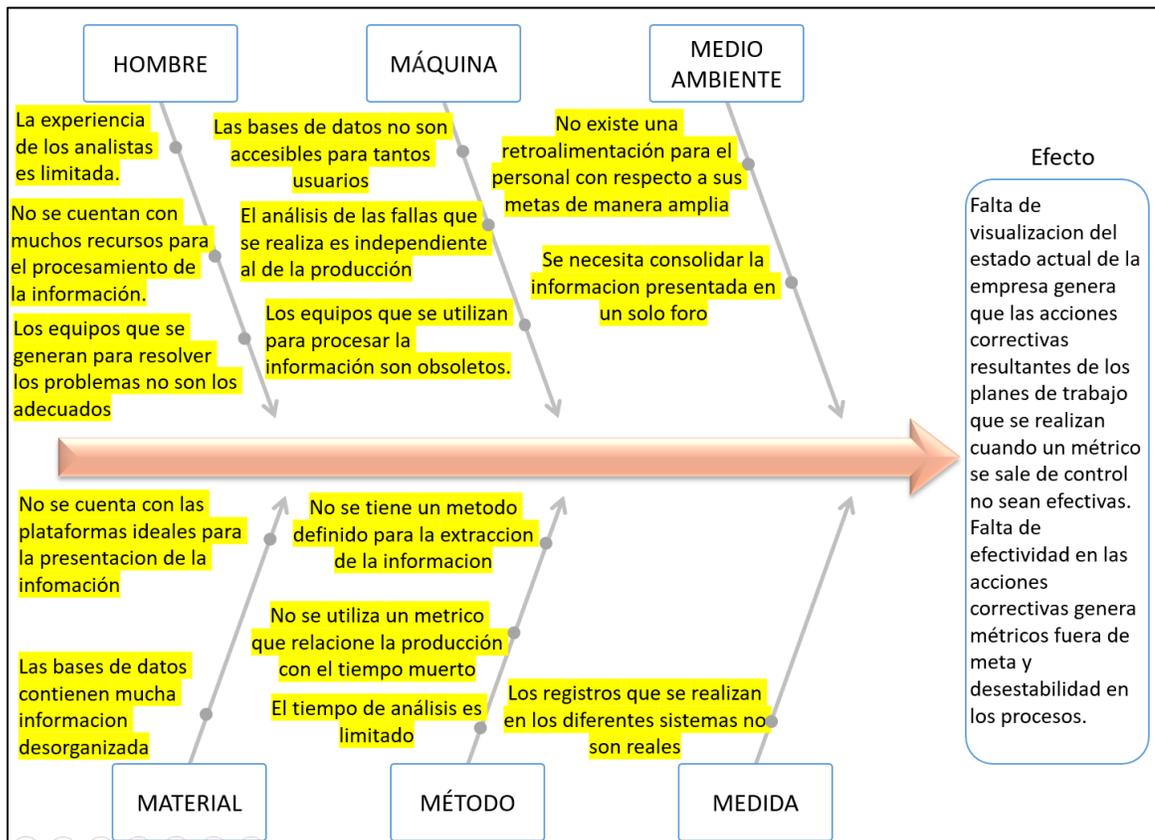
- Acevedo, J., Urquiaga, A. y Gómez, M. (2001). Gestión de la Cadena de suministro. Centro de estudio de Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (Logespro). Recuperado el 29 de noviembre del 2021 de: https://trellischile.tripod.com/archivos/FOLLETO_SCM.pdf
- Allen, A. "MTTR: Qué es y para qué sirve." Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. 2001. <https://www.profesionalreview.com/2020/03/15/que-es-mttr/>
- Arango, S. (2014). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Medellin, Colombia. vol. 14, No. 27 pp. 221-234.
- Belohlavek, P. (2006). *OEE Overall Equipment Effectiveness*, Blue Eagle Group. Buenos Aires, Argentina.
- Betancourt, D. "Productividad: Definición, medición y diferencia con eficacia y eficiencia." Recuperado el 29 de noviembre de 2021: Documento Web. 2017. <https://www.ingenioempresa.com/productividad/>
- Casilimas, M. (2012). Implementación del sistema de indicadores de productividad y mejoramiento *OEE* (OVERALL EFFECTIVENESS EQUIPMENT) en la línea tubería en CORPACERO S.A.
- Coutinho, V. "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. 2015 <https://rockcontent.com/es/blog/kpis/>
- 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.
- De Pinedo, N. "¿Qué es un KPI y para que sirve?" Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. 2017 <https://www.isdi.education/mx/blog/que-es-un-kpi-y-para-que-sirve>
- Falconi, A. (2014) Sistemas de producción y productividad producción esbelta manufactura industrial plásticos. Recuperado el 10 de mayo del 2022, de Repositorio Institucional de la universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8043>

