

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**EVALUACIÓN DEL PRODUCTO CATALYFT EN LA EMPRESA
MCR MEDICAL, CON DMAIC Y OEE, PARA EL AUMENTO DEL
CUMPLIMIENTO DE LAS MÁQUINAS Y REDUCCIÓN DE
PÉRDIDA MENSUAL**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: KEVIN ARCE JIMÉNEZ

TUTOR: ING. JOEL PICADO SANABRIA

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA
AGOSTO, 2024**

CÉDULA DE IDENTIDAD

CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA.....	I
CÉDULA DE IDENTIDAD	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR.....	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO	VII
CONTENIDO.....	VIII
TABLAS	XII
FIGURAS	XIII
DEDICATORIA.....	XV
AGRADECIMIENTOS.....	XVI
EPÍGRAFE	XVII
RESUMEN	XVIII
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.4.1 Antecedentes nacionales	4
1.4.2 Antecedentes internacionales.....	6
1.5 PROYECCIONES.....	8
1.5.1 Alcances	8
1.5.2 Limitaciones	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES.....	10
2.1.1 DMAIC.....	10

2.1.2 FODA.....	11
2.1.3 Análisis de las partes interesadas.....	12
2.1.4 Árbol de CTQ.....	13
2.1.5. Eficiencia general del equipo (OEE).....	13
2.1.6 Gráfico de barras y de líneas.....	15
2.1.7 Diagrama de Pareto.....	15
2.1.8 SIPOC.....	17
2.1.9 Diagrama de flujo.....	18
2.1.10 Estatuto del proyecto (project charter).....	19
2.1.11 SMED: cambios rápidos.....	20
2.1.12 Estudio de tiempos del proceso.....	21
2.1.13 Gráfico de pastel.....	22
2.1.14 Lluvia de Ideas.....	23
2.1.15 Diagrama de Ishikawa.....	23
2.1.16 Multivotación.....	24
2.1.17 Poka Yoke.....	26
2.1.18 Diagrama de Gantt.....	26
2.1.19 Caminata Gemba.....	27
2.1.20 Análisis de costo beneficio.....	28
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....	29
2.2.1 Visión/misión.....	29
2.2.2 Antecedentes históricos.....	29
2.2.3 Ubicación geográfica.....	30
2.2.4 Estructura organizacional.....	30
2.2.5 Cantidad de empleados.....	31
2.2.6 Tipos de productos.....	32
2.2.7 Mercado de exportación.....	32
2.2.8 Descripción general del proceso productivo.....	32
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	36

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN	37
3.3.1 Sujetos de información	37
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	38
3.5 INSTRUMENTOS	40
3.5.1 Revisión de registros históricos	40
3.5.2 Técnicas grupales (reuniones).....	40
3.5.3 Toma de tiempos.....	40
3.5.4 Observación directa del proceso	40
3.5.5 Recorridos.....	40
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	41
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1 DEFINIR.....	44
4.1.1 Análisis de contexto-FODA.....	44
4.1.2 Análisis de las partes interesadas (stakeholders)	50
4.1.3 Árbol de CTQ	53
4.1.4 Eficiencia general de los equipos (OEE).....	56
4.1.5 Diagrama de Pareto	57
4.1.6 SIPOC.....	57
4.1.7 Diagrama de flujo	60
4.1.8 Project charter	63
4.2 MEDIR.....	64
4.2.1 OEE del año 2023	65
4.2.2 Factores reportados en OEE	66
4.2.3 SMED	68
4.3 ANALIZAR.....	74
4.3.1 Lluvia de ideas	74
4.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	75
4.3.3 Multivotación	77
4.3.4 Diagrama de Pareto	79
CAPÍTULO V. PROPUESTA.....	81
5.1 MEJORAR.....	82

5.1.1 Propuesta 1: Pizarra de herramientas en el área de Catalyft	82
5.1.2 Propuesta 2: Actualización de los procedimientos	84
5.1.3 Propuesta 3: Modificación del mantenimiento preventivo de cada cuatro semanas	85
5.1.4 Propuesta 4: SMED, etapas 3 y 4: factores internos a externos y optimizar	86
5.1.5 Propuesta 5: Entrenamiento a mecánicos para nivelar el conocimiento técnico	91
5.2 CONTROLAR.....	92
5.2.1 Estimado de mejoría en el OEE de las máquinas de Catalyft.....	92
5.2.2 Reuniones de cinco minutos.....	93
5.2.3 Caminata Gemba	94
5.2.4 Plan de implementación	94
5.2.5 Análisis costo-beneficio	95
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS.....	102

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área	31
Tabla 3.1: Project charter del proyecto.....	38
Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico	39
Tabla 4.1 Matriz de estrategias.....	48
Tabla 4.2: Project charter del proyecto.....	64
Tabla 4.3: OEE del año 2023.....	65
Tabla 4.4: Factores reportados que afectan la disponibilidad de la máquina en el año 2023	67
Tabla 4.5: Etapa 1. Observar factores (factores del 1 al 46).....	69
Tabla 4.6: Etapa 1. Observar factores (factores del 47 al 93).....	70
Tabla 4.7: Etapa 1. Observar y medir.....	71
Tabla 4.8: Herramientas necesarias para ejecutar las tareas	73
Tabla 4.9: Factores por los que las máquinas se detienen	74
Tabla 4.10: Valores para el análisis de la multivotación	77
Tabla 4.11: Tabla de multivoto.....	78
Tabla 4.12: Resumen-diagrama de Pareto-causas	79
Tabla 5.1: Costo de la propuesta 1	83
Tabla 5.2: Costo de la propuesta 2	84
Tabla 5.3: Costo de la propuesta 3	86
Tabla 5.4: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos (factores del 1 al 46).....	87
Tabla 5.5: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos (factores del 47 al 93).....	88
Tabla 5.6: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos y optimizar.....	90
Tabla 5.7: Costo de la propuesta 5	91
Tabla 5.8: Cuadro comparativo con la propuesta de disponibilidad	93

FIGURAS

Figura 2.1: Ejemplo de un diagrama de flujo	10
Figura 2.2: Ejemplo de FODA	12
Figura 2.3: OEE de clase mundial.....	15
Figura 2.4: Ejemplo de un diagrama de Pareto	16
Figura 2.5: Ejemplo de una matriz SIPOC.....	17
Figura 2.6: Ejemplo de un diagrama de flujo	18
Figura 2.7: Ejemplo de project charter	19
Figura 2.8: Guía para la aplicación de SMED con el fin de reducir tiempos	21
Figura 2.9: Ejemplo de un gráfico de pastel	22
Figura 2.10: Ejemplo de una lluvia de ideas	23
Figura 2.11: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa	24
Figura 2.12: Ejemplo de una matriz de multivotación	25
Figura 2.13: Ejemplo de un diagrama de Gantt	27
Figura 2.14: Mapa satelital de MCR Medical.....	30
Figura 2.15: Organigrama de MCR Medical	31
Figura 2.16: Productos de MCR Medical.....	32
Figura 2.17: Diagrama de flujo del proceso general de MCR Medical	33
Figura 3.1: Método de la investigación DMAIC.....	36
Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos.....	41
Figura 4.1: Análisis FODA de la investigación.....	45
Figura 4.2: Análisis de las partes interesadas	51
Figura 4.3: Matriz de poder-interés	52
Figura 4.4: Árbol de CTQ.....	54
Figura 4.5: OEE del año 2023.....	56
Figura 4.6: Diagrama de Pareto sobre el precio de los productos en el año 2023	57
Figura 4.7: Diagrama SIPOC para el área de fabricación de Catalyft	58
Figura 4.8: Diagrama de flujo para el área de fabricación de Catalyft.....	61
Figura 4.9: OEE del año 2023.....	66
Figura 4.10: Factores que afectan la disponibilidad de la máquina en el año 2023.....	67

Figura 4.11: Distribución actual de las actividades internas y externas72

Figura 4.12: Gráfico de distribución de las categorías internas.....72

Figura 4.13: Diagrama de Ishikawa.....75

Figura 5.1: Pizarra de herramientas para el área de Catalyft.....83

Figura 5.2: Diagrama de Gantt de la propuesta 2.....85

Figura 5.3: Diagrama de Gantt de la propuesta 3.....86

Figura 5.4: Distribución mejorada de las actividades internas y externas90

Figura 5.5: Diagrama de Gantt de la propuesta 5.....92

Figura 5.6: Diagrama de Gantt de la implementación del proyecto.....95

DEDICATORIA

A mis padres y hermano, quienes siempre creyeron en mis capacidades, dándome ese empujón para que hoy pueda cumplir mis metas, de modo que sea mejor profesional y persona día tras día. A mi esposa, por brindarme apoyo durante los años de estudio y, por supuesto, a Dios, por darme las fuerzas, sabiduría y poner personas tan especiales en mi vida, quienes me ayudaron a cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la profesora Joel Picado Sanabria, por su ayuda, guía y gran disposición para con la realización de este proyecto, lo cual me ayudó a dar este paso importante en mi vida.

A la Universidad Central y todo el grupo de docentes que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme, pues con su profesionalismo, labor y conocimiento fueron una guía importante durante todos los cursos de la carrera.

A mi familia, que siempre me apoyó e impulsó a seguir adelante para cumplir esta meta en mi vida.

A todos muchas gracias.

EPÍGRAFE

*Cuando retornas al camino, retornas al punto en que lo dejaste, no al punto en el que
comenzaste.*

Henri Nouwen

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la empresa MCR Medical, Departamento de Manufactura, específicamente en la línea de producción del producto Catalyft. Al respecto, para el año fiscal 2024, se identificó que la línea no alcanzó la meta diaria ni mensual de manera constante, esto trajo como consecuencia problemas en cuanto a los indicadores del área, productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas. De esta forma, debido a la cantidad de máquinas existentes en el área de manufactura, se experimentó una pérdida de \$ 79 982 en un periodo de tres meses (agosto 2023-octubre-2023), lo que representó un 25 % del total de la demanda comprometida durante este periodo de tiempo.

En el presente trabajo, se llevó a cabo una investigación mediante la metodología DMAIC y OEE, con la intención de encontrar las causas por las cuales no se cumple la demanda del producto al final del mes. Así, se identificaron los factores por los cuales las máquinas se detienen durante el proceso de manufactura: falta de herramientas, falta de partes para el *setup*, cambio de barra y personal con poco conocimiento. Por lo tanto, se implementó la metodología SMED para comprender la distribución de los factores internos que se realizan con la máquina detenida y los factores externos que se llevan a cabo con la máquina trabajando.

Finalmente, se crearon propuestas que permiten aumentar la disponibilidad de los equipos en más de un 10 %, tales como implementar la pizarra de herramientas para evitar movimientos innecesarios, clarificar procedimientos de maquinado y mantenimiento, optimizar el proceso con SMED al cambiar la distribución de los factores internos y convertirlos a externos, con el fin de generar una distribución diferente del proceso para ayudar al aumento en la disponibilidad de los equipos.

El objetivo del estudio se cumple pues el área subiría de nivel con respecto a la tabla de nivel OEE de clase mundial, pasando a ser un área aceptable con una mejora absoluta de 14.3 %. Las propuestas efectuadas no solo van a mejorar la disponibilidad del equipo, el porcentaje de OEE puede mejorar aún más si se les da el correcto control a las propuestas.

Palabras clave: DMAIC, OEE, SMED.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años el mercado de los dispositivos médicos ha tenido una expansión enorme a nivel mundial, pues este tipo de industrias es fundamental para rehabilitar y prolongarles la vida a personas a nivel mundial; por lo tanto, su manufactura se encuentra entre una de las más fuertes y lucrativas.

En Costa Rica operan importantes compañías en el sector de dispositivos médicos. Una de estas es MCR Medical, empresa dedicada a la fabricación de dispositivos médicos para el área espinal, especializada en el tratamiento y corrección de escoliosis, donde se identifica un producto que no alcanza la meta diaria ni mensual de manera constante, lo cual trae como consecuencia problemas en cuanto a los indicadores del área, productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas.

Al respecto, durante el tercer cuatrimestre del año fiscal 2023, el equipo de manufactura determina que el producto no está cumpliendo las métricas de eficiencia mensual, esto se refleja en una pérdida \$ 239 944 anual, equivalente a 26 784 unidades, solo en el área de Catalyft, la misma consta de diez máquinas.

De este modo, debido a la cantidad de máquinas que se encuentran en el área de manufactura ya mencionada (Catalyft), se tiene una pérdida de \$ 79 982 en un periodo de tres meses (agosto 2023-octubre-2023), lo que representa un 25 % del total de la demanda comprometida durante este periodo de tiempo.

Por consiguiente, la pregunta de la investigación es: ¿Qué medidas se pueden implementar para aumentar el cumplimiento en el área de Catalyft en la empresa MCR Medical?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Evaluar el proceso actual de manufactura del producto Catalyft, de la empresa MCR Medical, mediante la metodología DMAIC y *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), con el fin de proponer mejoras para aumentar el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 % y, así, reducir la pérdida mensual.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los factores, mediante un análisis de contexto y caracterización del proceso, que provocan la disminución del cumplimiento de las máquinas de Catalyft.
- Medir el impacto del incumplimiento, mediante el análisis de los factores del OEE y de la filosofía SMED, que tiene el área actual de Catalyft.
- Analizar las diferentes causas que provocan el impacto del incumplimiento, mediante las herramientas de análisis de causa raíz, para determinar las más críticas.
- Proponer mejoras y controles que aumenten el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 %.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realiza en la empresa MCR Medical, en el área de manufactura en la línea de producción de máquinas CNC del producto Catalyft. Se trata de un proyecto que abarca la mejora operativa, pero principalmente es una contribución al bienestar corporativo por medio de la innovación y la eficiencia.

Así, el principal objetivo de esta investigación es traer a la organización la mejora continua al aumentar el OEE y la disponibilidad de las máquinas, lo cual refleja el principio establecido para los procesos industriales. Al respecto, conseguir un mayor nivel de eficiencia y productividad no solo es optimizar los recursos y maximizar los resultados, sino también buscar el equilibrio en sus operaciones con el propósito de alcanzar la excelencia operativa. Asimismo, aumentar la productividad en estas máquinas es, más que un logro técnico, un avance para una atención médica más eficiente. Cuando se mejore la capacidad de producción en la empresa, se puede satisfacer la demanda y, en especial, se asegura que los dispositivos críticos lleguen a los pacientes que los necesitan con mayor rapidez.

En la actualidad, el OEE es de 65.4 %, disponibilidad 68.5, rendimiento 95.6 y calidad 100. Por lo tanto, el objetivo es aumentarlo en la empresa en al menos un 10 %. Además, con este proyecto se atacan tres indicadores fundamentales para la empresa

y el negocio: productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas.

Por consiguiente, se efectúa un análisis de causa raíz en busca de métodos alternativos para el proceso, lo anterior por medio de la metodología DMAIC, porque se centra en el análisis y la mejora continua, esto implica una resolución de problemas basada en información recopilada durante el tiempo. Adicional, esta metodología no solo aborda los problemas visibles, sino también explora las causas contribuyentes, por lo que promueve un enfoque íntegro en busca de las propuestas más viables. De este modo, cada desafío es una oportunidad para descubrir nuevas formas de analizar e identificar las causas probables.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

López (2020), quien realiza la tesis denominada: *Evaluación y mejora en la eficiencia del producto MAS G5 Head 5.0/6.0 en la empresa Medtronic Medical Costa Rica* en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Central, detecta que los aditamentos se dañan de una manera muy rápida, lo cual impacta a la empresa con grandes tiempos muertos por cambios de herramientas.

En relación con el presente trabajo de investigación, se efectúa un análisis mediante la metodología DMAIC para determinar las causas capaces de afectar el proceso de una herramienta en específico y por qué se daña de manera frecuente. Finalmente, después de un análisis estadístico, se demuestra que con la nueva herramienta se reducen los tiempos por cambios de herramientas, lo que hace el proceso más eficiente y aumenta la disponibilidad en las máquinas.

Por otra parte, Astúa (2018) en su proyecto de graduación titulado: *Reducción del tiempo en el cambio de molde segmentado mediante el método DMAIC y la herramienta SMED en la empresa Bridgestone*, desarrollado para optar por la Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en Mejora Continua en la Universidad Latina de Costa Rica, observa que la empresa tiene un promedio de 1.703 llantas no producidas por día debido a los tiempos no operativos.

En cuanto al presente trabajo de investigación, se vinculan porque se lleva a cabo un análisis mediante la metodología DMAIC y las propuestas del SMED para determinar las causas capaces de afectar el proceso que experimenta altos tiempos muertos. Finalmente, después de un análisis utilizando hipótesis, se demuestra que con la nueva manera de montaje de los moldes se reducen los tiempos muertos, lo cual hace el proceso más eficiente.

Un tercer documento es el de Gamboa (2020), quien lo denomina: *Propuestas de mejoras para la reducción del tiempo de cambio de papel en las máquinas A-07, A-08 y T'S ubicadas en el Focus Factory SCD*. Se trata de un proyecto de graduación para optar por la Licenciatura en Producción Industrial en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. En este se determina que la empresa no realiza un total de 1913 cajas, esta cantidad de producto terminado genera un costo asociado de \$15 123.

Relacionado al presente trabajo de investigación, se efectúa un análisis con la metodología DMAIC para determinar las causas capaces de afectar el proceso de cambio del papel. Por último, después de un análisis, se demuestra que con las propuestas se reducen los tiempos de cambios de papel, lo cual hace el proceso más eficiente, esto genera un ahorro significativo para la compañía y aumenta la disponibilidad de los equipos.

Además, Jiménez (2019) lleva a cabo el proyecto de graduación: *Propuestas de mejora de la línea dos de empaque del Focus Factory Dialysis para la reducción de tiempos de cambio de lote en Dispositivos Médicos S. A.*, desarrollado para optar por la Licenciatura en Producción Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica. En este, durante el diagnóstico de la situación, observa que “el tiempo total de cambio de lote de la línea dos de empaque primario es de 42 minutos. También se determinó que se realizan 103 cambios mensuales que corresponden a un costo de \$ 3 621.73”.

Por consiguiente, aborda la problemática con la metodología DMAIC para establecer las tareas innecesarias que afectan durante el cambio de lote, con el fin de generar reducciones en los tiempos y aumentar la producción.

Finalmente, Pérez y García (2014) elaboran el artículo: “Implementación de la metodología DMAIC Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal” para la *Revista Tecnología En Marcha*. Al respecto, su objetivo principal se basa en la propuesta de

mejora de la eficiencia en la línea de envasado de pet en la Fábrica Nacional de Licores (Fanal), sustentándose en la metodología DMAIC. Así, abordan la problemática con la metodología DMAIC para determinar las tareas innecesarias, lo que genera reducciones en los tiempos y aumenta la producción.

1.4.2 Antecedentes internacionales

Un primer trabajo corresponde a Flores (2015), quien realiza la tesis: *Análisis del desgaste progresivo en la herramienta de maquinado utilizando la ecuación de Taylor* para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se efectúa el análisis del desgaste de una herramienta que afecta los tiempos de disponibilidad de las máquinas. De este modo, por medio de la ecuación de Taylor, se identifican los puntos de mejora en el proceso para aumentar la vida útil de la herramienta, a su vez se incrementa la disponibilidad de los equipos y la producción.

Este se relaciona con la presente investigación al llevar a cabo un análisis de las diferentes situaciones que impactan directamente la disponibilidad de la máquina y de los procesos alternos. Todo esto con la intención de encontrar las posibles causas que detienen los equipos y generan tiempos muertos durante el proceso productivo, situación existente en MCR Medical, donde se deben analizar todas las posibles causas que conllevan a disminuir los tiempos de *setup*.

Un segundo trabajo es la tesis elaborada por Melgar y Tipacti (2019) con el título: *Mejora de la productividad y reducción de costos en una empresa productora de moldes de panteón de Lima metropolitana*, para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Ricardo Palma en Perú. En cuanto a esta, se detecta que la materia prima no se aprovecha al 100 % según la cantidad requerida para la producción de los moldes de panteón. Por lo tanto, se plantea una propuesta para incrementar la productividad del área de producción y, así, aprovechar de mejor forma la materia prima y máquinas involucradas en el proceso de producción mediante el uso de herramientas *lean manufacturing*.

Dicho trabajo se relaciona con la presente investigación porque se hace un análisis de un proceso de producción con el propósito de lograr un proceso más productivo y con un resultado significativo en la parte de costos. Para esta investigación, se tiene la

variable de una gran cantidad de tiempo de *setup*, lo cual hace el proceso menos eficiente y más costoso.

El tercer proyecto desarrollado corresponde a Ovalle (2021), este se denomina: *Propuesta de mejora para la reducción de scrap en la producción de sacos de polipropileno mediante la aplicación del modelo DMAIC* y se elabora para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. Al respecto, se identifica que el principal problema de la organización recae sobre el alto porcentaje de *scrap* generado durante la producción de sacos de polipropileno, lo que supera el límite permitido del 18 %.

Así, en la etapa de análisis se determina que las causas potenciales para la generación de *scrap* en el proceso se relacionan con la temperatura de fundición de la resina y la velocidad del tornillo de la extrusora durante la mezcla de material. Por otra parte, para el proceso de telares, la causa potencial es el desconocimiento del operador sobre el proceso. Luego de aplicar mejoras en estas áreas y mediante el empleo de herramientas ingenieriles, se obtiene una reducción del 4.31 % del *scrap*.

La similitud que presenta este trabajo con MCR Medical es la mejora en el tiempo y flujo del *setup* para obtener una mayor eficiencia productiva.

De acuerdo con Álvarez (2013), en su proyecto: *Control de calidad como una herramienta administrativa para el mejoramiento de los procesos en la fabricación de carrocerías de madera, en la ciudad de Quetzaltenango*, realizado para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, se plantea el problema relacionado con no tener un control de calidad en la fabricación de carrocerías de madera, por lo tanto, se desconoce cuáles pueden ser los beneficios de esta herramienta y su aplicación para mejorar los procesos de fabricación de las carrocerías.

Al finalizar, se concluye que es de suma importancia tener un control de calidad, pues este asegura el cumplimiento de las especificaciones requeridas por los clientes.

Por último, se encuentra la tesis de Champa (2017), quien propone: *Aplicación de estudio del trabajo para mejorar la productividad en el área de producción de pintura en la empresa Resinas Sintéticas y Derivados S. A., San Martín de Porres, 2017*, para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad César Vallejo en

Perú. En esta se busca mejorar la productividad para mejorar las actividades externas del proceso, las cuales no agregan valor en el mismo, lo que afecta directamente la productividad y demuestra la eficiencia del proceso.

1.5 PROYECCIONES

1.5.1 Alcances

La investigación se lleva a cabo en MCR Medical, ubicada en Free Zone Coyoil de Alajuela, en el área de manufactura del producto Catalyft, productos fabricados en tornos CNC.

Con la implementación de la propuesta de investigación, se mejoran los indicadores del área, la productividad, la eficiencia de la línea de producción y la disponibilidad de las máquinas.

Asimismo, para este trabajo de investigación, en cuanto a lo correspondiente a procedimientos y requerimientos de la organización, son confidenciales por lo que se utilizan valores aproximados. Además, el nombre de la empresa no puede mencionarse.

1.5.2 Limitaciones

No se encontraron limitaciones al momento de realizar la presente investigación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

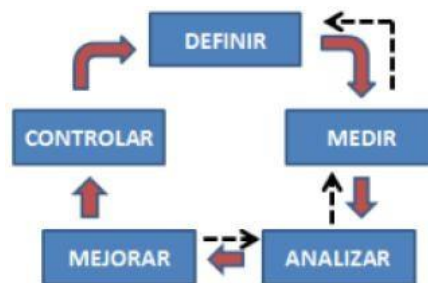
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles tomados en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

2.1.1 DMAIC

DMAIC es el proceso de mejora utilizado por la metodología Seis Sigma y es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado (McCarty, Bremer, Daniels y Gupta, 2004). Además, Ocampo y Pavón (2012) señalan que consiste en cinco fases conectadas de manera lógica entre sí (definir, medir, analizar, mejorar, controlar). Cada una de estas fases utiliza diferentes herramientas para dar respuesta a ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora.

Figura 2.1: Ejemplo de un diagrama de flujo



Fuente: Ocampo y Pavón, 2012.

A continuación, se describe cada fase:

Definir: Se sientan las bases para su éxito, por ello, al finalizar esta fase se debe tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en el proyecto (Gutiérrez, 2010).

Medir: Es necesario identificar cuáles son los requisitos y/o características en el proceso o producto que el cliente percibe como clave (variables de desempeño), y qué parámetros (variables de entrada) afectan este desempeño (Ocampo y Pavón, 2012).

Analizar: La meta de esta fase es identificar la(s) causa(s) raíz del problema (determinar las X vitales), entender cómo estas generan el problema y confirmar las causas con datos (Gutiérrez, 2010).

Mejorar: Una vez establecido que el problema es real y no un evento aleatorio, se deben identificar posibles soluciones. En esta etapa se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso (Ocampo y Pavón, 2012).

Controlar: En esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (controlar las X vitales) y se cierra el proyecto (Gutiérrez, 2010).

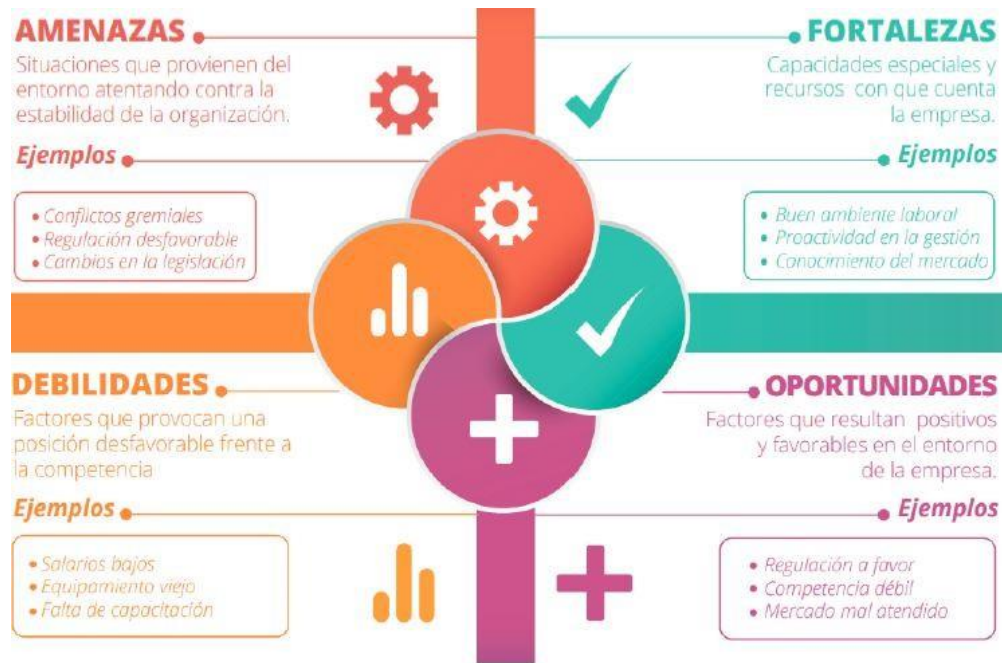
Con esta herramienta se pretende llevar un orden más claro, con el fin de exponer el problema actual, medir su impacto, buscar su causa raíz y dar una alternativa razonable de solución.

2.1.2 FODA

De acuerdo con Telescopio (2019), el FODA es un ejercicio introspectivo de diagnóstico empresarial, en donde se lleva a cabo la identificación mediante un análisis previo, con la mayor objetividad posible, de las características propias de la organización o persona que la hacen fuerte ante los competidores y la distinguen de la competencia.

En concreto, a mayores fortalezas de una organización (F), existen mayores oportunidades (O) para efectuar exitosamente sus fines; mientras a mayores puntos vulnerables o debilidades (D) de una organización, mayores son los peligros y amenazas (A) que obstaculizan o impiden la realización de la visión y la misión (Gutiérrez, 2010).

Figura 2.2: Ejemplo de FODA



Fuente: Telescopio, 2019.

Por su parte, Gutiérrez (2010) indica que el FODA pretende ver asuntos estratégicos considerados cruciales para ejecutar la visión, ya sean debilidades internas y/o amenazas externas que deben atenderse en forma prioritaria, o fortalezas internas y oportunidades externas que se deben preservar y potenciar para alcanzar la visión.

Esta herramienta es de gran importancia para el presente trabajo de investigación al posibilitar conocer las oportunidades de mejora del proceso y las fortalezas, también entender cómo utilizarlas para la mejora continua.

2.1.3 Análisis de las partes interesadas

No todas las partes interesadas en un proyecto merecen la misma atención. Una evaluación detallada de las partes interesadas determina con quién debe relacionarse el proyecto y en qué medida (Grégorie, 2023).

Esta evaluación abarca factores internos y externos; además, se realiza en la parte inicial de un proyecto. De esta manera, se definen las partes con mayor poder e influencia en la toma de decisiones en la compañía; adicional, a quién nada más se debe notificar acerca de las situaciones que suceden para sentirse parte del proceso,

aunque no tengan voz en las tomas de decisiones de la compañía; las partes que se deben monitorear y las que se deben gestionar atentamente. Así, se brinda la atención requerida sin involucrar partes que no corresponden.

2.1.4 Árbol de CTQ

CTQ (por sus siglas en inglés *Critical to Quality*) se conoce como el “crítico para la calidad” y se refiere a los indicadores de calidad que permiten medir y determinar la calidad de un producto o servicio de una forma cuantitativa (métrica) y cualitativa (descripción). Estos indicadores nacen de los requerimientos del cliente.

2.1.5. Eficiencia general del equipo (OEE)

OEE es una métrica utilizada en las empresas para medir la eficiencia de los equipos. Este parámetro es influenciado por tres áreas que al multiplicar sus resultados arrojan el valor de eficiencia; a saber, calidad, disponibilidad y rendimiento. El resultado puede ser afectado por problemas de mantenimiento, detención de los equipos por falta de demanda, mantenimiento preventivo o fallos que imposibiliten la utilización de los equipos.

Según Greeff y Ghoshal (2004), la fórmula para realizar el cálculo de OEE es la siguiente, también se definen las fórmulas para calcular las variables que la conforman, estas se adjuntan seguidamente:

$$\text{OEE} = \text{Calidad} \times \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento}$$

Disponibilidad: “La disponibilidad se define como la relación entre el tiempo de ejecución y la producción planificada” (Howell y Alshakhshir, 2017), donde la producción planificada es el tiempo que se espera que el equipo se encuentre trabajando y el tiempo de ejecución el tiempo en el que el equipo realmente trabajó, quitando así los posibles paros.

La pérdida de tiempo en ejecución de la máquina es conocida como la inactividad ocasionada por problemas, y esto puede ser generado por la falta de mantenimiento preventivo.

Rendimiento: “Es el porcentaje de tiempo de rendimiento real que el equipo, el proceso, la mano de obra o la producción de la línea ejecuta durante la operación en comparación con el rendimiento diseñado de la operación” (Munro, Ramu y Zrymiak, 2015). La fórmula empleada para el cálculo de este factor es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = (\text{Total de piezas/tiempo de funcionamiento})/\text{velocidad de ejecución ideal}$$

Con respecto al rendimiento, lo ideal es limitarlo al 100 % con el fin de “garantizar que si se produce un error el efecto sobre el OEE será limitado” (Yam, 2009).

Calidad: Por último, el factor nombrado “calidad” se mide por medio del *scrap* que se presente en el proceso, o sea, es la relación del producto conforme contra el producto que no posee defectos y no tiene que desecharse. Con mayor especificación, la calidad se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Calidad} = \text{Número de piezas buenas/número total de piezas}$$

Como se expuso, el OEE puede ser afectado por diferentes factores y es normal que las empresas intenten aumentar su valor o resultado hasta llegar al 85 % e incluso, si es posible, a un valor mayor. Un modo de mejorar el valor del OEE es, según Kubiak y Benbow (2017), realizar un análisis de causa raíz en las razones del tiempo de inactividad en el factor de disponibilidad, el tiempo de ciclo reducido en el desempeño, el factor de equilibrio y el nivel de defectos en caso del factor de calidad.

Figura 2.3: OEE de clase mundial

OEE	Calificativo	Consecuencias
<65%	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad
≥65% <75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora
≥75% <85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
≥85% <95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados 'World Class'
≥95%	Excelente	Competitividad excelente

Fuente: Hernández, 2015.

2.1.6 Gráfico de barras y de líneas

En primer lugar, los gráficos de líneas muestran una serie como un conjunto de puntos conectados mediante una sola línea. Además, se usan para representar grandes cantidades de datos que tienen lugar durante un período continuado de tiempo.

Por su parte, un gráfico de barras presenta las series como conjuntos de barras horizontales. El gráfico de barras sencillo está estrechamente relacionado con el gráfico de columnas, este muestra las series como conjuntos de barras verticales, y con el gráfico de intervalos de barras, el cual indica las series como conjuntos de barras horizontales con puntos iniciales y finales que varían.

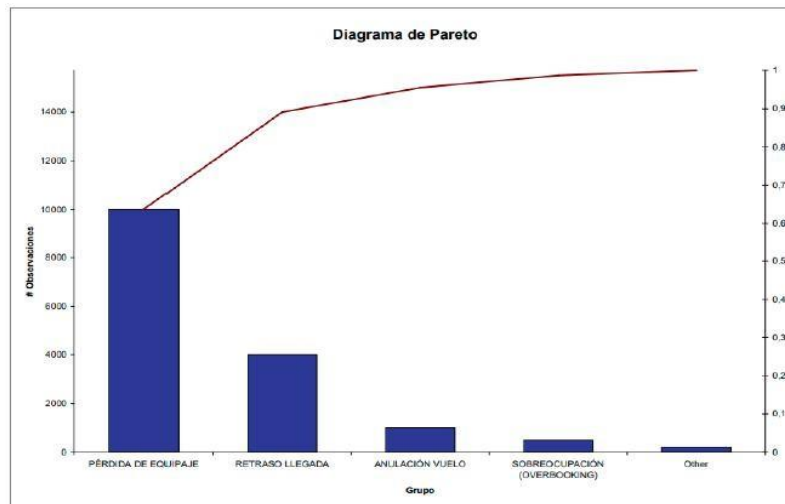
Asimismo, el gráfico de barras es el único tipo de gráfico que muestra los datos horizontalmente. Por esta razón, se usa con frecuencia para representar datos producidos a lo largo del tiempo, con una fecha de inicio y otra de finalización. De igual modo, se suele usar para exponer información de categorías, ya que las categorías se pueden mostrar horizontalmente.

2.1.7 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos y su objetivo es ayudar a localizar el problema o

problemas vitales, así como sus causas más importantes (Gutiérrez, 2010). Se enuncia diciendo que el 80 % de los problemas están producidos por un 20 % de las causas (Ruiz y Rojas, 2009).

Figura 2.4: Ejemplo de un diagrama de Pareto



Fuente: Ruiz y Rojas, 2009.

Según Rose (2008), los pasos para crear un diagrama de Pareto son:

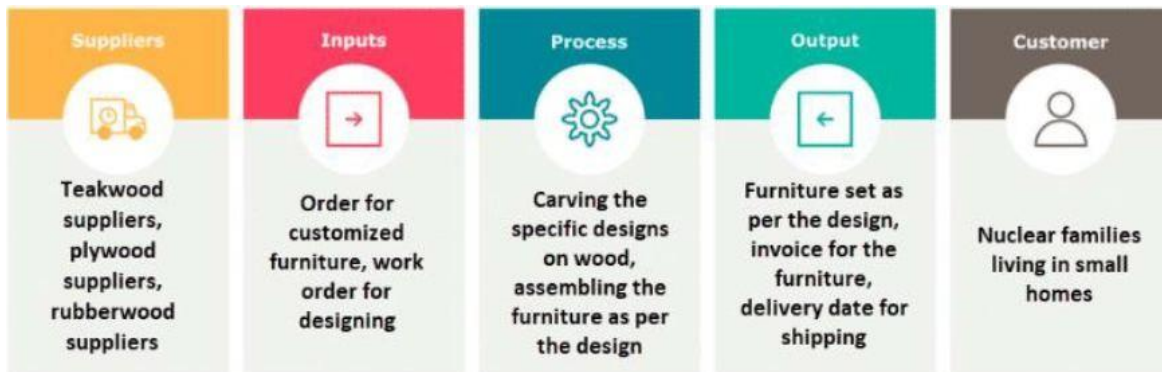
- Primero, preparar una gráfica de Pareto es crear un gráfico de barras con los datos del defecto o error, ordenados de forma descendente. La escala de la izquierda (el eje Y de la gráfica) debe contener el número total de defectos.
- El siguiente paso es añadir una escala de porcentaje acumulativo en la parte derecha de la gráfica. Esta es una segunda escala en el eje Y paralela a la escala en la parte izquierda. La curva de porcentaje acumulado es un gráfico de líneas que se extiende por encima de los datos de las barras. La curva se traza como una serie de puntos conectados obtenidos de la suma sucesiva de los valores de los datos de izquierda a derecha y se dividen por el total.

Esta herramienta es una de las más relevantes para el actual proyecto de investigación, pues ayuda a visualizar de forma gráfica cuál es el 20 % que genera el 80 % de los tiempos muertos analizados, para sobre estas causas proponer alternativas de solución.

2.1.8 SIPOC

El objetivo del SIPOC es analizar el proceso y su entorno; para ello, se identifica a sus proveedores (P), las entradas (E), el proceso mismo (P), las salidas (S) y los usuarios (U) (Gutiérrez, 2010).

Figura 2.5: Ejemplo de una matriz SIPOC



Fuente: UNICHRONE, 2021.

Según Ruiz y Rojas (2009), los pasos para realizar esta herramienta son:

- Dividir el proceso en fases relevantes, por ejemplo, “torneado”, “fresado” y “anodizado”, que se indican en la columna “proceso”.
- Establecer los materiales o servicios externos que se reciben en cada fase. Se mencionan en la columna “entradas”.
- Determinar quiénes son los proveedores de los materiales o servicios externos recibidos en cada fase. Se indican en la columna “proveedores”.
- Establecer qué se entrega al final de cada fase. Se detalla en la columna “salidas”.
- Determinar quién recibe la salida de cada fase. Se menciona en la columna “clientes”.

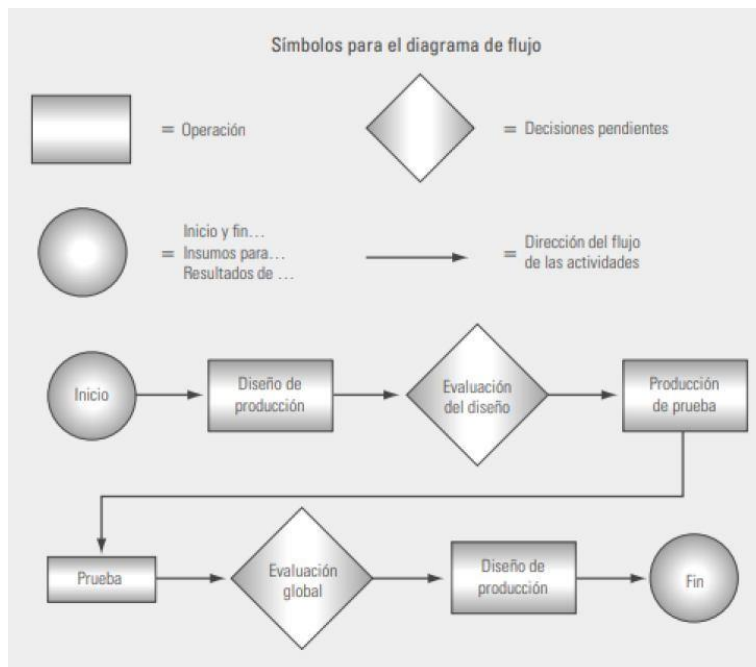
En cuanto al presente trabajo, esta herramienta permite conocer cómo se relacionan todas las entradas y salidas del proceso, además de mostrar los suplidores y clientes, con esto se pretende brindar un mayor entendimiento del proceso en general, de tal forma que sea de gran utilidad en la etapa de definir el problema.

2.1.9 Diagrama de flujo

Respecto a esta herramienta, Gutiérrez (2010) explica:

El diagrama de flujo de procesos es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, incluidos transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades reproceso. A través de este diagrama se ve en qué consiste el proceso y cómo se relacionan las diferentes actividades; es de especial utilidad para analizar y mejorar el proceso. Ahí también se indican los símbolos más usados para su construcción: con un rectángulo se identifica un paso o tarea del proceso, mientras que con un rombo se identifican los puntos de verificación o de decisión (la respuesta a la pregunta determina el camino que debe tomarse).

Figura 2.6: Ejemplo de un diagrama de flujo



Fuente: Gutiérrez, 2010.

Existen muchas técnicas para elaborar diagramas de flujo. Se recomienda utilizar los diagramas más simples posibles y con una paleta de símbolos reducida, lo cual facilita su interpretación (Ruiz y Rojas, 2009).

Así, al conocer visualmente los pasos del proceso, se entiende con claridad dónde se tiene el problema actual para luego definirlo con mayor detalle y buscar su posible causa raíz.

2.1.10 Estatuto del proyecto (project charter)

El *project charter* es un documento que formaliza la existencia de un proyecto y empodera al director del mismo para usar los recursos de la compañía en beneficio de su ejecución (Molina, 2021). Asimismo, en este se resume de qué trata el proyecto, los involucrados, los beneficios esperados, las métricas, etcétera (De La Vara y Gutiérrez, 2009).

Figura 2.7: Ejemplo de project charter

PROJECT CHARTER TEMPLATE			
Name	Development team management software for XYZ company		
Date	July 2, 2020	Project Sponsor:	Sansa Stark
Last revised	July 2, 2020	Project Manager:	Jon Snow
Project Purpose			
A handy, easy-to-use app that'll help organizations manage their teams efficiently <ul style="list-style-type: none"> • Increase development speed by 10 percent over a year • Help team members collaborate easily • Improve transparency in teams 			
Scope			
Deliverables 1) Web-version 2) Android, iOS, and desktop apps	Out of scope: 1) Video conferencing features in the mobile versions 2) On-site training for users		

Fuente: Course Hero, 2020.