- Fogg, E. "Takt time vs cycle time vs lead time definitions and calculations." Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. 2020. <https://www.machinemetrics.com/blog/takt-time-vs-cycle-time-vs-lead-time>
- 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/>
- Iglesias, J. (2013) Productividad- Indicadores fundamentales. Recuperado el 29 de noviembre de 2021, de Slideshare: <https://es.slideshare.net/jjoana/medicin-de-la-productividad>
- 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>
- Knezevic, J. (1996) Mantenimiento, Madrid, Isdefe.
- Lezana, E. (1990) Optimización de la gestión del mantenimiento. Ed. TMI, 1990
- Liker, J. (2004): The Toyota way, New York, Free Press
- Lopez, J. (2012) Productividad, Bloomington, Indiana, USA.
- 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.
- Montgomery, R. (2001) Engineering Statistics, Arizona, Wiley, USA.
- 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/>
- Nuñez, I. (2020). Uso del sistema *OEE* para la mejora de una embolsadora en una empresa de IV gama
- Ocque (2004). Elaboración de plan de mantenimiento para las máquinas de rotomoldeo de una empresa del sector industrial.
- Oloffson, O. "Calculador de *MTBF* y *MTTR*." Recuperado el 30 de noviembre de 2021. Documento Web. 2010. <https://dokumen.tips/documents/calculador-de-mtbf-y-mttr-55cac2c3658d7.html>

- Real Academia Española (2021). Productividad, Diccionario de la lengua española, 23.^a ed.
- Salazar, B. “Aplicación del tiempo estándar.”
Recuperado el 29 de noviembre de 2021. Documento Web. 2019.
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/aplicacion-del-tiempo-estandar/>
- Sanzol, L. (2010). Implantación de plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración.
- Silas, G. (2011). Programa digital para medir el *OEE* de producción
- Toledano, D., Asier, M., Nagore, G. y Garcia, S.(2009) Las claves del Éxito Toyota. Cuadernos de Gestión. Vizcaya, España, vol. 9, No. 2, pp. 113-112
- 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
- Villafuente, J. (2020) “Errores más comunes al usar *OEE*, y cómo usarlo efectivamente.”
Recuperado el 30 de noviembre del 2022. Documento Web. 2020.
<https://www.gembaacademy.com/es/blog/2020/01/17/errores-mas-comunes-al-usar-oee-y-como-usarlo-efectivamente>

ANEXOS

Anexo A Figura I Diagrama de Pescado



Anexo B. Tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y OEE de Q1 2022.

Eficiencia	Calidad	Disponibilidad	OEE
0.766958262	0.99434923	0.893107826	0.681105781
0.791044314	0.990155352	0.854204002	0.669061060
0.94192245	0.990127164	0.837574671	0.781141406
0.973711307	0.990225277	0.869354839	0.838226327
0.973240469	0.990160285	0.864784946	0.833362172
0.956028022	0.989621854	0.875059737	0.827899463
0.980309547	0.990098286	0.872670251	0.847016191
0.998300749	0.990335484	0.887149044	0.877082258
0.968165526	0.98978225	0.864725209	0.828642866
0.981419029	0.990204102	0.865934886	0.841519981
0.966723688	0.989613651	0.876844385	0.838862080
0.947662105	0.988923368	0.86108871	0.806982373
0.952860867	0.988987221	0.885439068	0.834408754
0.940791789	0.990458181	0.89942503	0.838097665
0.918903552	0.990464928	0.877986858	0.799092486
0.912623004	0.990484997	0.872894265	0.789043513
0.781104594	0.987994377	0.836043907	0.645197612
0.888437602	0.989696015	0.893735066	0.785846188
0.76538449	0.988658835	0.897513441	0.679152135
0.901697621	0.991500772	0.769817802	0.688243202
0.765619094	0.989741178	0.895206093	0.678355616
0.844659091	0.989802233	0.847610514	0.708640917
0.862696318	0.990429122	0.869354839	0.742811163
0.854894102	0.990877283	0.86733871	0.734718410
0.925925383	0.990787091	0.645168757	0.591874539
0.916122515	0.990516009	0.715994624	0.649717878
0.841798631	0.989247062	0.61989994	0.516219706
0.907344412	0.990641519	0.878614098	0.789744959
0.894006191	0.990773425	0.851941458	0.754613600
0.903066145	0.989891792	0.824768519	0.737291726
0.91603291	0.98991038	0.852635902	0.773162124
0.880420332	0.993630668	0.852598566	0.745864005
0.854358097	0.99769453	0.850619773	0.725058427
0.755487129	0.998490462	0.87526135	0.660250505
0.82103291	0.998547475	0.861954898	0.706665396
0.82473607	0.998050266	0.856078256	0.704662029
0.841581949	0.99812414	0.862589606	0.724578079

**Tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y OEE de Q1 2022.
(Continuación)**

0.836914304	0.997356423	0.740008961	0.617686854
0.834789834	0.997256018	0.863172043	0.718590023
0.810309547	0.996732801	0.814351852	0.657721131
0.779346693	0.997451726	0.875500299	0.680579528
0.821557511	0.998617809	0.859535544	0.705181837
0.843668948	0.998617344	0.882862903	0.743814154
0.82487781	0.997938022	0.874925329	0.720218346
0.809253829	0.996992269	0.83917264	0.677061111
0.820307918	0.997187714	0.877023596	0.717406159
0.793069404	0.997795746	0.872707587	0.690592082
0.837225481	0.998526919	0.883624552	0.738703215
0.839009449	0.998172759	0.873991935	0.731947599
0.829237537	0.998204273	0.879181601	0.727741209
0.737329749	0.997794831	0.862022103	0.634192947
0.783087325	0.996972906	0.817256571	0.638045972
0.79064842	0.99688028	0.875141876	0.689770915
0.822380254	0.997109615	0.588985962	0.482970408
0.805389378	0.997285313	0.865636201	0.695281591
0.805747801	0.998204494	0.88260902	0.709883384
0.79850114	0.997912756	0.880525687	0.701633222
0.793092212	0.997458915	0.868682796	0.687194891
0.79740958	0.997096741	0.856959379	0.681363683
0.828416422	0.991869919	0.596303763	0.489971669
0.819213099	0.988590645	0.859923835	0.696423426
0.81821766	0.988176543	0.850716846	0.687841576
0.810461062	0.988374968	0.85188172	0.682390845
0.80259042	0.987126241	0.850716846	0.673987282
0.802517107	0.985872489	0.83833632	0.663274542
0.781655262	0.986793947	0.845288232	0.651998439
0.78149886	0.987570984	0.846550179	0.653355236
0.787917889	0.985931219	0.842734468	0.654663814
0.79744868	0.986258719	0.844384707	0.664100731
0.791950147	0.987121965	0.857616487	0.670442877
0.784364614	0.985973417	0.845624253	0.653974221
0.825754717	0.987533279	0.768458781	0.626647600
0.791901271	0.985792141	0.81942951	0.639687687
0.810866732	0.986204818	0.785468937	0.628124332

**Tabla I Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q1 2022.
(Continuación)**

0.789607364	0.98489666	0.848364695	0.659757661
0.849400456	0.985087137	0.849985066	0.711210948
0.89670088	0.987087455	0.865770609	0.766312777
0.871839361	0.987210704	0.869033751	0.747967921
0.876982731	0.986745112	0.839994026	0.726895906
0.712279387	0.983693124	0.695138889	0.487059028
0.870912349	0.9880258	0.625253883	0.538020882
0.895855327	0.988995701	0.804749104	0.713005346
0.8954855	0.98795595	0.810707885	0.717233451
0.836728576	0.987670955	0.804345878	0.664721498
0.837846204	0.987594065	0.826844385	0.684173989
0.861067123	0.987149093	0.799507168	0.679582396
0.79657869	0.985284493	0.805488351	0.632192874
0.810791789	0.985839844	0.699768519	0.559332570
0.779002933	0.98465969	0.787694146	0.604202989
0.791044314	0.986637641	0.673357228	0.525537874

Anexo C. Tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y OEE de Q2 2022.

Eficiencia	Calidad	Disponibilidad	OEE
0.906120886	0.991482927	0.84338411	0.75769914235
0.910661453	0.991825949	0.849611708	0.76738429965
0.935669599	0.992627726	0.838829152	0.77908068234
0.929330401	0.992729957	0.844130824	0.77877325953
0.926705767	0.992959009	0.842099761	0.77488406605
0.920469208	0.992840505	0.834953704	0.76304675074
0.89532421	0.991864253	0.845721326	0.75103443262
0.911443467	0.992220848	0.850358423	0.76902436902
0.879822418	0.991998667	0.84301822	0.73577168886
0.877740306	0.991508231	0.839837216	0.73089919167
0.911065494	0.99202628	0.846662186	0.76521405650
0.899424894	0.991017395	0.842921147	0.75133415260
0.900213425	0.992563582	0.84442951	0.75451386349
0.923893776	0.991385786	0.849141278	0.77775835100
0.928049853	0.992135342	0.84958184	0.78225337878
0.865677745	0.991544228	0.839284648	0.72040649953
0.88840013	0.991280029	0.846923536	0.74584601337
0.987020202	0.99182613	0.844885006	0.82710222756
0.871847507	0.991090182	0.846497909	0.73144149413
0.899900619	0.991527249	0.850485364	0.75886766681
0.921290323	0.991577186	0.838470729	0.76596855556
0.882616487	0.99166036	0.84932049	0.74337267090
0.926536331	0.992686932	0.846923536	0.77896682237
0.910244379	0.991820414	0.85109767	0.76837008928
0.867649071	0.991694879	0.843316906	0.72562624720
0.912311828	0.991019274	0.833736559	0.75379673513
0.912249919	0.99090258	0.829271207	0.74962036930
0.924097426	0.991297771	0.831989247	0.76214850771
0.892067449	0.991790719	0.836589008	0.74016728662
0.924380906	0.991427338	0.842734468	0.77232948170
0.930377973	0.99257704	0.837873357	0.77375242988
0.891091561	0.990342845	0.84552718	0.74616602771
0.91765233	0.990499862	0.832967443	0.75711285184
0.892983056	0.989556898	0.828046595	0.73170961976
0.934802867	0.990825784	0.835020908	0.77341873017
0.891968068	0.989771503	0.827217742	0.73030469563
0.966564027	0.990367063	0.84411589	0.80803261748

**Tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y OEE de Q2 2022.
(Continuación)**

0.925775497	0.989734989	0.82973417	0.76026252018
0.906521668	0.98949001	0.84874552	0.76131975320
0.911738351	0.990915345	0.829696834	0.74959418701
0.914061584	0.990868923	0.832728495	0.75421486895
0.888318671	0.990154975	0.841285842	0.73997243908
0.928103617	0.990343532	0.832855436	0.76551192330
0.889648094	0.989927957	0.832915173	0.73353799859
0.891041056	0.990011354	0.849402628	0.74929268229
0.902029977	0.990407574	0.825298686	0.73730312943
0.945268817	0.990832566	0.849977599	0.79609167759
0.911425546	0.989666323	0.834692354	0.75289848644
0.918673835	0.989320461	0.827635902	0.75220750131
0.919623656	0.990029497	0.834699821	0.75995624593
0.89516129	0.990606971	0.83901583	0.74399981636
0.911208863	0.991396388	0.846923536	0.76508461693
0.912675138	0.990830061	0.835648148	0.75568160322
0.909408602	0.989288689	0.832676225	0.74913185736
0.946803519	0.990962715	0.844227897	0.79209428008
0.946241447	0.990490752	0.830943847	0.77879663790
0.933838384	0.990577295	0.835020908	0.77242698979
0.916115999	0.992173384	0.841345579	0.76473762394
0.927352558	0.992535255	0.828920251	0.76296315566
0.942608341	0.99217212	0.83833632	0.78403703908
0.970695666	0.991571181	0.831384409	0.80021900642
0.984258716	0.991559875	0.827889785	0.80798023604
0.935987292	0.992308214	0.839523596	0.77973934009
0.965738025	0.992233075	0.827538829	0.79297849949
0.940482242	0.992998053	0.843869474	0.78808719987
0.970943304	0.993059995	0.856182796	0.82553569208
0.966500489	0.99319666	0.851523297	0.81739854990
0.943695015	0.991796147	0.84380227	0.78975933284
0.908282828	0.991616204	0.841883214	0.75825724522
0.899840339	0.991070426	0.837193847	0.74661378291
0.902191268	0.991561402	0.839299582	0.75081897359
0.900241121	0.990897048	0.827912186	0.73853597704
0.937665363	0.992514843	0.83572282	0.77776275979
0.909739329	0.991198034	0.838635006	0.75622388239

**Tabla II Histórico de Eficiencia, Calidad, Disponibilidad y *OEE* de Q2 2022.
(Continuación)**

0.918771587	0.991750925	0.831884707	0.75800716510
0.933220919	0.991616781	0.841069295	0.77832344288
0.93684262	0.991941346	0.849484767	0.78942018754
0.973657543	0.992818311	0.853718638	0.82525995919
0.909501466	0.991725959	0.846639785	0.76364894764
0.930938416	0.9922945	0.828531959	0.76536888350
0.932484523	0.991426709	0.834050179	0.77107110181
0.956849137	0.991978737	0.831541219	0.78927730303
0.913691756	0.991648004	0.849850657	0.77001620144
0.942621375	0.992631974	0.839523596	0.78552217776
0.965074943	0.991891796	0.846020012	0.80985258752
0.938771587	0.991963111	0.8432273	0.78523584662
0.962324862	0.99128624	0.845086619	0.80616141704
0.949081134	0.991889053	0.84364546	0.79419365156
0.97502118	0.99231705	0.844153226	0.81674368884
0.971811665	0.992224618	0.843899343	0.81373454722
0.97107201	0.991623102	0.847759857	0.81633970515