El documento se redacta antes de llevar a cabo una planificación real de un proyecto, este no debe ser excesivamente detallado, es decir, se incluye solo la información necesaria para describir el proyecto y el producto (Molina, 2021).

Mediante esta herramienta, se plantea el problema de forma sencilla con los puntos importantes y quién lo lleva a cabo.

2.1.11 SMED: cambios rápidos

Los orígenes de esta metodología se remontan a los primeros años del sistema de fabricación Lean (Restrepo, Medina y Cruz, 2009), desarrollado por Shiego Shingo.

SMED significa *Single Minute Exchange of Dies* (Arrieta, 2007) y tiene como objetivo lograr los tiempos de configuración o cambio en menos de diez minutos, o sea, una cantidad de minutos expresados por un solo dígito (Carrizo y Campos, 2011).

Aunque la metodología busca reducir los tiempos de *setup*, en realidad ayuda al sistema productivo a generar lo que realmente solicita el mercado (Restrepo et al., 2009), de este modo se es eficiente y eficaz en el proceso productivo, aprovechando al máximo los recursos de la empresa.

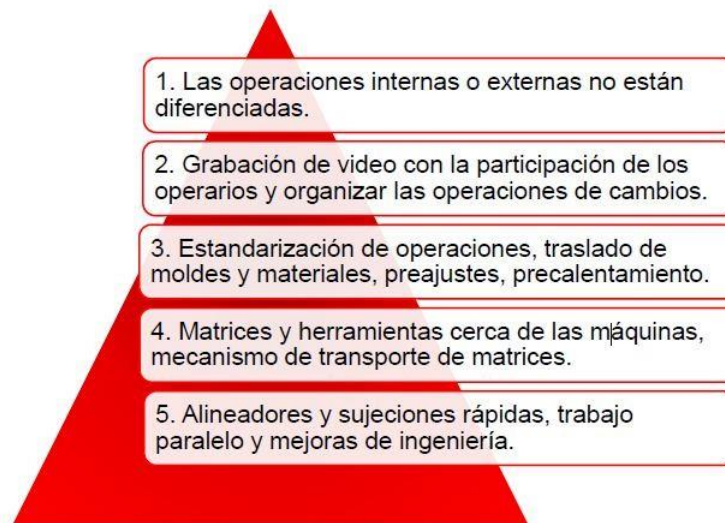
El SMED se implementa en las industrias para reducir el tiempo de preparación y convertirlo en productivo, así como el tamaño del inventario y el de los lotes de producción y para producir varios modelos o productos el mismo día en la misma máquina o línea de producción sin ningún problema.

La técnica se divide en cuatro etapas:

- Fase preliminar: Descripción clara de las operaciones del cambio de referencia.
- Primera etapa: Separación de las operaciones internas y externas.
- Segunda etapa: Conversión de las operaciones internas en externas.
- Tercera etapa: Mejoramiento de los elementos internos y externos (Arrieta, 2007).

Algunos pasos para implementar esta herramienta son los siguientes:

Figura 2.8: Guía para la aplicación de SMED con el fin de reducir tiempos



Fuente: Restrepo et al., 2009.

2.1.12 Estudio de tiempos del proceso

El estudio de tiempos se desarrolla con el objetivo principal de establecer los estándares de tiempo del proceso al cual se le aplica, pues aunque una persona conozca mucho el proceso no puede determinar un estándar que encaje correctamente con el real por medio de la simple observación. Los estándares de tiempo precisos hacen posible aumentar la eficiencia del equipo y el personal operativo.

Antes de iniciar con el estudio de tiempos en el proceso, “se utilizan conceptos estadísticos de probabilidad de la población para determinar el número y el tamaño de las unidades de muestras requeridas del lote y para proporcionar conclusiones extraídas” (Matthews, Kniel, y Montville, 2017), de esta forma se puede planear el proceso por seguir para tomar la cantidad de muestras obtenidas.

Otro requerimiento indispensable para el analista es estar seguro, antes de iniciar el estudio, de que los operarios están completamente entrenados y capacitados, con la finalidad de no afectar los resultados de los tiempos recolectados. Por otro lado, el supervisor del proceso debe verificar que el operario realice el método adecuado y esté informado acerca del proceso de muestreo de los tiempos en que se lleva a cabo la actividad.

Según Niebel y Freivalds (2009), al efectuar el estudio el encargado va a necesitar como mínimo “un cronómetro, un tablero de estudio de tiempos, las formas para el

estudio y una calculadora de bolsillo. Un equipo de videograbación también puede ser muy útil". En cuanto a esto último, las cámaras de video se utilizan muchas veces en procesos donde el encargado no puede estar presente, por lo cual se graba el video para verlo luego o, incluso, en procesos donde sí se encuentra, pero que son muy complejos.

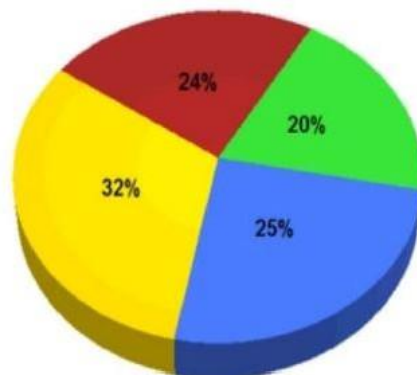
Por último, durante la realización de un estudio de tiempos, es vital que el analista les brinde confianza a los operarios y, si es posible, desarrolle un acercamiento con los mismos que le permita obtener un estudio con resultados exitosos y fieles a la realidad del proceso.

2.1.13 Gráfico de pastel

Un gráfico o gráfica circular, también llamado "gráfico de pastel", "gráfico de tarta", "gráfico de torta" o "gráfica de 360 grados", es un recurso estadístico utilizado para representar porcentajes y proporciones.

El número de elementos comparados dentro de una gráfica circular suele ser más de cuatro y se utiliza en aquellos casos donde interesa no solo mostrar el número de veces que se da una característica o atributo de manera tabular, sino más bien de forma gráfica, de tal modo que se pueda visualizar mejor la proporción en que aparece esa característica respecto del total.

Figura 2.9: Ejemplo de un gráfico de pastel



Fuente: Autor, 2024.

2.1.14 Lluvia de Ideas

La lluvia de ideas es una metodología para identificar posibles soluciones a los problemas y oportunidades potenciales para el mejoramiento de la calidad, partiendo de que el activo más valioso de cualquier organización es el personal y su capacidad de concebir ideas (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas [UNIT], 2009).

Figura 2.10: Ejemplo de una lluvia de ideas



Fuente: Agencia Kapei, s.f.

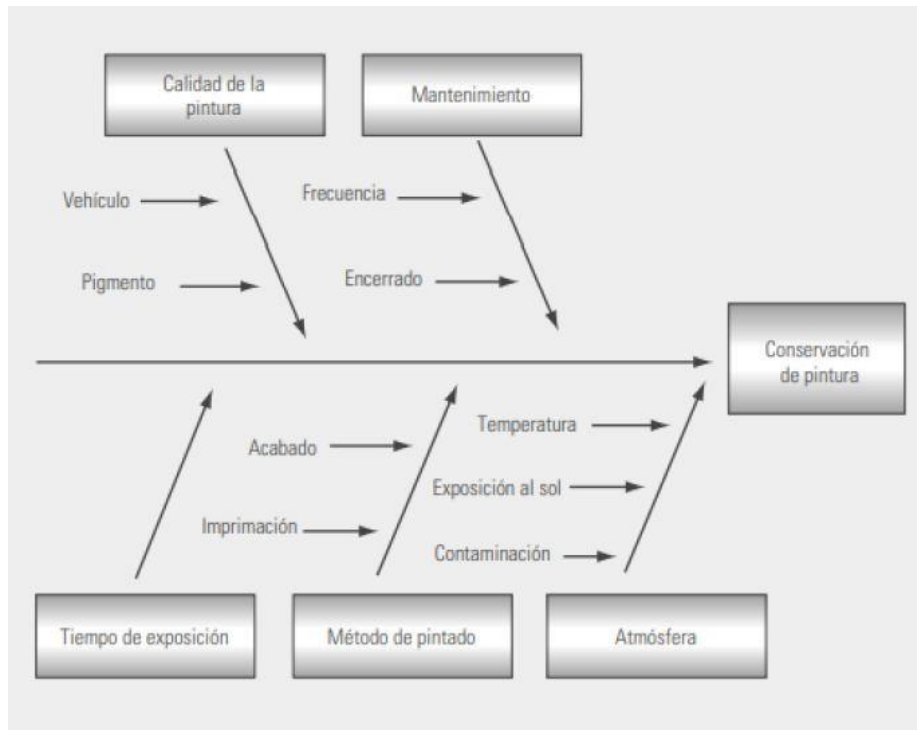
Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo, permite la reflexión y el diálogo con respecto de un problema y en términos de igualdad (De La Vara y Gutiérrez, 2009).

Esta herramienta es de gran utilidad para el trabajo en equipo porque posibilita la reflexión y el diálogo acerca de un tema, sobre una base de igualdad; además, para el presente trabajo es de gran relevancia al tener un equipo interdisciplinario, el cual cuenta con el criterio experto del proceso para brindar posibles ideas sobre el causante del desgaste de la herramienta.

2.1.15 Diagrama de Ishikawa

Este es el diagrama más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6M): métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente (Gutiérrez, 2010).

Figura 2.11: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa



Fuente: Gutiérrez, 2010.

El diagrama de Ishikawa permite apreciar, fácilmente y en perspectiva, todos los factores que pueden controlarse al usar distintas metodologías. A la vez, posibilita ilustrar las causas que afectan una situación dada, al clasificar e interrelacionar las mismas (UNIT, 2009).

Al clasificar las ideas planteadas en la lluvia de ideas, se organiza la información relacionada con el problema y se determinan las posibles causas raíz con su respectiva clasificación.

2.1.16 Multivotación

Esta herramienta permite libertad para priorizar temas, sin existir dominancia de miembros del grupo de trabajo que sean fuertes sobre quienes lo son menos. Al llevar a cabo este proceso, se evidencia si existe consenso y, si no es así, hace posible discutir abiertamente desacuerdos sobre un punto específico para llegar a soluciones (Prácticas Farmacéuticas, 2014).

Figura 2.12: Ejemplo de una matriz de multivotación

MATRIZ DE MULTIVOTACIÓN					
Tema: DEMANDA IRREGULAR EN EL PRIMER SEMESTRE DEL AÑO EN UNA FRANQUICIA					
Propósito: Elegir las mejores ideas que puedan justificar la demanda irregular					
Item	Problemas	VOTACION			
		1ra.	2da.	Prom.	Orden
1	Precios altos no competitivos de nuestros productos	4	1	2.5	
2	Disminucion de la clientela en los meses de enero y febrero	5	3	4	3ro
3	Costos elevados de la materia prima	0	3	1.5	
4	Cambios periodicos de personal	1	2	1.5	
5	Falta de planificacion en las ventas	2	2	2	
6	Falta de consolidación de la empresa	3	1	2	
7	Falta de aplicacion de los estandares de calidad en los productos	3	2	2.5	
8	Desconocimiento de la marca en el mercado local	5	4	4.5	1ro
9	Falta de publicidad	4	5	4.5	2do
10	Rigidez en los estatutos municipales	1	1	1	
11	Mala atencion al cliente	2	1	1.5	
12	Nuevas marcas en el mercado	3	4	3.5	4to
13	Horarios de atencion insuficientes	3	3	3	
14	Nuevas leyes	1	3	2	
15	Cambio de proveedores	1	2	1.5	
16	Falta un local propio	1	0	0.5	
17	Variacion de precios	2	4	3	
18	Pocas formas de pago del cliente	3	4	3.5	5to
19	Falta de motivacion del personal	3	1	2	
20	Falta de rotacion de la carta.	3	4	3.5	6to
21	Deficiencia en los canales de atencion	2	1	1.5	
22	Falta de capacitacion	2	2	2	
23	Personal insuficiente	2	2	2	
24	Local pequeño	2	2	2	
25	Falta de promociones de los productos	3	3	3	
26	Ubicacion del local	3	2	2.5	
27	Falta de trabajo en equipo	4	3	3.5	7to
28	Segmentacion del mercado	2	2	2	

Fuente: Ingeniería de Producción, 2013.

Según Rose (2008), los pasos para una matriz de multivotación son los siguientes:

1. Genere ideas. Los miembros del equipo, silenciosa e individualmente, escriben sus ideas en un pedazo de papel. No hay límite en el número ni ninguna restricción en la naturaleza de las ideas.
2. Recoja y compile las ideas. Cada miembro del equipo revela una idea a la vez, yendo en rondas hasta que todas las ideas hayan sido reveladas.
3. Revise y analice las ideas. Remueva cualquier duplicado obvio, siendo muy cuidadoso para no eliminar ideas que sean similares; pero ligeramente diferentes. Describa brevemente cada idea para asegurarse de que todo el mundo comprenda.
4. Vote las ideas. Cada miembro del equipo, individual y anónimamente, escoge y prioriza un pequeño número de ideas del total de la lista. En la práctica, el número seleccionado varía.

5. Compile los resultados. El líder del equipo recoge las fichas, las baraja para no revelar la identidad del que la escribió, e introduce los valores de prioridad de las fichas en la lista general.

Así, la matriz de multivotación es una herramienta que ayuda a dar un número prioritario a las causas raíz elegidas por un grupo de expertos sobre el proceso actual. Esta herramienta es de gran valor para la presente investigación en cuanto permite llegar a la importancia de las diferentes ideas planteadas en el causa-efecto y, de esta manera, enfocarse en las que realmente tienen un gran peso sobre el problema actual.

2.1.17 Poka Yoke

De acuerdo con López, Sánchez y García (s.f.), esta es una técnica de calidad que se traduce "a prueba de errores", también se le suele llamar "antierrones". La idea principal es crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. Su finalidad es eliminar los defectos en un producto, ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible. "Es debido a que el Sistema Poka Yoke tiene la verdadera capacidad para reducir y eventualmente, eliminar defectos, por lo que me gustaría verlo adoptado en tantas compañías como sea posible" (Shingo, como se citó en López et al., s.f., p. 2).

2.1.18 Diagrama de Gantt

Este diagrama es una herramienta útil para planificar proyectos, ya que proporciona una vista general de las tareas programadas, por consiguiente, todas las partes implicadas saben qué tareas deben completarse y en qué fecha (Teamleader, 2021).

Figura 2.13: Ejemplo de un diagrama de Gantt



Fuente: Teamleader, 2021.

Según Teamleader (2021), un diagrama de Gantt muestra:

- La fecha de inicio y finalización de un proyecto.
- Qué tareas hay dentro del proyecto.
- Quién está trabajando en cada tarea.
- La fecha programada de inicio y finalización de las tareas.
- Una estimación de cuánto lleva cada tarea.
- Cómo se superponen las tareas y/o si hay una relación entre estas.

El diagrama de Gantt brinda un mayor entendimiento de las acciones por llevar a cabo para ejecutar la propuesta; se ve de una forma visual y gráfica, por lo tanto, su interpretación no es compleja. Adicional, con este se pretende seguir un orden lógico de las distintas acciones.

2.1.19 Caminata *gemba*

Para la identificación de problemas o conocer procesos de producción, es indispensable hacer recorridos o caminatas. De manera más específica, una caminata *gemba* es un método para involucrar al personal en su entorno. En su forma más simple, una caminata *gemba* es como un recorrido por la planta, pero con un propósito de aprendizaje concreto y una frecuencia constante para estar al tanto de lo que sucede.

Es ideal que una caminata *gemba* tenga la presencia de uno o más líderes para observar directamente (Petruska, 2012).

Por su parte, un *lean safety gemba walk* es un recorrido por el área de trabajo centrado en la mejora continua de la seguridad (Hafey, 2017). De este modo, se consideran las necesidades de la planta y se actúa con mejoras que aseguren la producción, con el objetivo de evitar paros no programados que generen pérdidas a la empresa.

2.1.20 Análisis de costo beneficio

El análisis de costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación existente entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión, tal como la creación de una nueva empresa o el lanzamiento de un nuevo producto, con el fin de conocer su rentabilidad.

El aspecto que mide principalmente el análisis de costo-beneficio es la relación costo beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, lo cual es un cociente que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

Conocer la relación costo-beneficio de un proyecto de inversión permite saber su rentabilidad y, así, por ejemplo, si el proyecto es viable y qué tan atractivo es en comparación con otros proyectos.

La fórmula de la relación costo-beneficio es:

$$B/C = VAI / VAC$$

En donde:

B/C: relación costo-beneficio.

VAI: valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos.

VAC: valor actual de los costos de inversión o costos totales.

Según el análisis de costo-beneficio, un proyecto de inversión es rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad (pues los beneficios van a ser mayores que los costos de inversión), y no es rentable cuando la relación costo-beneficio es

igual o menor que la unidad (porque los beneficios van a ser iguales o menores que los costos de inversión): si B/C es mayor que 1, el proyecto es rentable; pero si B/C es igual o menor que 1, el proyecto no es rentable (Crece Negocios, 2023).

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se exponen los detalles más importantes de la empresa MCR Medical, donde se realiza el estudio.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente.

Visión

“Ser la empresa más confiable para ofrecer excelencia en productos, procesos, servicios y relaciones” (MCR Medical, 2024).

Misión

“Contribuir al bienestar humano mediante la aplicación de ingeniería biomédica en la investigación, diseño, fabricación, y venta de instrumentos o aparatos que alivian el dolor, restauran la salud y extienden la vida” (MCR Medical, 2024).

2.2.2 Antecedentes históricos

En 1949 John Bakken, un curioso inventor que estaba fascinado con la electricidad a una edad temprana, y su cuñado Mike Hermundslie, un hombre emprendedor y con muy buen ojo para las oportunidades de negocio, fundan MCR Medical como una tienda de reparación de equipos médicos.

En ese momento no se proponen cambiar la tecnología médica y la vida de millones de personas, pero tienen unos fuertes valores y una gran vocación por ayudar a los demás utilizando su conocimiento científico y sus habilidades empresariales. Ese espíritu, combinado con su integridad y su pasión, se convierte en la filosofía que guía la misión de MCR Medical.

La primera terapia que cambia una vida es un marcapasos con batería portátil, esta es la base de muchas más terapias de MCR Medical donde se utiliza la experiencia en

estimulación eléctrica para mejorar la vida de millones de personas. A lo largo de los años, se desarrollan otras tecnologías fundamentales que incluyen dispositivos médicos implantables, bombas de infusión e instrumental eléctrico avanzado para cirugía. Hoy se cuenta con tecnologías para tratar cerca de 40 patologías diferentes.

2.2.3 Ubicación geográfica

La ubicación de la empresa es en la Zona Franca en El Coyo de Alajuela.

Figura 2.14: Mapa satelital de MCR Medical

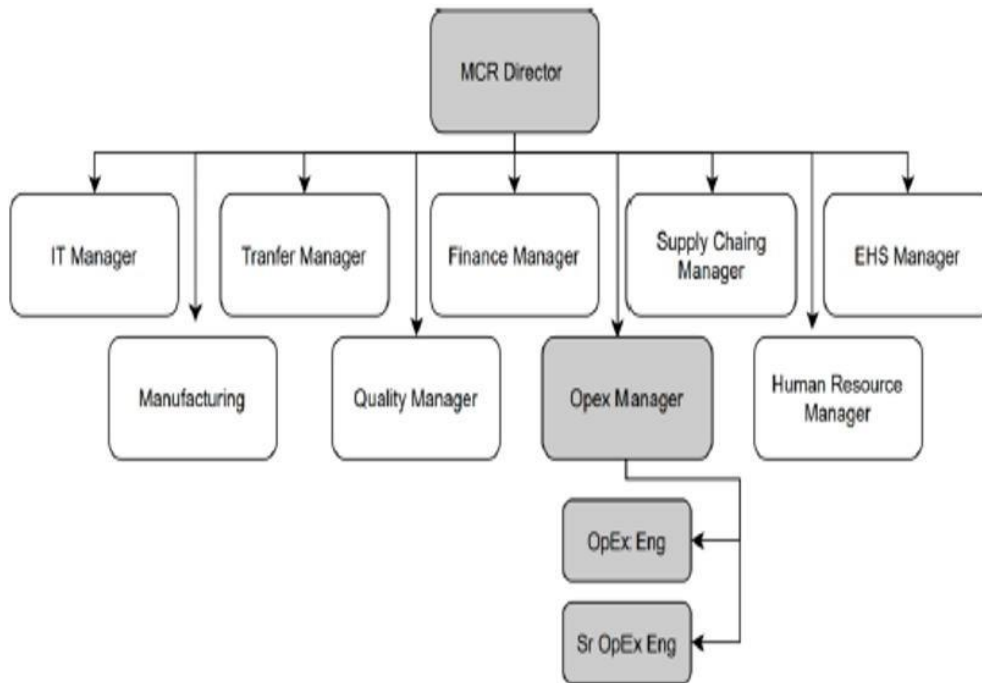


Fuente: Google Maps, 2024.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.15: Organigrama de MCR Medical



Fuente: RR.HH. de MCR Medical Costa Rica, 2024.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área es la siguiente:

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o Área	Cantidad
Director	1
Gerentes de área	8
Ingenieros Sr.	30
Ingenieros Jr.	25
Mecánicos de Precisión	250
Técnicos de mantenimiento	20
Técnicos de ingeniería	15
Técnicos de Calidad	40
Operarios	225
Total	452

Fuente: RR.HH. MCR de Medical Costa Rica, 2024.

Como se muestra en la tabla anterior, la empresa cuenta actualmente con un total de 452 empleados entre todas sus distintas áreas. Sin embargo, la entidad se encuentra

en un crecimiento acelerado, por ello la cantidad de colaboradores cambia con frecuencia.

2.2.6 Tipos de productos

En la siguiente figura se detallan los productos manufacturados en esta empresa:

Figura 2.16: Productos de MCR Medical



Fuente: Departamento de Producción de MCR Medical, 2024.

En la actualidad MCR Medical se encuentra en la validación de 300 números de partes; pero sus principales productos se basan en 12 números de partes ya validados.

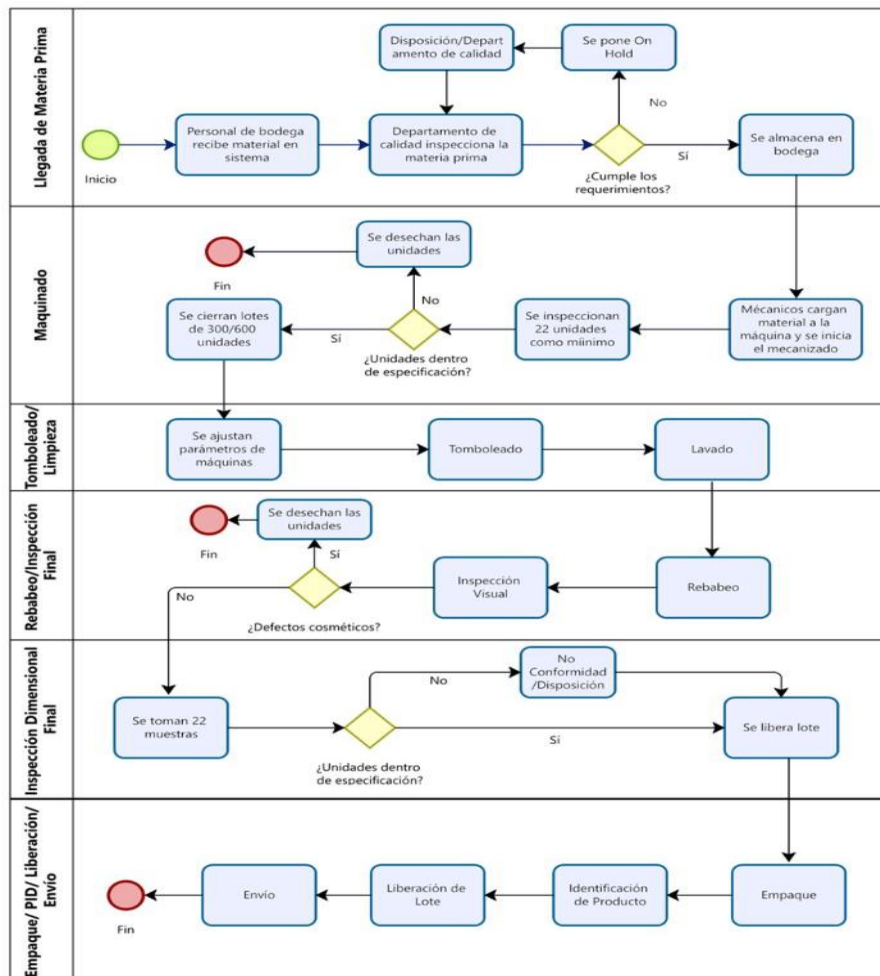
2.2.7 Mercado de exportación

Actualmente los mercados para MCR Medical son a nivel mundial, pero todo producto debe pasar antes por la sede de Humacao en Puerto Rico y Warsaw en Estados Unidos.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

MCR Medical cuenta con varios procesos a lo largo de su ciclo productivo, los cuales representan en el siguiente flujo:

Figura 2.17: Diagrama de flujo del proceso general de MCR Medical



Fuente: Departamento de Producción de MCR Medical, 2024.

En la figura se aprecian las operaciones necesarias desde la llegada de la materia prima hasta el envío del material, con el fin de entender mejor todos los procesos de transformación de la materia prima.

Así, se inicia con la recepción de la materia prima. Acá pasa por un primer filtro de calidad, departamento que debe dar el visto bueno para el ingreso del material a la planta al revisar las especificaciones críticas de cada materia prima.

Luego, esta se lleva a la bodega y ahí el personal de maquinado hace la solicitud de su material correspondiente, según se lo indique su orden de trabajo.

Por consiguiente, el material es maquinado/mecanizado bajo una cantidad de 600 o 300 unidades por lote; esto depende del número de parte que se trabaje. Cuando se termina

un lote, se lleva al área de limpieza y tomboleado, proceso realizado con un material llamado media, el cual se utiliza con el objetivo de hacer el pulido de la pieza específica para cada producto. Seguidamente, se entrega al personal de inspección visual final, quienes eliminan las rebabas y llevan a cabo la respectiva verificación visual de defectos cosméticos.

El siguiente paso es hacer una verificación dimensional final por parte del Departamento de Calidad. Al respecto, se toman 22 muestras, según lo establece el procedimiento, y se realiza la medición de las medidas consideradas como críticas para cada uno de los números de parte.

Por último, el producto se lleva a empaque e identificación de producto, paso en el que se puede detectar si hay mezcla de números de parte y, por lo tanto, se entrega al Departamento de Quality Release, donde la documentación se verifica y se da disposición al material para enviarse.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

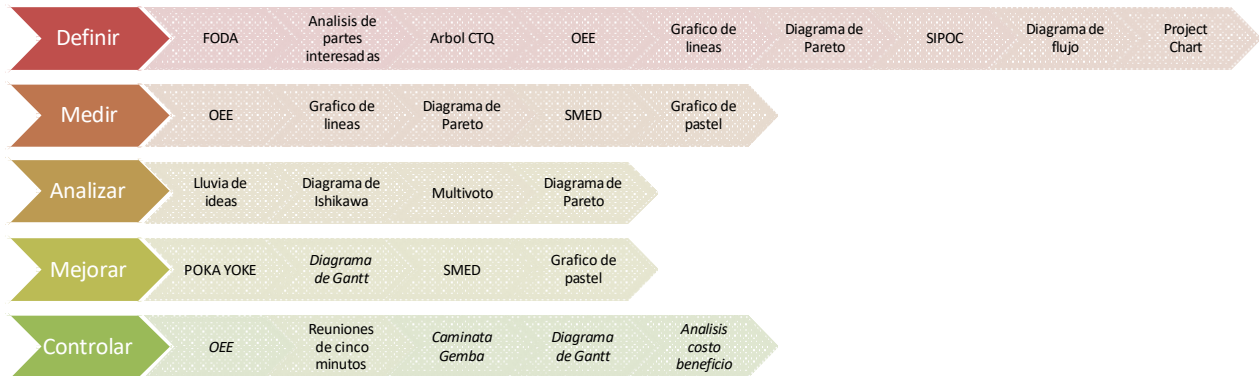
Esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo, con el fundamento de la siguiente definición: “El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no podemos ‘brindar o eludir’ pasos, el orden es riguroso, aunque, desde luego, podemos redefinir alguna fase” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Según lo anterior, por medio de este enfoque se pueden observar, analizar, recolectar y medir de manera precisa y secuencial las causas por las cuales se tarda escaneando equipos, con base en datos variables como la cantidad de desplazamiento, la cantidad de tiempo y los costos relacionados. De este modo, se obtiene como resultado el impacto mediante herramientas ingenieriles y métodos estadísticos.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Enseguida se muestra el esquema asociado con la metodología por utilizar durante el proceso de investigación:

Figura 3.1: Método de la investigación DMAIC



Fuente: Autor, 2024.

A partir de esta metodología se pretende seguir un orden secuencial con el propósito de evaluar cada uno de los puntos del proceso y entender de una mejor manera por qué las máquinas se detienen tanto tiempo afectando la disponibilidad del equipo.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para obtener datos precisos y certeros, la empresa brinda información técnica, datos históricos y costos, los cuales se analizan por medio de las siguientes herramientas: FODA, análisis de partes interesadas, árbol CTQ, OEE, Pareto, SIPOC, diagrama de flujo, *project chart*, SMED, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, multívoto, *poka yoke*, reunión de cinco minutos, caminatas *gemba*, diagrama de Gantt y análisis costo beneficio.

3.3.1 Sujetos de información

Con base en el equipo de trabajo planteado y demás personal considerado necesario durante la ejecución del proyecto, se lleva a cabo la investigación sobre la herramienta en cuestión.

Tabla 3.1: Project charter del proyecto

Situación Actual		Miembros del equipo		Departamento	
<p>En MCR Medical, empresa dedicada a la fabricación de partes mecanizadas para dispositivos médicos en el área espinal para el tratamiento y corrección de escoliosis, se ha identificado una disminución en el indicador de disponibilidad de la máquina; mismos que traen como consecuencia problemas relacionados en la productividad y sus indicadores, la efectividad de la línea de producción y aumento en los costos de la compañía.</p>	<p>Miembros del equipo participantes del proyecto</p>	Gerente de producción	Manufactura		
		Black Belt	Opex		
		Ingeniería de procesos	Manufactura		
		Ingeniería de Calidad	Calidad		
		Supervisor de producción	Manufactura		
Área de interés del proyecto		Manufactura/Producción			
Líder del Proyecto		Alcance			
Kevin Arce Jiménez		<p>La investigación se lleva a cabo en MCR Medical, ubicada en Free Zone del Coyol de Alajuela, en el área de manufactura del producto Catalyft, productos fabricados en tornos CNC. Con la implementación de la propuesta de la investigación se mejoran los indicadores del área, productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas. Para el presente trabajo de investigación, en cuanto a lo que corresponde a procedimientos y requerimientos de la organización, son confidenciales y se utilizan valores aproximados. Además, el nombre de la empresa no puede ser mencionado.</p>			
Descripción del problema					
<p>Durante el tercer cuarto del año fiscal 2024, el equipo de manufactura identifica que se tiene una disponibilidad de máquinas de un 68.5 según el OEE, esto se refleja en una pérdida de \$239 944 anuales, equivalente a 26 784 unidades, lo que sería 73.38 unidades por día, solamente en el área de Catalyft. Debido a la cantidad de máquinas que se encuentran en el área de manufactura ya mencionada (Catalyft) y su eficiencia, se tiene una pérdida de \$59 986 en un periodo de cuatro meses (agosto 2023-noviembre-2023) representando un 25% del total de la demanda comprometida durante este periodo de tiempo.</p>					
Objetivo del proyecto		Justificación			
<p>Evaluar el proceso actual de manufactura del producto Catalyft, de la empresa MCR Medical, mediante la metodología DMAIC y OEE, que proponga mejoras para el aumento en el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10%, y así reducir la pérdida mensual.</p>		<p>El presente estudio se realizará en la empresa MCR Medical, en el área de manufactura, en la línea de producción de máquinas CNC del producto Catalyft, este proyecto de investigación tiene como principal objetivo traer a la organización un aumento en la disponibilidad de las máquinas en el área de Catalyft, haciendo el proceso más eficiente, actualmente el OEE es de 65.4%, disponibilidad 68.5, rendimiento 95.6 y calidad 100. Se tiene como objetivo aumentar al menos un 10%, para mejorar la cantidad de unidades producidas, de esta manera poder completar el plan de producción de una manera más rápida, evitando llegar a tener pedidos pendientes. Con este proyecto atacamos tres indicadores de suma importancia para la empresa y base fundamental del negocio: productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas.</p>			

Fuente: Autor, 2024.

En la tabla 3.1 se observan las generalidades relacionadas con el proyecto, donde se muestra la problemática actual y el objetivo general de la investigación.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

A continuación, se detallan las variables de la investigación y su respectiva definición conceptual, operacional e instrumental:

Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Definir los factores, mediante un análisis de contexto y caracterización del proceso, que provocan la disminución del cumplimiento de las máquinas de Catalyft.	Factores	Recursos que, combinados en un proceso productivo, agregan valor en la elaboración de bienes y servicios.	Identificar el factor o factores actuales que causan la disminución del cumplimiento en el área de Catalyft.	FODA Análisis de partes interesadas Árbol CTQ OEE Gráfico de líneas Pareto SIPOC Diagrama de flujo <i>Project charter</i>
Medir el impacto del incumplimiento, mediante el análisis de los factores del OEE y de la filosofía SMED, que tiene el área actual de Catalyft.	Impacto	Ahorro de recursos y costes que obtiene una empresa a raíz de producir dos o más bienes y servicios de manera conjunta.	Analizar la base de datos de la empresa e información recolectada.	OEE Gráfico de líneas Diagrama de Pareto SMED Gráfico de pastel
Analizar las diferentes causas que provocan el impacto del incumplimiento, mediante las herramientas de análisis de causa raíz, para determinar las más críticas.	Causas	Fundamento, motivo, origen y principio de algo.	Identificar la(s) causa(s) mediante el análisis con el equipo experto del proceso.	Lluvia de ideas Diagrama de Ishikawa Multivoto Diagrama de Pareto
Proponer mejoras y controles que aumenten el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 %.	Alternativas	Opción existente entre dos o más cosas.	Realizar propuestas para reducir el tiempo y aumentar la disponibilidad de la máquina.	OEE Reuniones de 5 minutos Caminata <i>Gemba</i> Diagrama de Gantt Análisis costo beneficio

Fuente: Autor, 2024.

3.5 INSTRUMENTOS

Para lograr los objetivos específicos, se emplean las siguientes técnicas y herramientas: revisión de registros históricos, técnicas grupales (reunión), toma de tiempos, observación directa del proceso y recorridos. Todos estos instrumentos se utilizan en la recolección de datos para que el proyecto pueda ser sostenible en el tiempo.

3.5.1 Revisión de registros históricos

Se considera toda la información que la empresa tiene disponible y aporte valor a la investigación, como la situación actual del proceso. De esta manera, se guía la investigación al analizar la problemática histórica del producto.

3.5.2 Técnicas grupales (reuniones)

Se espera obtener información sobre los problemas del área por investigar mediante la participación de los expertos del producto y área; además, al reunirse con los mecánicos para entender el proceso tal como se realiza en la actualidad.

3.5.3 Toma de tiempos

Por medio de esta técnica, se toman tiempos para analizar el estado actual del área por investigar, para poder corroborar que los datos brindados por la compañía estén todavía en una situación similar. En cuanto a esto, se considera la participación directa de los colaboradores del área.

3.5.4 Observación directa del proceso

Corresponde a la observación del proceso para revisarlo contra procedimiento y buscar los puntos diferentes, con el propósito de orientar los esfuerzos para analizar la problemática en el proyecto.

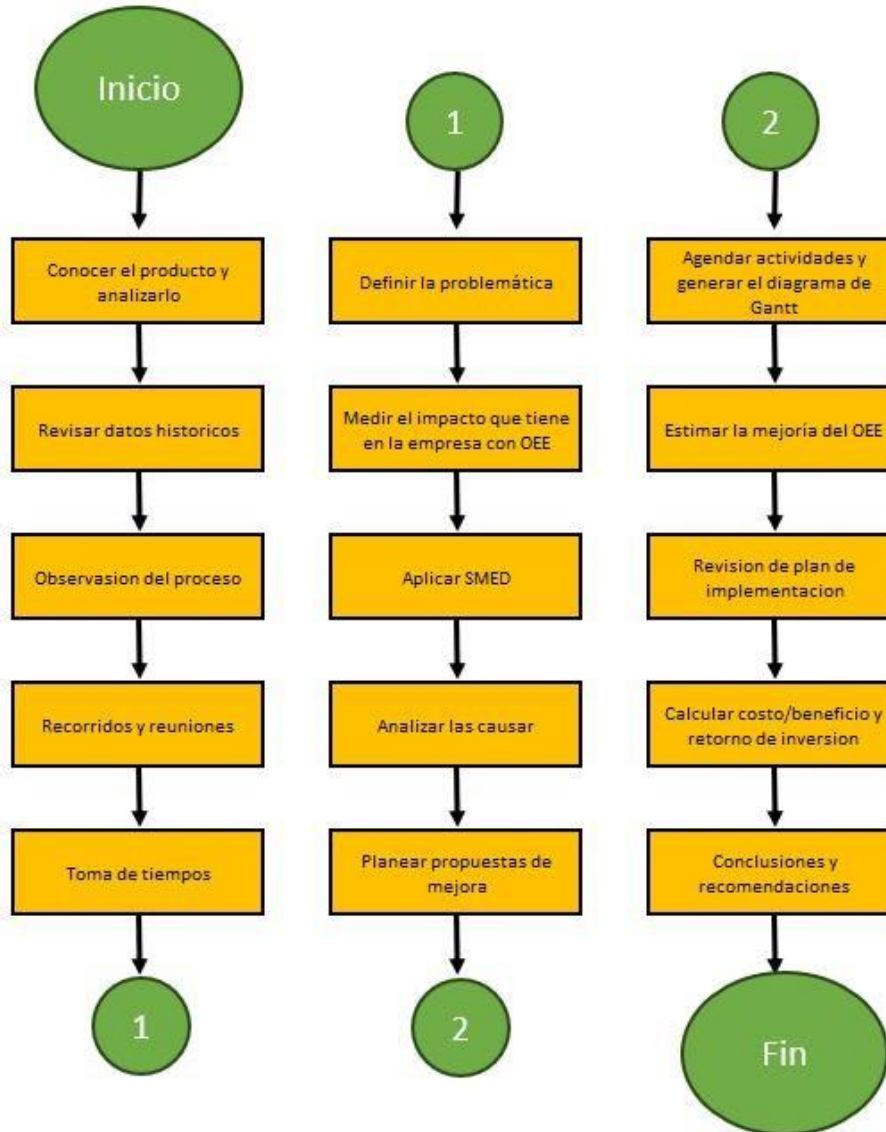
3.5.5 Recorridos

Consiste en llevar a cabo recorridos en el lugar que se está investigando para observar la problemática actual.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se aprecia el diagrama de flujo para el proceso de análisis de datos:

Figura 3.2: Diagrama de flujo del proceso para la recolección y análisis de datos



Fuente: Autor, 2024.

Inicialmente se da a conocer el producto. Luego, para empezar con su respectivo análisis, se revisan los datos históricos, se observa el proceso con el fin de establecer el estado actual del mismo, se efectúan reuniones con el personal del área para comprender la situación y se toman tiempos de las tareas que ejecutan.

Después, se define la problemática del área, se mide su impacto en el OEE, se aplica la metodología SMED y se analizan las causas de la situación actual.

Posteriormente, se plantean propuestas para la mejoría del OEE utilizando la metodología SMED; también, se agendan actividades y su respectivo diagrama de Gantt, para entender en cuánto tiempo se puede corregir la problemática actual del área.

Por último, se estima la mejoría del OEE, para luego revisar el plan de implementación, calcular el costo beneficio y retorno de inversión, así como formular las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto según corresponda.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DEFINIR

El presente proyecto se centra en la planta de manufactura de dispositivos médicos de MCR Medical, ubicada en la Zona Franca Coyol en Alajuela, específicamente en la línea de producción de Catalyft. Esta área de la planta se caracteriza por ser relativamente nueva en comparación con otras secciones, lo que implica desafíos particulares en términos de eficiencia operativa y calidad del producto.

Al respecto, uno de los indicadores clave que reflejan el estado actual del proceso en la línea de Catalyft es el OEE, el cual muestra un nivel más bajo en comparación con otras áreas de la planta. Además, se observa un nivel de *scrap* (material desechado) que supera el 5 % permitido por la empresa, esto sugiere problemas significativos en el proceso de producción.

Ahora bien, para definir de manera adecuada la problemática del estudio, es crucial comprender el estado real del proceso en la línea de Catalyft. Con este fin, se desarrolla una serie de herramientas ingenieriles que posibilitan evaluar con precisión el rendimiento del proceso, identificar áreas de mejora y proponer soluciones efectivas para abordar los desafíos existentes.

A lo largo de este trabajo, se abarcan con detalle las herramientas y metodologías utilizadas para analizar y resolver la problemática identificada, con el objetivo último de mejorar la eficiencia operativa y la calidad del producto en la línea de Catalyft de la planta de MCR Medical.

4.1.1 Análisis de contexto-FODA

Para comprender plenamente la situación actual de la empresa MCR Medical, es esencial emplear una herramienta de análisis estratégico que proporcione un contexto detallado de sus características internas y externas. En este sentido, el análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) emerge como un instrumento fundamental con el propósito de evaluar la posición competitiva y las perspectivas futuras de la compañía.

A continuación, se indica el análisis FODA del proyecto:

Figura 4.1: Análisis FODA de la investigación



Fuente: Autor, 2024.

A continuación, se expone el análisis de cada uno de los factores internos y externos encontrados.

Factores internos

Fortalezas

- **Tecnología de vanguardia**

La compañía tiene una planta equipada con la tecnología más avanzada a nivel nacional y maquinaria de última generación que incluye sistemas totalmente automatizados para el ajuste, medición y aceptación de las unidades producidas. Estas tecnologías avanzadas no solo aumentan la eficiencia y precisión en el proceso de fabricación, sino que también garantizan niveles excepcionales de calidad y consistencia en todos los productos fabricados.

Además, la empresa se mantiene a la vanguardia de las últimas innovaciones en tecnología médica, lo que le permite incorporar avances tecnológicos y mejoras continuas en sus procesos de fabricación. Esta capacidad de adaptación y mejora constante asegura que MCR Medical pueda satisfacer las demandas y mantener su posición como líder en la industria de dispositivos médicos.

- **Buscar las necesidades de los pacientes para extenderles la vida**

MCR Medical se destaca por su compromiso de estar acorde a las necesidades de los pacientes con el objetivo de mejorar su calidad de vida y prolongar la misma. De este modo, por medio de una investigación extensa y un enfoque centrado en el paciente, la empresa identifica las demandas del mercado médico y desarrolla dispositivos innovadores que minimizan lo invasivo de los tratamientos y maximizan la eficacia de la operación.

Este enfoque proactivo no solo fortalece la relación con los clientes, sino que también posiciona a MCR Medical como un líder en el mercado al ofrecer soluciones médicas centradas en el paciente que marcan la diferencia en la salud y el bienestar de las personas. Asimismo, la empresa mantiene una estrecha colaboración con profesionales de la salud y expertos en diversas especialidades médicas para garantizar que sus productos cumplan con los más altos estándares de seguridad, eficacia y precisión. Este enfoque centrado en el paciente no solo fortalece la confianza.

Debilidades

- **Costos elevados en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías**

MCR Medical enfrenta el desafío de costos elevados por el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de dispositivos médicos. Al respecto, el proceso de investigación, diseño y pruebas de nuevas tecnologías implica inversiones elevadas en recursos humanos, equipo especializado y materiales, lo que contribuye a un presupuesto generalmente alto para estos proyectos; además, el proceso de desarrollo de nuevas tecnologías puede ser largo y complejo. Asimismo, la incertidumbre sobre el éxito final de las nuevas tecnologías puede generar presión adicional en el presupuesto y requerir una gestión cuidadosa.

- **Falta de conocimiento especializado**

La falta de expertos en campos como la ingeniería biomédica y la tecnología médica podría limitar la capacidad de la empresa para innovar de manera efectiva y mantenerse al día con las últimas tendencias de la industria.

Factores externos

Oportunidades

- **Crecimiento del mercado**

La creciente demanda de dispositivos médicos a nivel mundial, impulsada por el envejecimiento de la población, ofrece oportunidades para expandir la producción y el alcance de MCR Medical en Costa Rica, especialmente al aprovechar el bajo costo de la mano de obra calificada.

- **Proceso de expansión en campos emergentes**

La sólida reputación de calidad de MCR Medical brinda la oportunidad de explorar y expandirse en áreas emergentes de la industria médica, como la telemedicina o la tecnología de diagnóstico avanzado.

Amenazas

- **Regulaciones cambiantes**

Los cambios en las regulaciones gubernamentales, tanto a nivel internacional como del país, pueden representar una amenaza para la operación de MCR Medical en Costa Rica si no se adapta de manera eficiente y oportuna, especialmente en la FDA que hace constantes auditorías a la planta de Costa Rica.

- **Competencia global**

La competencia de otras plantas de la empresa, especialmente de las ubicadas en países como China, representa una amenaza, ya que se podría desplazar la producción de Costa Rica si la eficiencia y la rentabilidad son más altas en otros lugares.

Matriz de estrategias FODA

Al crear una matriz de estrategias, se establecen planes de acción para contrarrestar los efectos que las debilidades y las amenazas pueden tener en la compañía, al maximizar las operaciones mediante las oportunidades, aplicando las fortalezas, en busca de lograr los objetivos planteados. A continuación, la matriz de estrategias del análisis FODA.

Tabla 4.1: Matriz de estrategias

	Fortalezas	Debilidades
Oportunidades	<p>FO1: Mejorar la capacidad de producción utilizando la tecnología avanzada para satisfacer la gran demanda del mercado mundial.</p> <p>FO2: Desarrollar nuevos dispositivos médicos centrados en áreas emergentes como telemedicina y diagnóstico avanzado.</p>	<p>DO1: Buscar financiamiento para la investigación y el desarrollo en campos emergentes.</p> <p>DO2: Invertir en capacitación y contratación de expertos en áreas emergentes.</p>
Amenazas	<p>FA1: Implementar tecnologías de vanguardia para cumplir con las regulaciones cambiantes y las exigencias del mercado.</p> <p>FA2: Innovar continuamente para mantenerse competitivos frente a la competencia.</p>	<p>DA1: Optimizar los procesos de desarrollo para reducir costos y mejorar la eficiencia.</p> <p>DA2: Crear alianzas estratégicas con instituciones académicas para acceder a conocimientos avanzados y mejorar la capacidad de innovación.</p>

Fuente: Autor, 2024.

Fortalezas y oportunidades

Para un aprovechamiento de las oportunidades que el mercado brinda y las que la empresa tiene, es necesario hacer el mejor uso posible de sus fortalezas.

FO1: Mejorar la capacidad de producción utilizando la tecnología avanzada para satisfacer la gran demanda del mercado mundial. La inversión en mejorar los procesos

de producción con la tecnología para aprovechar el crecimiento del mercado y la gran demanda de dispositivos médicos.

FO2: Nuevos dispositivos médicos centrados en áreas emergentes como telemedicina y diagnóstico avanzado. El enfoque en las necesidades del paciente para expandir la oferta en campos emergentes, lo que puede abrir nuevas oportunidades de mercado de dispositivos médicos.

Fortalezas y amenazas

Sacar el mayor provecho de las fortalezas es la mejor forma de hacerles frente a las amenazas.

FA1: Implementar tecnologías de vanguardia para cumplir con las regulaciones cambiantes y las exigencias del mercado, para adaptarse rápidamente a nuevas regulaciones y asegurar el cumplimiento, minimizando los riesgos.

FA2: Innovar continuamente para mantenerse competitivo frente a la competencia. Utilizar el enfoque en la mejora de la calidad de vida, para desarrollar productos diferenciados que tengan ventajas competitivas frente a la competencia global.

Debilidades y oportunidades

Considerar las debilidades ayuda a conocer los límites de la empresa y las situaciones que provocan dichas debilidades, se debe hacer un correcto aprovechamiento de las oportunidades, mal manejo las convierta en un punto negativo en contra de la empresa.

DO1: Buscar financiamiento para la investigación y el desarrollo en nuevos campos emergentes. Colaborar financiamiento interno para los costos de desarrollo y explorar nuevas oportunidades con menos carga financiera.

DO2: Invertir en capacitación y contratación de expertos en áreas emergentes. Atraer y capacitar talento especializado que pueda contribuir y mejorar la capacidad de respuesta de la empresa.

Debilidades y amenazas

Más importante que los otros puntos, se debe prestar atención a la relación existente entre las amenazas y las debilidades, buscando los puntos en los que se es menos fuerte para minimizar el impacto de las amenazas.

DA1 Optimizar los procesos de desarrollo para reducir costos y mejorar la eficiencia. Implementar métodos eficientes en el desarrollo de tecnologías para minimizar el impacto de los costos.

DA2: Crear alianzas estratégicas con instituciones académicas y de investigación para acceder a conocimientos avanzados y mejorar la capacidad de innovación. Colaborar con universidades y centros de investigación para acceder a conocimientos especializados que pueden ayudar a superar las debilidades en innovación.

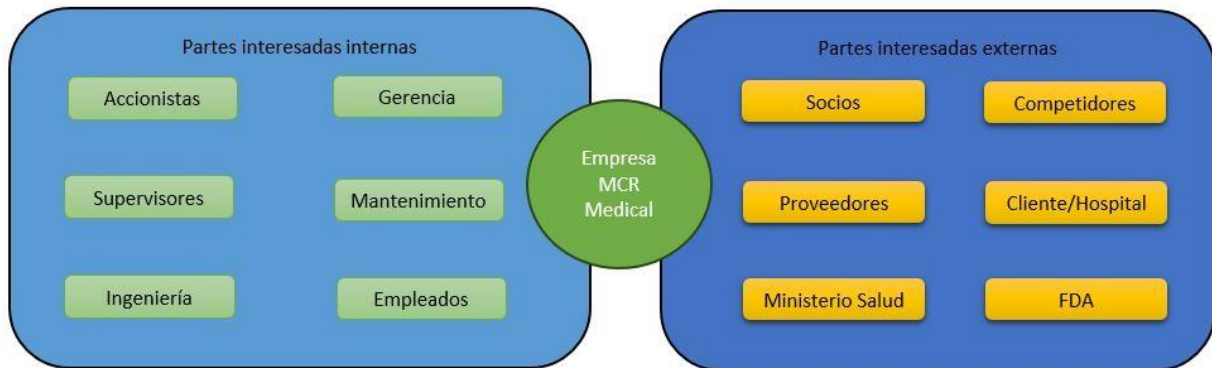
Durante la fabricación de la matriz de estrategias, surgen ocho estrategias de las cuales se selecciona la FO1 “Mejorar la capacidad de producción utilizando la tecnología avanzada para satisfacer la gran demanda del mercado mundial”, para realizar el presente proyecto.

4.1.2 Análisis de las partes interesadas (stakeholders)

Para comprender el entorno operativo y estratégico de MCR Medical, es fundamental identificar y analizar las partes interesadas clave, evaluando su nivel de criticidad y su influencia en las decisiones de la compañía.

Este análisis proporciona información valiosa sobre las dinámicas de poder y las relaciones que pueden impactar en la implementación de estrategias y la consecución de objetivos corporativos.

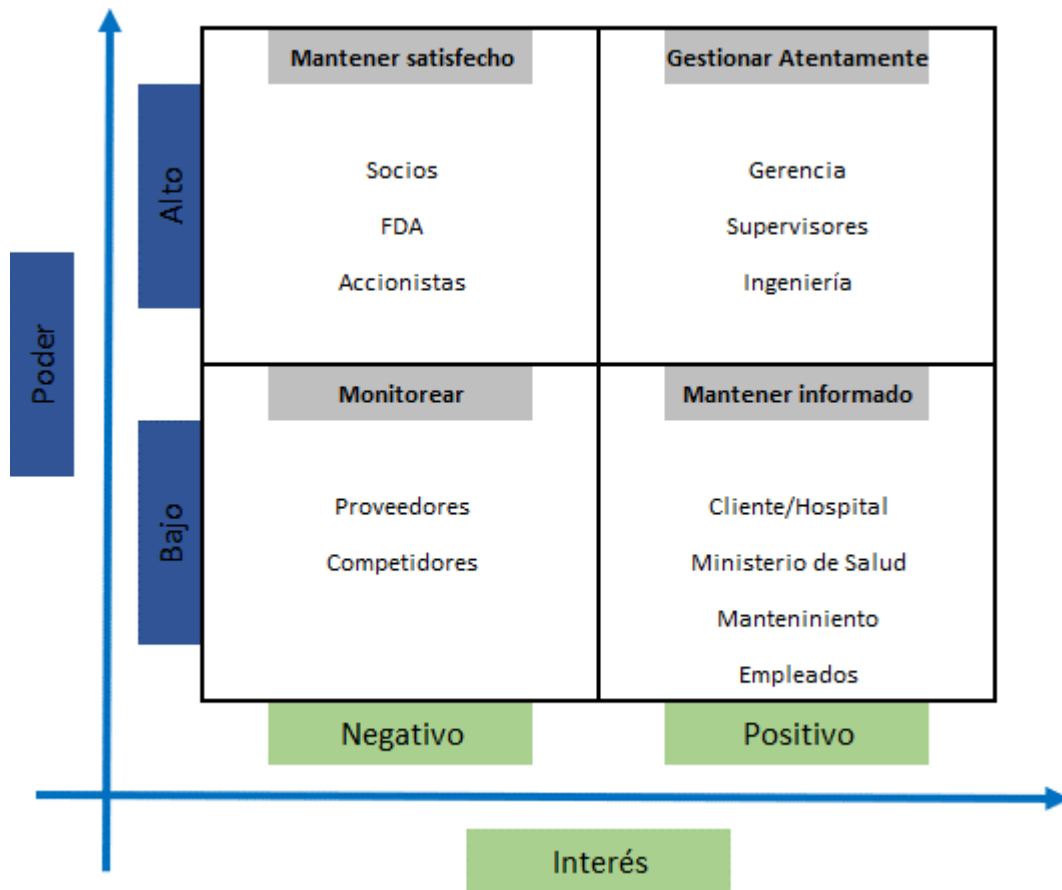
Figura 4.2: Análisis de las partes interesadas



Fuente: Autor, 2024.

A partir del análisis de partes interesadas, se entiende que el impacto del proyecto afecta más allá de las partes involucradas internas, pues la planta de Costa Rica es un punto clave en la reducción de costos por la gran mano de obra calificada a bajo costo si se compara con plantas como la de Warsaw Indiana, que es la planta de donde ingresan los productos que se están transfiriendo a Costa Rica, por lo tanto, una matriz de poder-interés representa un panorama claro de lo que es necesario realizar durante la toma de decisiones en MCR Medical.

Figura 4.3: Matriz de poder-interés



Fuente: Autor, 2024.

La matriz proporciona una guía sobre cómo MCR Medical puede gestionar sus relaciones con las diferentes partes interesadas, en función de su nivel de influencia y poder, para garantizar una colaboración efectiva y una gestión adecuada de las expectativas. Por consiguiente, se deben seguir las acciones mencionadas a continuación.

Mantener informado

Transmitirles a los hospitales comunicación relevante que les puede interesar sobre tecnologías y procesos novedosos, al Ministerio de Salud acerca de todos los permisos necesarios para operar sin contratiempos y a los empleados información de la compañía que sea de interés.

Monitorear

Seguir de cerca las acciones de los competidores para tratar de estar siempre a la vanguardia en la nueva tecnología que el mercado está buscando, y las preocupaciones de los proveedores con el propósito de evitar la falta de materiales en momentos críticos para la compañía.

Mantener satisfecho

Es necesario gestionar los requerimientos para garantizar la satisfacción continua de los socios, accionistas y FDA, de tal manera que se pueda trabajar sin impedimentos al encontrarse satisfechos con los resultados de los dispositivos.

Gestionar atentamente

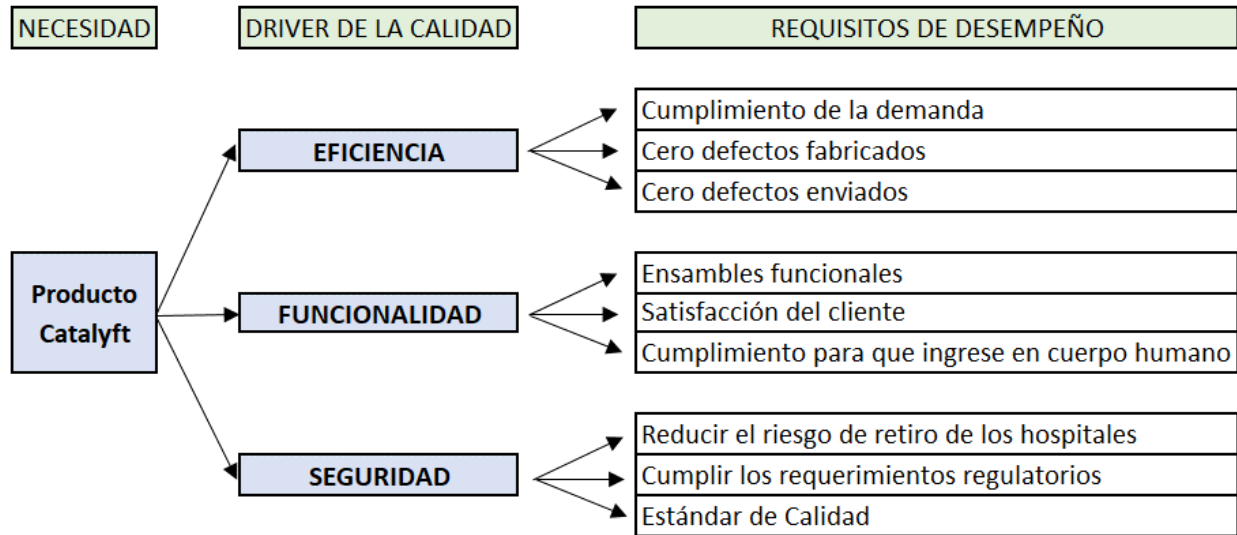
Gestión proactiva de las relaciones laborales entre los diferentes departamentos interesados, gerencia, supervisores e ingeniería para abordar problemas y oportunidades de una forma inmediata, evitando conflictos.

4.1.3 Árbol de CTQ

En el proceso de fabricación del producto Catalyft en la empresa MCR Medical, el árbol de CTQ identifica las características de calidad que son críticas para satisfacer las necesidades y expectativas del cliente.

A continuación, se expone el árbol de CTQ para el producto Catalyft:

Figura 4.4: Árbol de CTQ



Fuente: Autor, 2024.

El diagrama anterior presenta lo que el cliente establece como crítico para un dispositivo médico. A continuación, se detalla cada aspecto.

Eficiencia

Cumplimiento de la demanda: se refiere a la capacidad del proceso de fabricación para satisfacer la demanda del mercado de manera oportuna y eficiente. Implica la capacidad de producir suficientes unidades del producto con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes y evitar escasez de dispositivos.

Cero defectos fabricados: incluso un pequeño defecto tiene graves consecuencias en la industria médica porque puede comprometer la seguridad del paciente. Por lo tanto, es la capacidad del proceso de fabricación para producir productos sin defectos, con lo cual asegure altos estándares de calidad y confiabilidad durante el proceso de manufactura.

Cero defectos enviados: además de no fabricar defectos, es primordial que ningún producto defectuoso llegue al cliente. Este aspecto se centra en implementar controles de calidad sólidos para detectar y eliminar cualquier producto defectuoso antes de que salga de la estación de fabricación. Garantizar que solo los productos sin defectos sean enviados a los clientes es fundamental para mantener la reputación de la empresa y la seguridad del paciente.

Funcionalidad

Esta se vincula con los requisitos exigidos por el cliente.

Ensamblajes funcionales: es la capacidad de todas las partes y componentes de un dispositivo médico para integrarse y trabajar juntos de manera efectiva con el propósito de cumplir su función. Esto implica que todas las partes del dispositivo estén diseñadas y ensambladas de modo que funcionen correctamente y de forma efectiva, lo cual garantiza la fiabilidad y seguridad del producto.

Satisfacción del cliente: es crucial en la industria médica, ya que no solo se refiere a la eficacia del producto en términos de tratamiento, sino también a la comodidad, la facilidad de uso y la experiencia general del usuario. Es esencial que el dispositivo médico cumpla o supere las expectativas del cliente para garantizar su aceptación y uso en más pacientes.

Cumplimiento para que ingrese el dispositivo en el cuerpo humano: se refiere a cumplir todos los requisitos regulatorios y de seguridad para que el dispositivo médico pueda ingresar de manera segura y efectiva en el cuerpo humano sin causar daño o representar riesgos para la salud. Esto implica cumplir con normativas específicas sobre materiales biocompatibles con el cuerpo humano, esterilización, diseño y requisitos de seguridad para dispositivos.

Seguridad

Reducir el riesgo del retiro de los dispositivos de los hospitales: estos productos son altamente regulados y deben ser procesos documentados, por consiguiente, se fabrican productos médicos que minimicen el riesgo de ser retirados debido a problemas de seguridad o calidad. Esto implica realizar pruebas y controles de calidad durante el proceso de fabricación para identificar y mitigar cualquier riesgo potencial de seguridad que pueda causar la retirada del producto del mercado.

Cumplir los requerimientos regulatorios: es primordial para que los productos médicos estén en regla con las autoridades sanitarias y organismos reguladores pertinentes. Esto incluye la obtención de certificaciones y aprobaciones necesarias para comercializar el producto a nivel mundial, así como el cumplimiento continuo de las normativas y estándares de seguridad durante toda su vida útil.

Estándar de calidad: un alto estándar en todos los aspectos del diseño, fabricación y distribución de productos médicos es esencial para garantizar su seguridad y eficacia. Esto implica seguir buenas prácticas de manufactura (GMP); implementar sistemas de gestión de la calidad, SPC y límites de control; asegurar la trazabilidad y el control en todas las etapas del proceso.

Al analizar el árbol de CTQ, en la actualidad la compañía no está cumpliendo algunos requisitos de desempeño, entre ellos uno relacionado con el “driver eficiencia”, específicamente "cumplimiento de la demanda".

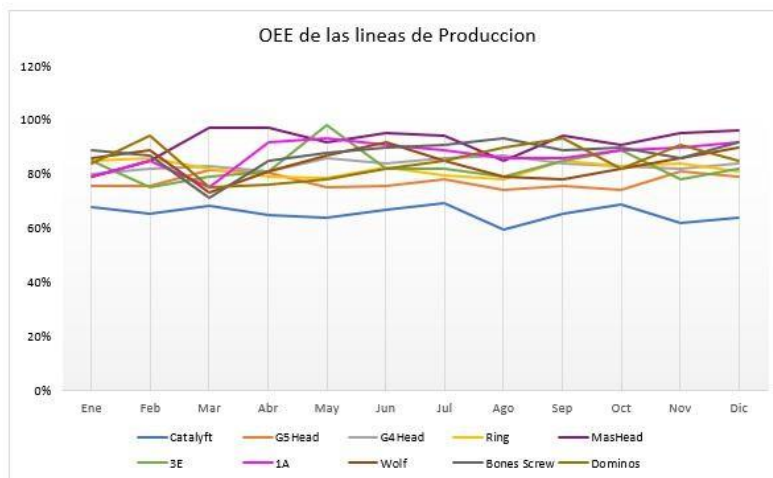
Según las declaraciones del gerente de manufactura y el supervisor de producción, existe una discrepancia entre las expectativas del cliente y la capacidad de la empresa para satisfacer la demanda de manera oportuna y eficiente.

Más adelante, en las etapas correspondientes, se efectúa el análisis de los datos para evidenciar dichas afirmaciones.

4.1.4 Eficiencia general de los equipos (OEE)

Se utiliza la herramienta OEE de la compañía para revisar el estado actual de las áreas de producción en la empresa:

Figura 4.5: OEE del año 2023



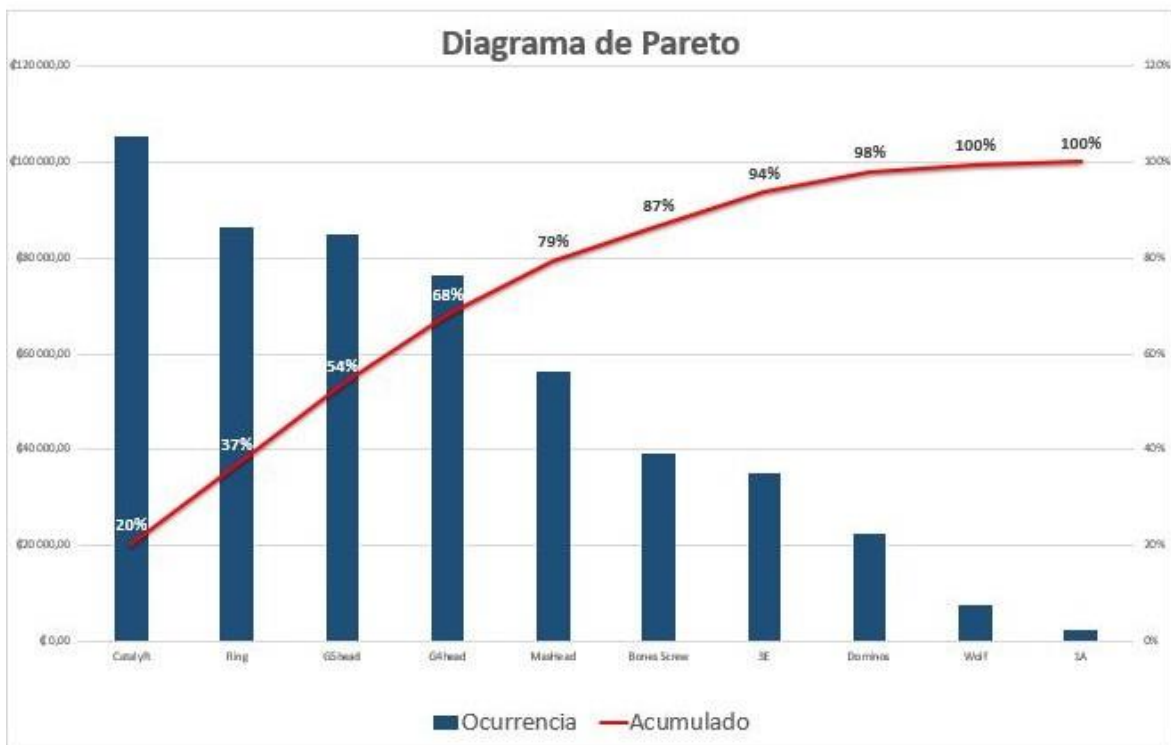
Fuente: Autor, 2024.

Mediante la revisión exhaustiva del OEE en la planta de producción de MCR Medical, se observa que el área de Catalyft presenta el OEE más bajo. Este se divide en los tres factores que se miden en la compañía, por lo tanto, el producto se observa de manera individual para determinar qué factor está afectado en mayor medida.

4.1.5 Diagrama de Pareto

Se busca conocer el impacto real del producto para la compañía, por lo cual se emplea un diagrama de Pareto de costos de las unidades.

Figura 4.6: Diagrama de Pareto sobre el precio de los productos en el año 2023



Fuente: Autor, 2024.

El análisis de Pareto por costo del producto proporciona una visión clara del alto costo que tiene el producto para la compañía, por ende, es un área por mejorar.

4.1.6 SIPOC

Para comprender más a fondo el proceso actual, se efectúa un análisis integral mediante un diagrama SIPOC:

Figura 4.7: Diagrama SIPOC para el área de fabricación de Catalyft

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Proveedores de materia prima.	Materia prima barras.	Colocación de la barra y herramienta.	Órdenes de producción listas.	Área de almacenaje temporal en MCR Medical.
Proveedores de componentes.	Herramientas de corte.	Fabricación del dispositivo.	Producto preparado para ser exportado.	Centro de distribución en los Estados Unidos.
Proveedores de servicios logísticos.	Orden de producción.	Lavado de las unidades.		Hospitales a nivel mundial.
	Documentación del producto.	Pruebas de calidad y cumplimiento regulatorios.		Doctores y pacientes.
		Empaquetado y etiquetado del producto.		

Fuente: Autor, 2024.

A partir del diagrama SIPOC, se evidencia la siguiente información.

Suplidores

Dentro de la compañía existe un Departamento de Warehouse que es tanto proveedor de materia prima como de componentes, además es el encargado de los servicios logísticos para la importación de materiales; por consiguiente, es el encargado de realizar la entrega de la materia prima y los componentes requeridos para la fabricación de los dispositivos. En estos se incluyen productos químicos para su lavado o limpieza, bandejas de transporte, bolsas y cajas para embalaje, entre otros insumos necesarios en la fabricación dentro de la compañía.

Ahora bien, como proveedores de servicios logísticos, se encuentran empresas de transporte marítimo y aéreo, así como agentes aduanales de logística internacional que facilitan la importación y exportación de materiales.

Entradas

Dentro del proceso de elaboración de Catalyft, se solicitan las barras a los suplidores internos según la pieza que se manufacture. Después, con el material en la máquina, se solicitan las herramientas de corte, las mismas dependen del *setup* por trabajar.

Al respecto, existen unidades que comparten el 80 % de las herramientas, por lo cual se debe ser cauto en esta parte del proceso, revisando bien lo que realmente se requiere para manufacturar solo las partes solicitadas y no incurrir en consumos adicionales de herramientas que no se requieren porque ya se encuentran en la máquina.

Luego, se procede a solicitar la orden del producto, efectuar el despeje de línea del área para evitar cualquier tipo de mezcla de unidades de órdenes anteriores y realizar la documentación del producto, tanto de los equipos de medición por utilizar como de los valores obtenidos durante las revisiones de las unidades.

Proceso

Con la máquina ya lista para la fabricación de las unidades, además de la barra y herramientas colocadas en la ubicación necesaria para la unidad, se fabrican las piezas siguiendo los requerimientos del plano y lo solicitado por el Departamento de Calidad, de esta manera se evitan problemas en las unidades producidas.

Luego de la fabricación, se lleva a cabo un lavado con químicos especiales que ayudan con una limpieza profunda de las unidades manufacturadas, evitando así contaminación en las mismas.

Cada parte es debidamente inspeccionada según los requisitos solicitados por el Departamento de Calidad: de una manera cuidadosa en una cámara de flujo laminar para evitar la contaminación de las unidades limpias.

Después, pasa a la celda de empaque donde se le coloca un *tag* con la información del lote, se procede a su empaque en bolsas individuales con un documento de identificación, para luego colocarse en una caja de cartón que se identifica con una etiqueta del tipo de material que se transporta y la información del lote que contiene.

Salidas

Al haber finalizado el proceso dentro del área de producción de Catalyft y la celda de empaque, cada lote está listo para pasar al área de exportaciones donde las cajas son colocadas de modo apilado en una tarima que únicamente contiene producto listo. A estas se les realiza una revisión previa de documentación antes de indicarle al Departamento de Logística que se puede efectuar la exportación.

Clientes

Cuando una orden de producción está lista en su respectivo empaque y con la documentación aprobada para su exportación, dicho material es transportado a un área de bodega temporal donde se queda a la espera del próximo envío al centro de distribución.

Después de un corto espacio de tiempo, es exportado al centro de distribución de MCR Medical ubicado en Warsaw, Estados Unidos, donde el producto se distribuye a diferentes hospitales del mundo con el fin de que los doctores revisen que el producto está en las condiciones requeridas para realizar una operación e implantarlo en un paciente.

4.1.7 Diagrama de flujo

Se elabora un diagrama de flujo del proceso que se lleva a cabo para la fabricación de los lotes en la línea de Catalyft, de esta forma se definen con mayor claridad los pasos donde se encuentra la problemática que se busca tratar para mejorar el área.

Figura 4.8: Diagrama de flujo para el área de fabricación de Catalyft



Fuente: Autor, 2024.

El proceso actual de la línea de producción inicia cuando el mecánico se presenta con la orden de trabajo impresa al *warehouse* para solicitar el material correspondiente según el número de parte por manufacturar. Al respecto, del área de maquinado a la ubicación de la planta donde se entregan las barras, se deben caminar cincuenta metros de ida y otros cincuenta metros de vuelta a la máquina.

Al encontrarse de nuevo en la línea de Catalyft, se ingresa el material a la máquina. Luego, con la barra ingresada en la máquina, se abre la orden de trabajo. Para realizar esto último, se debe ingresar en el sistema “MES”, en el cual se verifica que la orden esté en la máquina correcta. Después se escanean los instrumentos de inspección requeridos para la fabricación de las unidades del lote por trabajar. Con los instrumentos listos, se llama a un compañero para que efectúe la verificación y firma del despeje de línea, con el objetivo de garantizar que no se tenga material, herramientas ni unidades de otro número de parte en la máquina mientras se trabaja la orden nueva.

Posteriormente se hace el ajuste de la pieza de acuerdo con el plano y los requerimientos de calidad para el número de parte requerido. Luego, se fabrica la unidad y con la pieza fabricada se continúan eliminando excesos de material, “rebabas” y filos. Según la unidad, se realiza con herramientas de “rebabeo” manual, para las cuales se requiere utilizar equipo de protección personal especial en las manos con la finalidad de evitar cortes durante el uso de las herramientas.

Con la unidad sin excesos de material, se continúa con el lavado en una máquina ultrasónica, por medio de esta se eliminan los residuos de aceite de corte que trae de la maquinaria CNC; por lo tanto, el proceso requiere tiempo y la unidad pasa de seis a diez minutos en la ultrasónica con el químico de limpieza. El tiempo se define acorde a la cantidad de aceite que se le observe a la pieza.

Pasada la parte del lavado, se mueve al enjuague que tarda diez minutos en agua limpia, para luego sacar la unidad y soplarla por treinta segundos con aire comprimido (este debe tener una presión de cuarenta y cinco libras). Únicamente se debe manipular la unidad con guantes de nitrilo limpios.

Ahora bien, con la unidad limpia por completo, se procede a colocarla en el centro de medición automática (CMM), donde se selecciona la rutina válida según la unidad por fabricar. Se espera el tiempo que tarda la rutina, a saber, de diez a doce minutos de

acuerdo con el tipo de pieza, y que salga el reporte con el resultado de la medición para establecer la unidad como aprobada o defectuosa.

En caso de que la unidad esté fuera de parámetros, se ajusta de nuevo la misma y se repite todo el proceso hasta volver a medir una unidad.

Si la pieza obtenida es buena, se revisa la cantidad de unidades requeridas en la orden. Si no se tiene la cantidad requerida fabricada, se debe repetir el proceso de fabricación y medición hasta lograr la cantidad de unidades necesarias.

Con la orden completa, se efectúa el cierre de esta para lo que se realiza una inspección de las mediciones hechas en el sistema “MES”, las cuales son las mismas medidas en el CMM.

Después, un compañero lleva a cabo una revisión de la documentación, además firma la verificación de que la documentación y las unidades están completas, para luego pasar a la celda de empaque donde se empacan las unidades de manera individual con la misma documentación de la orden de trabajo.

Con esto, el lote es colocado en un área de almacenamiento temporal antes de enviarse al centro de distribución (CEDI) para su posterior envío a los hospitales. De este modo, cuando sean requeridos en el inventario, se evita una falta de abastecimiento al momento de ejecutar intervenciones médicas.

4.1.8 Project charter

En esta investigación se busca encontrar propuestas de mejora a la problemática planteada, por consiguiente, es de gran importancia conocer el equipo de trabajo que colabora con el estudio.

Así, mediante la herramienta de planificación de trabajo llamada *project charter*, se determina el objetivo principal del proyecto y los colaboradores involucrados o que participan en la investigación.

A continuación, se expone el *project charter* del proyecto:

Tabla 4.2: Project charter del proyecto

Situación Actual	Miembros del equipo participantes del proyecto	Miembros del equipo	Departamento
En MCR Medical, empresa dedicada a la fabricación de partes mecanizadas para dispositivos médicos en el área espinal para el tratamiento y corrección de escoliosis, se ha identificado una disminución en el indicador de disponibilidad de la máquina; mismos que traen como consecuencia problemas relacionados en la productividad y sus indicadores, la efectividad de la línea de producción y aumento en los costos de la compañía.		Gerente de producción	Manufactura
		Black Belt	Opex
		Ingeniería de procesos	Manufactura
		Ingeniería de Calidad	Calidad
		Supervisor de producción	Manufactura
	Área de interés del proyecto	Manufactura/Producción	
Líder del Proyecto	Alcance		
Kevin Arce Jiménez	La investigación se lleva a cabo en MCR Medical, ubicada en Free Zone del Coyoil de Alajuela, en el área de manufactura del producto Catalyft, productos fabricados en tornos CNC. Con la implementación de la propuesta de la investigación se mejoran los indicadores del área, productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas. Para el presente trabajo de investigación, en cuanto a lo que corresponde a procedimientos y requerimientos de la organización, son confidenciales y se utilizan valores aproximados. Además, el nombre de la empresa no puede ser mencionado.		
Descripción del problema			
Durante el tercer cuarto del año fiscal 2024, el equipo de manufactura identifica que se tiene una disponibilidad de máquinas de un 68.5 según el OEE, esto se refleja en una pérdida de \$239 944 anuales, equivalente a 26 784 unidades, lo que sería 73.38 unidades por día, solamente en el área de Catalyft. Debido a la cantidad de máquinas que se encuentran en el área de manufactura ya mencionada (Catalyft) y su eficiencia, se tiene una pérdida de \$59 986 en un periodo de cuatro meses (agosto 2023-noviembre-2023) representando un 25% del total de la demanda comprometida durante este periodo de tiempo.	Justificación		
	El presente estudio se realizará en la empresa MCR Medical, en el área de manufactura, en la línea de producción de máquinas CNC del producto Catalyft, este proyecto de investigación tiene como principal objetivo traer a la organización un aumento en la disponibilidad de las máquinas en el área de Catalyft, haciendo el proceso más eficiente, actualmente el OEE es de 65.4%, disponibilidad 68.5, rendimiento 95.6 y calidad 100. Se tiene como objetivo aumentar al menos un 10%, para mejorar la cantidad de unidades producidas, de esta manera poder completar el plan de producción de una manera más rápida, evitando llegar a tener pedidos pendientes. Con este proyecto atacamos tres indicadores de suma importancia para la empresa y base fundamental del negocio: productividad, eficiencia de la línea de producción y disponibilidad de las máquinas.		
Objetivo del proyecto	Evaluar el proceso actual de manufactura del producto Catalyft, de la empresa MCR Medical, mediante la metodología DMAIC y OEE, que proponga mejoras para el aumento en el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10%, y así reducir la pérdida mensual.		

Fuente: Autor, 2024.

De acuerdo con la tabla 4.1, relacionada al *project charter* del proyecto, se describe con más detalle qué se hace, dónde se realiza el trabajo, quién es el gerente a cargo del proyecto y quiénes son los demás participantes que aportan su conocimiento en la elaboración de cada una de las etapas.

4.2 MEDIR

A partir de la información suministrada en el apartado 4.1, “Definir”, sección 4.1.4, “Eficiencia general de los equipos (OEE)”, se busca la información individual del área de Catalyft para poder analizar cuál de los tres factores que afectan el OEE está presentando problemas.

4.2.1 OEE del año 2023

Tabla 4.3: OEE del año 2023

Catalyft OEE	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Average
Disponibilidad	71,4	69	72	65	67	71	73,3	62	68,5	72	64,5	65,9	68,5
Rendimiento	94,8	95	95	100	95	94	94,5	95,6	95,4	95,7	95,9	96,6	95,6
Calidad	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,0

Fuente: Autor, 2024.

De acuerdo con la tabla 4.2, relacionada al OEE del año 2023, se describe con mayor detalle el estado actual del producto. De esta forma, se observa que el promedio del OEE en disponibilidad es de 68,5, esto se encuentra bajo porque la compañía establece como mínimo un 75.

A continuación, se aprecia un gráfico que indica la diferencia entre los factores del OEE de una manera más clara y se define que solo el anterior factor afecta el OEE. Para esto, se aplica lo siguiente:

Disponibilidad actual:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas laborales actuales}}{\text{Tiempo planeado de trabajo}} = \frac{2760}{4032} = 68.5\%$$

Debido a estos datos obtenidos, también se modifica el porcentaje del OEE de la situación actual, que es el siguiente:

Disponibilidad: 68.5 %.

Rendimiento: 95.6 %.

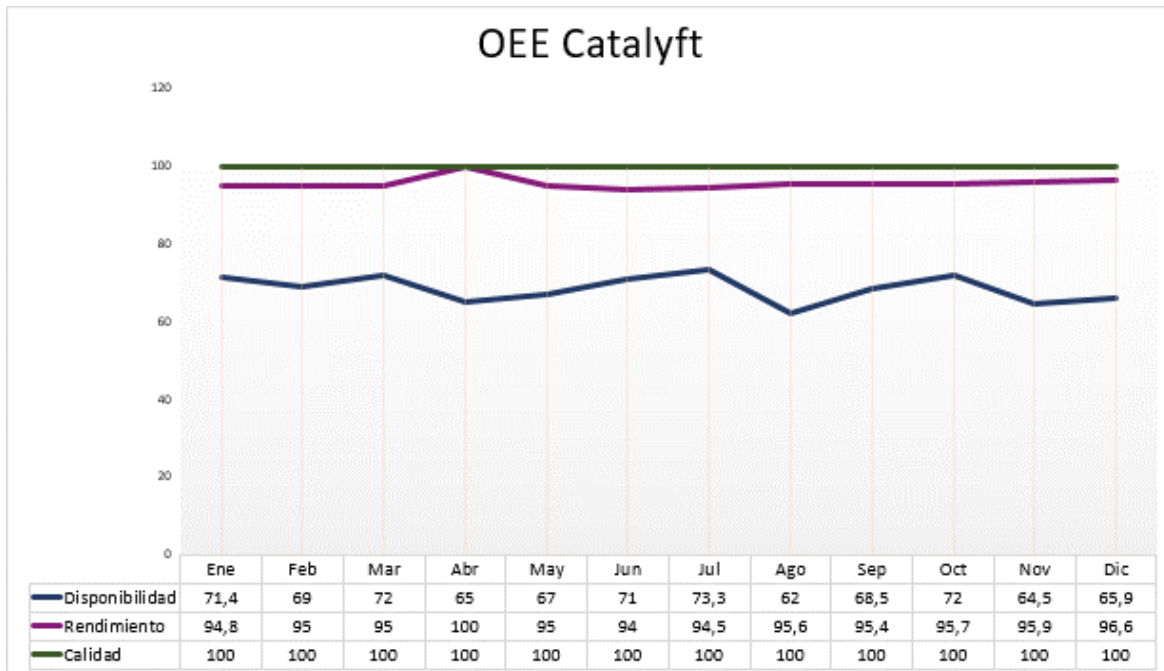
Calidad: 100 %.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

$$\text{OEE} = 68.5 \% * 95.6 \% * 100 \% = 65.5 \%$$

El valor del OEE permite clasificar la línea de Catalyft con respecto al nivel de excelencia de clase mundial, así se determina que se encuentra regular, lo cual genera pérdidas económicas.

Figura 4.9: OEE del año 2023



Fuente: Autor, 2024.

De este modo, el área de Catalyft presenta problemas con el indicador del OEE, que es la disponibilidad del equipo; por lo tanto, se revisa el producto de manera individual para determinar qué factores afectan este parámetro en mayor medida.

4.2.2 Factores reportados en OEE

Se revisa el sistema OEE para descargar los factores reportados por el operador durante los tiempos en los cuales la máquina se encuentra detenida.

Al respecto, el personal señala que la descripción reportada en algunos momentos no concuerda con lo que está sucediendo en la máquina. En cuanto a esto, la indicación por parte del supervisor de línea es colocar lo más similar a lo que están efectuando en la máquina.

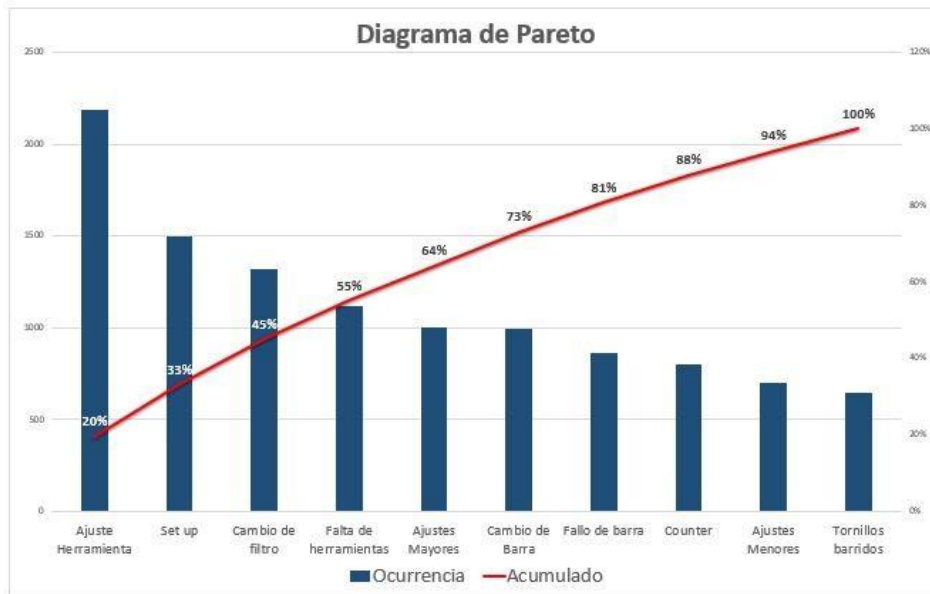
Tabla 4.4: Factores reportados que afectan la disponibilidad de la máquina en el año 2023

<i>Causas que afectan disponibilidad</i>	<i>Ocurrencia</i>	<i>Frecuencia</i>
Ajuste Herramienta	2190	20%
Set up	1500	13%
Cambio de filtro	1324	12%
Falta de herramientas	1120	10%
Ajustes Mayores	1003	9%
Cambio de Barra	998	9%
Fallo de barra	860	8%
Counter	800	7%
Ajustes Menores	700	6%
Tornillos barridos	646	6%
Total	11141	100%

Fuente: Autor, 2024.

Al contar con la información suministrada, se elabora un diagrama de Pareto para definir los puntos más críticos por tratar:

Figura 4.10: Factores que afectan la disponibilidad de la máquina en el año 2023



Fuente: Autor, 2024.

El análisis de Pareto proporciona los factores más influyentes que afectan el área de Catalyft en la planta de producción de MCR Medical, a saber: ajustes de herramientas

(20 %), *setup* (13 %) y cambio de filtro (12 %); estos problemas equivalen a un 45 % del acumulado del problema, por lo cual representan un gran impacto en el área.

4.2.3 SMED

- **Etapa 1. Observar y medir**

Es la primera etapa del método y una parte fundamental para el éxito del proyecto. Con relación a esta, se efectúa un análisis profundo de las operaciones que se ejecutan, desglosándolas de la mayor forma posible y determinando el tiempo requerido por cada una, además de las herramientas necesarias para llevar a cabo las tareas.

Así, la empresa MCR Medical brinda el promedio obtenido luego de veinte tomas de tiempo realizadas entre en el 01 de mayo y el 20 de mayo del presente año en el área de Catalyft, con el fin de efectuar la evaluación de los tiempos de las actividades ejecutadas durante el día que influyen en el tiempo de cambio de la herramienta, tiempo de *setup* y tiempo de cambio de la barra.

Tabla 4.5: Etapa 1. Observar factores (factores del 1 al 46)

Paso	Tarea	Tipo	Categoría	Duración (s)
1	Buscar llaves	I	Set up	250
2	Quitar herramienta	I	Set up	180
3	Buscar Alcohol	I	Movimiento	90
4	Buscar servilletas	I	Movimiento	60
5	Limpieza de posición de herramienta.	I	Set up	60
6	Caminar al Tool Boss	I	Transporte	180
7	Abrir la computadora para buscar MT	I	Set up	60
8	Sacar herramienta del Tool Boss	I	Espera	60
9	Caminar a la máquina	I	Transporte	180
10	Colocar herramienta nueva	I	Set up	320
11	Limpiar llaves	I	Movimiento	60
12	Devolver llaves	I	Movimiento	250
13	Proceder realizar la primer pieza	I	Set up	10
14	Esperar la primer pieza	I	Espera	385
15	Sacar la pieza de la bandeja	I	Espera	10
16	ingresarla en alcohol y soplar la pieza	I	Espera	10
17	Caminar a la CMM	I	Transporte	10
18	Encaminar la pieza al fixture de la CMM	I	Set up	1
19	Colocar la pieza en el Fixture	I	Set up	30
20	Colocar los datos en la CMM	I	Set up	9
21	Medir la pieza en la CMM	I	Espera	30
22	Volver a la estación de trabajo	I	Transporte	15
23	Ajustar maquina	I	Set up	300
24	Realizar Track out.	I	Set up	60
25	Mover el lote al rack.	I	Transporte	52
26	Colocar la bolsa.	I	Set up	20
27	Abrir el rack.	I	Set up	3
28	Ingresar el lote al rack.	I	Set up	4
29	Cerrar el rack.	I	Set up	3
30	Buscar al líder y solicitar el lote.	I	Movimiento	18
31	Buscar la computadora.	I	Movimiento	10
32	Ingresar a SAP.	I	Set up	53
33	Despachar el lote de SAP.	I	Set up	56
34	Ingresar a MES.	I	Set up	8
35	Buscar el lote en MES.	I	Set up	72
36	Despachar el lote de MES.	I	Set up	10
37	Imprimir el lote.	I	Set up	60
38	Imprimir las etiquetas.	I	Set up	30
39	Recoger el infosheet a la impresora más cercana.	I	Movimiento	34
40	Recoger las etiquetas a la impresora	I	Movimiento	30
41	Buscar la Funda.	I	Movimiento	64
42	Regresar a la estación de trabajo.	I	Transporte	15
43	Tomar el escáner inalámbrico.	I	Set up	2
44	Realizar Set Up.	I	Set up	475
45	Tomar las bandejas.	I	Set up	10
46	Regresar a la estación de trabajo	I	Transporte	10

Fuente: Autor, 2024.

Tabla 4.6: Etapa 1. Observar factores (factores del 47 al 93)

Paso	Tarea	Tipo	Categoría	Duración (s)
47	Colocar las etiquetas en la bandeja.	I	Set up	10
48	Verificar las etiquetas con el Info Sheet.	I	Set up	10
49	Ingresar a la computadora de la estación.	I	Set up	30
50	Ingresar a Track in en MES.	I	Set up	10
51	Identificar los bins de transporte.	I	Set up	170
52	Buscar a un compañero para realizar el despeje de línea.	I	Movimiento	30
53	Regresar para realizar el despeje de línea.	I	Movimiento	30
54	Verificar el despeje de línea.	I	Set up	180
55	Proceder a realizar la primer pieza.	I	Set up	10
56	Esperar la primer pieza.	I	Espera	385
57	Sacar la pieza de la bandeja.	I	Set up	10
58	Ingresarla en alcohol y soplar la pieza.	I	Set up	10
59	Medir la pieza en mesa y documentar en MES.	I	Set up	685
60	Buscar los bins de transporte	I	Set up	30
61	Ingresar las piezas ha lavado.	I	Set up	20
62	Esperar las piezas de lavado.	I	Espera	360
63	Mover las piezas a enjuague.	I	Set up	30
64	Esperar las piezas de enjuagado.	I	Espera	360
65	Sacar las piezas y soplar la pieza.	I	Set up	60
66	Caminar al CMM.	I	Transporte	10
67	Sacar la pieza del bin de transporte.	I	Set up	2
68	Encaminar la pieza al fixture de la CMM.	I	Set up	1
69	Colocar la pieza en el Fixture.	I	Set up	30
70	Colocar los datos en la CMM.	I	Set up	10
71	Medir la pieza en la CMM.	I	Set up	30
72	Volver a la estación de trabajo.	I	Transporte	15
73	Buscar llaves	I	Set up	250
74	Quitar remante de barra	I	Set up	180
75	Buscar Alcohol	I	Movimiento	90
76	Buscar servilletas	I	Movimiento	60
77	Limpieza de collet.	I	Set up	60
78	Caminar al warehouse	I	Movimiento	180
79	Solicitar barra	I	Espera	60
80	Caminar a la máquina	I	Movimiento	180
81	Colocar la barra nueva	I	Set up	320
82	Limpiar llaves	I	Movimiento	60
83	Devolver llaves	I	Movimiento	250
84	Esperar la primer pieza	I	Espera	385
85	Sacar la pieza de la bandeja	I	Espera	10
86	ingresarla en alcohol y soplar la pieza	I	Espera	10
87	Caminar a la CMM	I	Transporte	10
88	Encaminar la pieza al fixture de la CMM	I	Set up	1
89	Colocar la pieza en el Fixture	I	Set up	30
90	Colocar los datos en la CMM	I	Set up	9
91	Medir la pieza en la CMM	I	Espera	30
92	Volver a la estación de trabajo	I	Transporte	15
93	Ajustar máquina	I	Set up	300

Fuente: Autor, 2024.

En las tablas 4.4 y 4.5, se observa que el total de noventa y tres pasos es un factor interno, por lo cual se realizan con la máquina detenida.

Tabla 4.7: Etapa 1. Observar y medir

Tiempo promedio						
Categoría	Internal	% Int	External	% Ext	Total	% Total
Set up	4574	53%	0	0%	4574	53%
Espera	2215	26%	0	0%	2215	26%
Movimiento	1376	16%	0	0%	1376	16%
Transporte	512	6%	0	0%	512	6%
Exceso de movimiento	0	0%	0	0%	0	0%
Sobre producción.	0	0%	0	0%	0	0%
Defectos	0	0%	0	0%	0	0%
Habilidades	0	0%	0	0%	0	0%
Total	8677	100%	0	0%	8677	100%

Fuente: Autor, 2024.

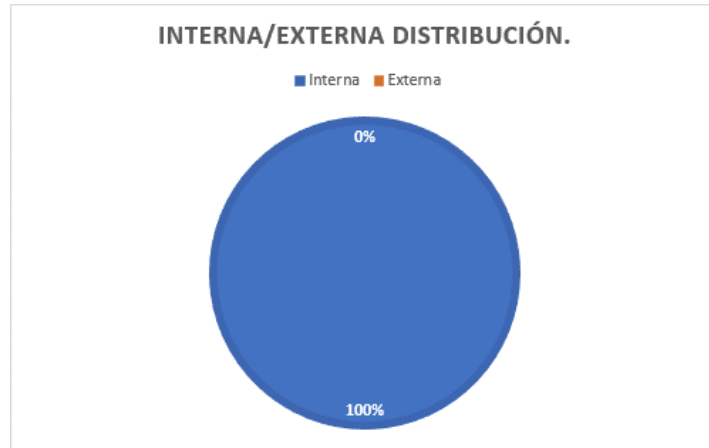
En cuanto a la cantidad de tiempo según cada actividad, se obtiene un total de 8677 segundos. Estos tiempos son con el proceso actual de la compañía y al evaluar los tres factores que más afectan la disponibilidad en el OEE del área.

- **Etapa 2. Separar operaciones en internas y externas**

Esta etapa consiste en clasificar las operaciones que se ejecutan con la máquina en marcha (externas) y con la máquina detenida (internas).

Por consiguiente, se utiliza la descripción del proceso dado por la compañía; de esta manera, se puede definir el estado actual del proceso.

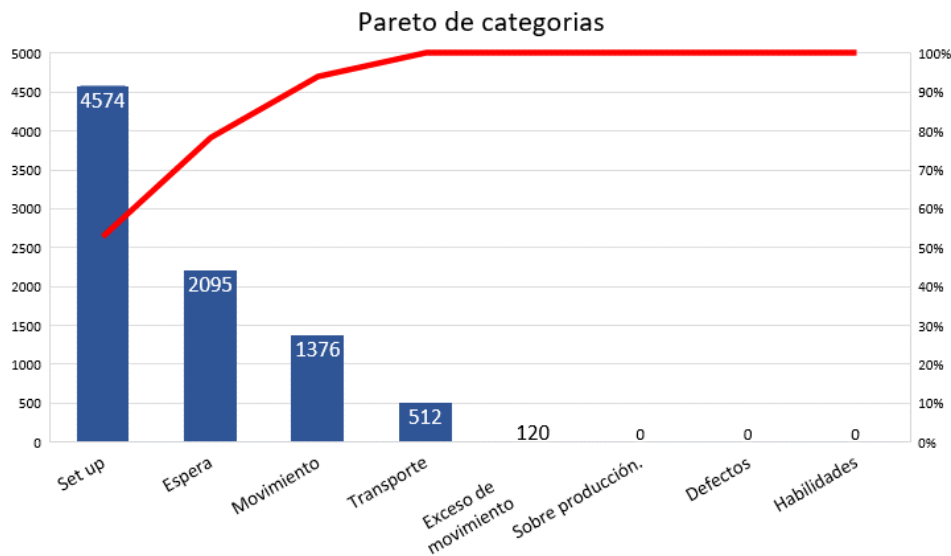
Figura 4.11: Distribución actual de las actividades internas y externas



Fuente: Autor, 2024.

Actualmente todas las actividades son internas, por lo cual se realizan con la máquina detenida.

Figura 4.12: Gráfico de distribución de las categorías internas



Fuente: Autor, 2024.

El análisis de Pareto de las categorías internas indica los factores que más tiempo detienen las máquinas, es decir: *setup* (53 %) y *espera* (24 %). Estos problemas equivalen a un 78 % del acumulado del problema; de este modo, realizar todas estas tareas con las máquinas detenidas tiene un gran impacto.

Herramientas necesarias para ejecutar las tareas

Ahora bien, se busca la cantidad de herramientas y aditamentos necesarios para llevar a cabo las actividades de cambio de herramientas, cambio de barras y *setup*. En relación con esto, para la ejecución de estas tareas, se requiere solo un mecánico, quien se encuentra en la máquina trabajando:

Tabla 4.8: Herramientas necesarias para ejecutar las tareas

Herramienta requerida	Cantidad	Disponible
Llave corona 21 mm	1	1
Llave corona 19 mm	1	1
Llave corona 17 mm	1	1
Llave corona 12 mm	1	1
Llave corona 11 mm	1	0
Llave corona 7 mm	1	0
Llaves Allen 5 mm	1	0
Llaves Allen 4 mm	2	0
Llaves Allen 3 mm	3	0
Llaves Allen 3/16	2	0
Llaves Allen 1/4	2	0
Llaves T10	4	1
Llaves T15	4	0
Alicate de seguridad	1	1
Desatornillador plano	1	1
Aditamento G2312	10	4
Aditamento H0025	10	4
Aditamento G0023	10	3
Aditamento H12-445221	10	10
Aditamento SSK-235	10	5
Aditamento HSS-E213	10	0
Total	86	33

Fuente: Autor, 2024.

En la tabla 4.7 se indican las herramientas y cantidades requeridas para la ejecución de las tareas en el área. Así, se requieren 86 partes entre herramientas y aditamentos para

todas las máquinas, sin embargo, solamente se cuenta con 33 partes, por lo cual se observa el gran impacto de efectuar todas estas tareas.

4.3 ANALIZAR

En esta etapa se llega a las posibles causas raíz del actual problema mediante diferentes herramientas ingenieriles y un grupo de trabajo experto en el proceso de manufactura del producto Catalyft.

4.3.1 Lluvia de ideas

Con base en los datos anteriores, se reúnen ocho personas para dar más contexto a lo que se realiza cuando se detiene la máquina. En esta reunión, se cuenta con la presencia de dos ingenieros de producción, un ingeniero de calidad, el supervisor de producción, tres mecánicos del área y el gerente de manufactura. De esta manera, se lleva a cabo una lluvia de ideas con puntos de vista diversos al haber un equipo conformado por personal de distintas áreas funcionales.

Tabla 4.9: Factores por los que las máquinas se detienen

<i>Ideas</i>
Falta de herramientas.
Procedimientos no son claros.
Falta de partes para el set up
Personal con poco conocimiento.
Ajustes incorrectos.
Ejecuciones diferentes.
Falta de mantenimiento preventivo.
Mala ejecución
Métodos manuales.
Rotación de personal.
Mala de distribución de la planta.
Exceso de distracciones.
Diferentes tipos de ajustes.
Comunicación "Planning-Producción".
Falta de seguimiento en los tiempos.
Falta de planificación.

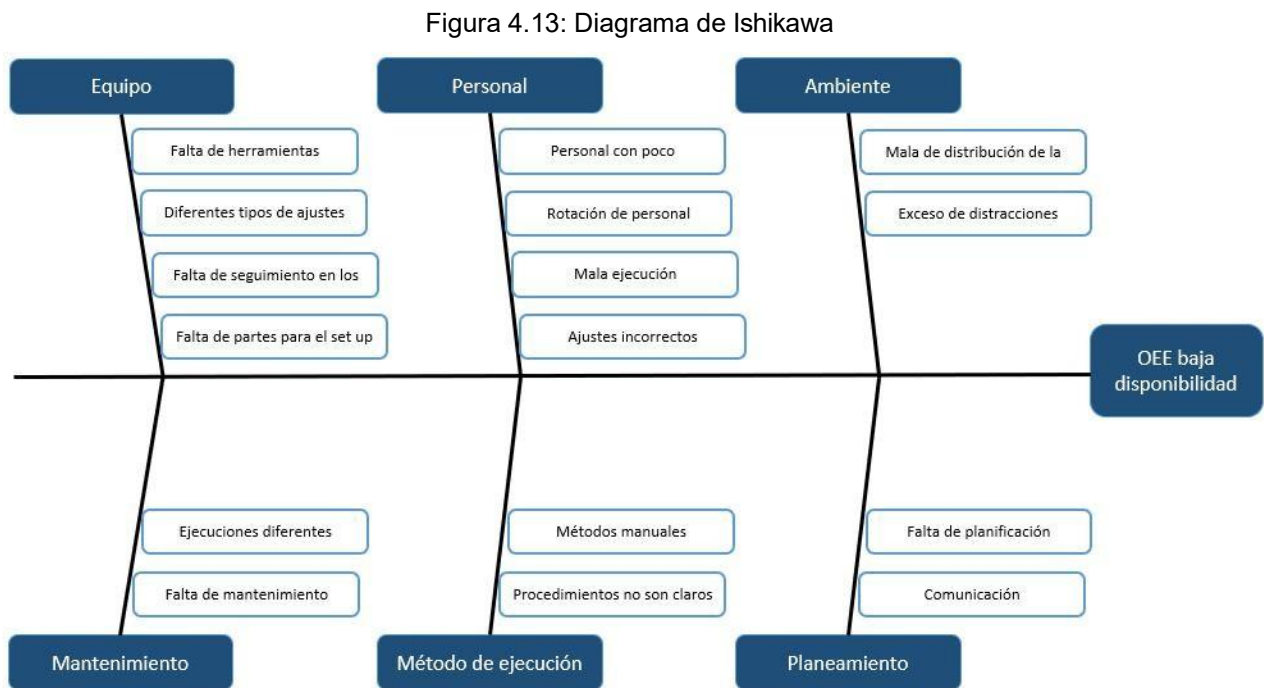
Fuente: Autor, 2024.

Así, se obtienen 16 causas posibles para el actual problema relacionado con la baja disponibilidad del OEE. Seguidamente, de acuerdo con la tabla 4.9, se toman las ideas

propuestas por los participantes de la sesión y se le otorga una clasificación a cada una por medio del diagrama de Ishikawa.

4.3.2 Diagrama de Ishikawa

Una vez creada la lluvia de ideas, con la información recolectada se elabora un diagrama de Ishikawa con las posibles causantes de la baja disponibilidad del OEE, las cuales se agrupan en las siguientes categorías: equipo, personal, ambiente, mantenimiento, método de ejecución y planeamiento de metas (según aplique). En la figura 4.13 se muestran las principales causas:



Fuente: Autor, 2024.

A continuación, se detallan las causas a partir de cada categoría.

- **Equipo**

Faltan herramientas para remover las partes de la máquina que requieren cambios, ya sea por desgaste o vida útil. Además, cada máquina tiene diferentes tipos de ajustes por lo cual se tarda más dependiendo del ajuste por realizar. En cuanto a esto, herramientas como las cuchillas solo se quitan y se colocan las nuevas, asimismo se

ajustan en un solo eje mientras que las herramientas vivas se ajustan en cuatro o cinco ejes, por lo tanto, la dificultad provoca que se dure más efectuando el ajuste.

Por otra parte, hay una falta de seguimiento de los tiempos de cambio, actualmente no se han estado midiendo por lo que se tiene bastante diferencia entre cada mecánico; adicional, faltan partes para el *setup*.

Los aditamentos de la máquina se deben compartir con otros productos dependiendo del producto que se fabrica, por lo cual no son específicos para cada máquina. En caso de daño o deterioro de los aditamentos, se deben revisar los defectuosos hasta encontrar alguno que esté lo suficientemente aceptable para que la unidad pueda salir dentro de las especificaciones.

- Personal

Personal con poco conocimiento debido a ser un producto nuevo en la empresa. Al respecto, la gerencia tomó la decisión de contratar colaboradores recién graduados del colegio y ubicar una persona con experiencia por turno para tratar de equilibrar la falta de conocimiento.

Por otro lado, la rotación de personal, según el Departamento de Recursos Humanos, es bastante alta, ya que los mecánicos adquieren la experiencia y buscan otros lugares para trabajar por diferentes motivos. Asimismo, por la mala ejecución en los montajes de herramientas y ajustes incorrectos en los ejes *offset* de las herramientas.

- Ambiente

Mala distribución de la planta. El diseño de la planta no ayuda al personal a encontrar herramientas ni materiales, pues se está en un área en crecimiento, por lo que hay barricadas que provocan rodearlas para llegar a la bodega de herramientas y se tiene un exceso de distracciones porque el personal observa las labores que se están realizando para los siguientes proyectos.

- Mantenimiento

Falta de mantenimientos preventivos, o sea, no se cuenta con un plan robusto de mantenimientos para evitar que los aditamentos se dañen; adicional, las ejecuciones de los técnicos son distintas según el turno en que se realizan.

- Método de ejecución

Los procedimientos no son claros, por esto no son fáciles de seguir; así, los mecánicos efectúan los cambios de herramientas como ellos creen que es mejor y utilizan métodos manuales. Consecuencia de lo expuesto, hay mucha diferencia de un mecánico a otro, debido a su experiencia, fuerza o conocimiento.

- Planeamiento

La comunicación *planning*-producción no es la adecuada. En cuanto a esto, el supervisor indica que en “Tier 2” de manera diaria las metas de producción se cambian sin previo aviso, por esto se deben hacer cambios no planificados en las máquinas de una forma rápida para no afectar la demanda colocada ese día, la cual para el cierre de semana puede que cambie, por esto en varias ocasiones hay excesos de inventarios.

4.3.3 Multivotación

Enseguida, con la información colocada por categoría, se realiza un multivoto con los expertos del área: gerente de producción, ingeniero de mejora continua (OPEX), ingeniero de procesos, ingeniero de calidad y supervisor de producción, con el fin de darles peso a las ideas propuestas en la lluvia de ideas y en el diagrama de Ishikawa.

Tabla 4.10: Valores para el análisis de la multivotación

Puntaje	Valor
9	Muy significativa
6	Significativa
3	Poco significativa
0	Insignificante

Fuente: Autor, 2024.

Los participantes proceden a calificar cada idea según los valores de la tabla 4.10, de acuerdo con su criterio técnico y la afectación que se tiene en el área:

Tabla 4.11: Tabla de multivoto

Causas	Gerente de producción	Ingeniero de mejora continua	Ingeniero de procesos	Ingeniero de calidad	Supervisor de producción	Total de puntos
Falta de herramientas.	9	9	9	9	9	45
Procedimientos no son claros.	9	9	6	9	9	42
Falta de partes para el set up	9	6	9	6	9	39
Personal con poco conocimiento.	9	9	6	6	6	36
Ajustes incorrectos.	3	3	6	3	6	21
Ejecuciones diferentes.	0	3	0	3	0	6
Falta de mantenimiento preventivo.	0	3	3	0	0	6
Métodos manuales.	3	0	0	0	3	6
Mala ejecución	3	3	0	0	0	6
Rotación de personal.	0	3	0	0	0	3
Comunicación "Planning-Producción".	0	0	3	0	0	3
Diferentes tipos de ajustes.	0	0	0	0	3	3
Mala de distribución de la planta.	0	3	0	0	0	3
Exceso de distracciones.	0	3	0	0	0	3
Falta de planificación.	0	0	0	0	0	0
Falta de seguimiento en los tiempos.	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor, 2024.

Con base en la clasificación hecha, se obtienen cinco causas asignables a la baja disponibilidad del OEE en el área de Catalyft:

- Falta de herramientas.
- Procedimientos no claros.
- Faltan partes para el *setup*.
- Personal con poco conocimiento.
- Ajustes incorrectos.

4.3.4 Diagrama de Pareto

A partir de la multivotación, se obtienen los siguientes resultados:

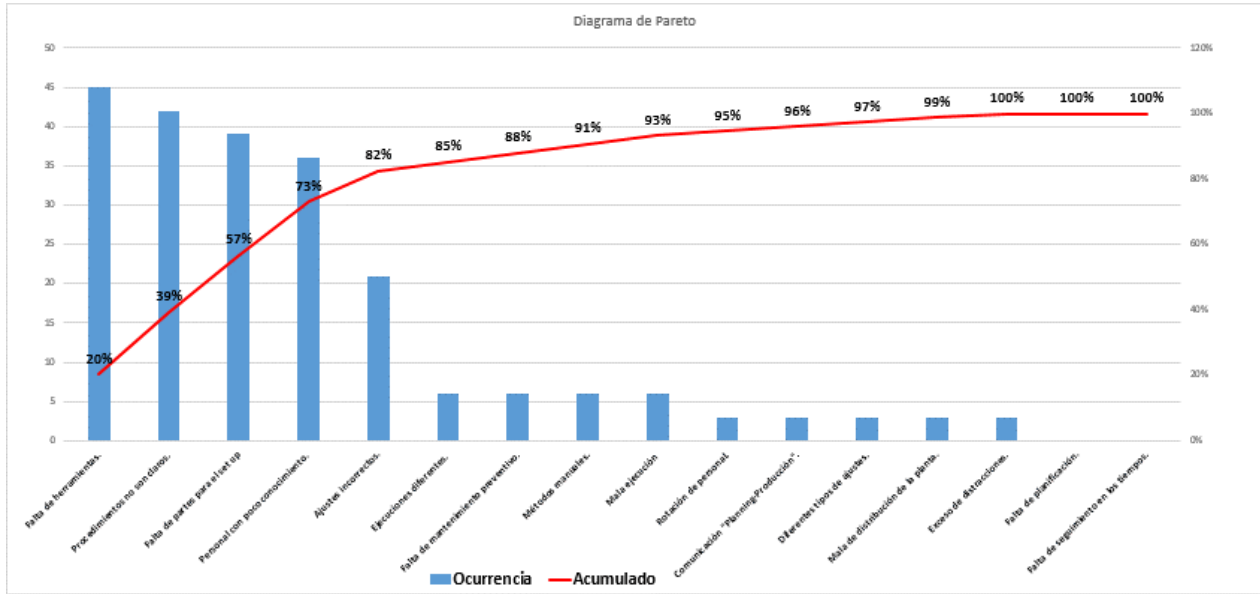
Tabla 4.12: Resumen-diagrama de Pareto-causas

<i>Causas que afectan disponibilidad</i>	<i>Ocurrencia</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Acumulado</i>
Falta de herramientas.	45	20%	20%
Procedimientos no son claros.	42	19%	39%
Falta de partes para el set up	39	18%	57%
Personal con poco conocimiento.	36	16%	73%
Ajustes incorrectos.	21	9%	82%
Ejecuciones diferentes.	6	3%	85%
Falta de mantenimiento preventivo.	6	3%	88%
Métodos manuales.	6	3%	91%
Mala ejecución	6	3%	93%
Rotación de personal.	3	1%	95%
Comunicación "Planning-Producción".	3	1%	96%
Diferentes tipos de ajustes.	3	1%	97%
Mala de distribución de la planta.	3	1%	99%
Exceso de distracciones.	3	1%	100%
Falta de planificación.	0	0%	100%
Falta de seguimiento en los tiempos.	0	0%	100%
Total	222	100%	

Fuente: Autor, 2024.

Se elabora un gráfico de Pareto con los datos obtenidos en la votación anterior, con el objetivo de identificar las principales causas donde el 80 % de las consecuencias provienen del 20 % de las causas.

Figura 4.14: Diagrama de Pareto para las causas del OEE con baja disponibilidad



Fuente: Autor, 2024.

Como se muestra en la gráfica anterior, se determinan las causas principales:

- Con una frecuencia de 20 %, falta de herramientas.
- Con una frecuencia de 19 %, procedimientos no claros.
- Con una frecuencia de 18 %, faltan partes para el *setup*.
- Con un 73 % acumulado y una frecuencia relativa de 16 %, personal con poco conocimiento.

De este modo, las anteriores son las cuatro causas más significativas, las cuales representan un 73 %. Estas sirven como base para desarrollar la etapa de optimización de la herramienta SMED.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

Según la información del capítulo anterior, varias causas influyen para que la disponibilidad del proceso de Catalyft sea afectada negativamente.

Algunas de estas causas se pueden atacar a partir de un conjunto de propuestas de mejora, por lo que a continuación se exponen de acuerdo con la prioridad de las causas obtenidas en el capítulo IV.

5.1.1 Propuesta 1: Pizarra de herramientas en el área de Catalyft

En primer lugar, actualmente faltan herramientas para realizar un cambio de las mismas y partes de la máquina, por lo cual se debe solicitar un juego de herramientas al proveedor de las máquinas. Este se compra por consumo en el Tool Boss (sistema de inventarios para herramientas de la compañía). De esta manera, en caso de daño, en el sistema se cuenta con herramientas nuevas, estas van a tener un *stock* con cantidad mínima y máxima que se ajusta dependiendo del consumo histórico y por medio de un sistema de inventarios automático, para luego enviar un correo al Departamento de Ingeniería con las herramientas necesarias por comprar todos los meses, de esta forma siempre se cuenta con herramientas en buen estado.

En segundo lugar, en la empresa MCR Medical hay un área de diseño de plantillas en acrílico y diseño con perfil de aluminio. A esta se le solicita su colaboración con una pizarra de herramientas colocada en un lugar visible, de este modo el diseño de la pizarra es interno y, en caso de que se llegue a dañar por algún imprevisto, la empresa la puede volver a fabricar sin ningún problema.

Este tipo de pizarras de herramientas tiene un tiempo de fabricación de siete horas y su uso no requiere ningún entrenamiento, solo es necesario un comunicado a los usuarios acerca de su ubicación y qué hacer si alguna herramienta se llega a dañar.

Con el fin de garantizar un buen uso de las herramientas y la pizarra, se debe colocar en un punto estratégico donde pueda ser vista por una cámara de vigilancia para su monitoreo.

Esta propuesta implica un costo de \$ 642 distribuidos de la siguiente manera:

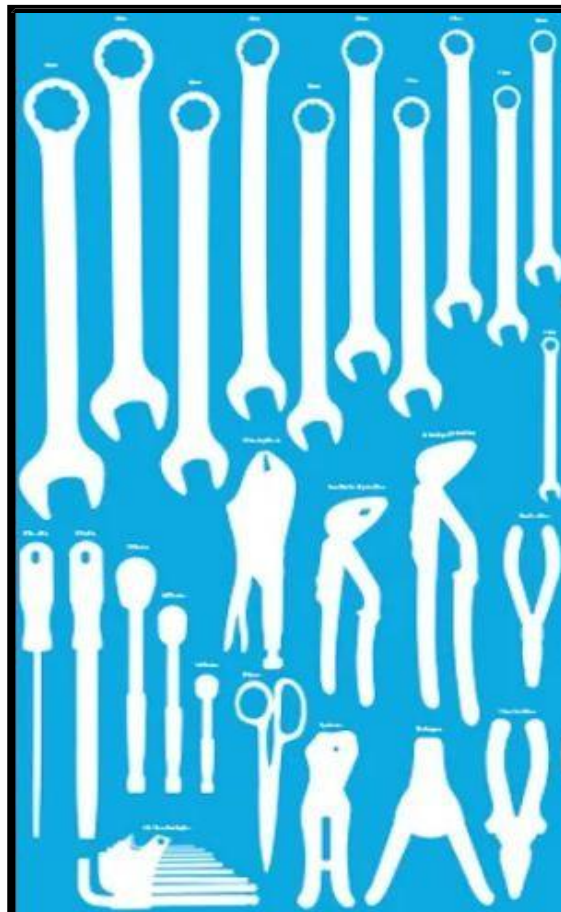
Tabla 5.1: Costo de la propuesta 1

Materiales	Costo
Herramientas	\$500
Taller de plantillas	\$42
Material pizarra	\$100
Total	\$642

Fuente: Autor, 2024.

Se utilizan los precios proporcionados por la compañía, en específico el Departamento de Ingeniería y Recursos Humanos: juego de herramientas \$ 500; taller de plantillas \$ 6 por hora de la persona encargada de diseñar y armar la pizarra de herramientas, para un total de \$ 42, y el acrílico, pegamento y tornillos requeridos para la fabricación \$ 100.

Figura 5.1: Pizarra de herramientas para el área de Catalyft



Fuente: Autor, 2024.

5.1.2 Propuesta 2: Actualización de los procedimientos

Los procedimientos del área de Catalyft necesitan una actualización para ser clarificados ya que, según el Departamento de Ingeniería, la transferencia se realizó de una manera espejo en la parte de procedimientos, por lo cual estos no se encuentran actualizados a la actualidad de la compañía en Costa Rica. Al respecto, se recomienda que la clarificación la efectúe el líder del área, supervisor y usuarios de los mismos para que estén acoplados a la realidad actual de la compañía.

Se deben clarificar los procedimientos de *setup*, ajustes y herramientas, por lo tanto, se cuenta con un total de nueve procedimientos y se invierten cuatro horas al día durante doce días para un total de cuarenta y ocho horas; de esta forma se abarcan todos los procedimientos por parte del supervisor o líder.

Por otro lado, el Departamento de Ingeniería debe invertir dos horas al día durante dieciséis días para un total de treinta y dos horas, con el propósito de modificar y aprobar todos los cambios en los procedimientos. Además, para realizar el entrenamiento del personal, se necesitan dos horas al día durante ocho días para un total de dieciséis horas por parte del supervisor o líder, con la finalidad de abarcar todos los turnos.

Esta propuesta tiene un costo de \$ 832, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 5.2: Costo de la propuesta 2

Personal	Costo
Supervisor/Líder	\$512
Ingeniería	\$320
Total	\$832

Fuente: Autor, 2024.

En cuanto a lo expuesto, se utilizan los precios proporcionados por la compañía, en específico el Departamento de Recursos Humanos: hora promedio del supervisor o líder (\$ 8) para primero modificar los entrenamientos y luego llevarlos a cabo, correspondiente a un total de \$ 512. Adicional, se requiere que el Departamento de Ingeniería revise y someta los procedimientos, lo cual implica treinta y dos horas por el precio promedio de los ingenieros (\$ 10), para un total de \$ 320.

Tabla 5.4: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos (factores del 1 al 46)

Paso	Tarea	Tipo	Categoría	Duración (s)
1	Buscar llaves	E	Set up	250
2	Quitar herramienta	I	Set up	180
3	Buscar Alcohol	E	Movimiento	90
4	Buscar servilletas	E	Movimiento	60
5	Limpieza de posición de herramienta.	I	Set up	60
6	Caminar al Tool Boss	E	Transporte	180
7	Abrir la computadora para buscar MT	E	Set up	60
8	Sacar herramienta del Tool Boss	E	Espera	60
9	Caminar a la máquina	E	Transporte	180
10	Colocar herramienta nueva	I	Set up	320
11	Limpiar llaves	E	Movimiento	60
12	Devolver llaves	E	Movimiento	250
13	Proceder realizar la primer pieza	I	Set up	10
14	Esperar la primer pieza	I	Espera	385
15	Sacar la pieza de la bandeja	I	Espera	10
16	ingresarla en alcohol y soplar la pieza	I	Espera	10
17	Caminar a la CMM	I	Transporte	10
18	Encaminar la pieza al fixture de la CMM	I	Set up	1
19	Colocar la pieza en el Fixture	I	Set up	30
20	Colocar los datos en la CMM	I	Set up	9
21	Medir la pieza en la CMM	I	Espera	30
22	Volver a la estación de trabajo	I	Transporte	15
23	Ajustar maquina	E	Set up	300
24	Realizar Track out.	E	Set up	60
25	Mover el lote al rack.	E	Transporte	52
26	Colocar la bolsa.	E	Set up	20
27	Abrir el rack.	E	Set up	3
28	Ingresar el lote al rack.	E	Set up	4
29	Cerrar el rack.	E	Set up	3
30	Buscar al líder y solicitar el lote.	E	Movimiento	18
31	Buscar la computadora.	E	Movimiento	10
32	Ingresar a SAP.	E	Set up	53
33	Despachar el lote de SAP.	E	Set up	56
34	Ingresar a MES.	E	Set up	8
35	Buscar el lote en MES.	E	Set up	72
36	Despachar el lote de MES.	E	Set up	10
37	Imprimir el lote.	E	Set up	60
38	Imprimir las etiquetas.	E	Set up	30
39	Recoger el info sheet a la impresora más cercana.	E	Movimiento	34
40	Recoger las etiquetas a la impresora	E	Movimiento	30
41	Buscar la Funda.	E	Movimiento	64
42	Regresar a la estación de trabajo.	E	Transporte	15
43	Tomar el escáner inalámbrico.	I	Set up	2
44	Realizar Set Up.	I	Set up	475
45	Tomar las bandejas.	E	Set up	10
46	Regresar a la estación de trabajo	E	Transporte	10

Fuente: Autor, 2024.

Tabla 5.5: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos (factores del 47 al 93)

Paso	Tarea	Tipo	Categoría	Duración (s)
47	Colocar las etiquetas en la bandeja.	E	Set up	10
48	Verificar las etiquetas con el Info Sheet.	E	Set up	10
49	Ingresar a la computadora de la estación.	E	Set up	30
50	Ingresar a Track in en MES.	E	Set up	10
51	Identificar los bins de transporte.	E	Set up	170
52	Buscar a un compañero para realizar el despeje de línea.	E	Movimiento	30
53	Regresar para realizar el despeje de línea.	E	Movimiento	30
54	Verificar el despeje de línea.	E	Set up	180
55	Proceder a realizar la primer pieza.	E	Set up	10
56	Esperar la primer pieza.	E	Espera	385
57	Sacar la pieza de la bandeja.	E	Set up	10
58	Ingresarla en alcohol y soplar la pieza.	E	Set up	10
59	Medir la pieza en mesa y documentar en MES.	I	Set up	685
60	Buscar los bins de transporte	E	Set up	30
61	Ingresar las piezas ha lavado.	I	Set up	20
62	Esperar las piezas de lavado.	I	Espera	360
63	Mover las piezas a enjuague.	I	Set up	30
64	Esperar las piezas de enjuagado.	I	Espera	360
65	Sacar las piezas y soplar la pieza.	I	Set up	60
66	Caminar al CMM.	I	Transporte	10
67	Sacar la pieza del bin de transporte.	I	Set up	2
68	Encaminar la pieza al fixture de la CMM.	I	Set up	1
69	Colocar la pieza en el Fixture.	I	Set up	30
70	Colocar los datos en la CMM.	I	Set up	10
71	Medir la pieza en la CMM.	I	Set up	30
72	Volver a la estación de trabajo.	I	Transporte	15
73	Buscar llaves	E	Set up	250
74	Quitar remante de barra	I	Set up	180
75	Buscar Alcohol	E	Movimiento	90
76	Buscar servilletas	E	Movimiento	60
77	Limpieza de collet.	I	Set up	60
78	Caminar al warehouse	E	Movimiento	180
79	Solicitar barra	E	Espera	60
80	Caminar a la máquina	E	Movimiento	180
81	Colocar la barra nueva	I	Set up	320
82	Limpiar llaves	E	Movimiento	60
83	Devolver llaves	E	Movimiento	250
84	Esperar la primer pieza	E	Espera	385
85	Sacar la pieza de la bandeja	E	Espera	10
86	ingresarla en alcohol y soplar la pieza	E	Espera	10
87	Caminar a la CMM	E	Transporte	10
88	Encaminar la pieza al fixture de la CMM	E	Set up	1
89	Colocar la pieza en el Fixture	E	Set up	30
90	Colocar los datos en la CMM	E	Set up	9
91	Medir la pieza en la CMM	E	Espera	30
92	Volver a la estación de trabajo	E	Transporte	15
93	Ajustar máquina	E	Set up	300

Fuente: Autor, 2024.

Se efectúa una reunión con los expertos del área, supervisor, líder, ingeniero y gerente de manufactura; de esta manera, ellos toman la decisión de cuáles de los noventa y tres pasos se pueden mover a factores externos, considerando lo crítico de cada proceso.

Al respecto, se evalúan con bastante cautela los pasos que se realizan en *setup*, con el objetivo de identificar los que son previos al proceso de detener la máquina y ejecución del proceso propio de *setup*; de este modo, todo lo necesario para llevar a cabo la tarea se encuentra en el área antes de la ejecución.

Asimismo, se observan los tiempos de espera para determinar los que se pueden aplicar mientras cae la pieza y cuáles tiempos del propio proceso no es posible eliminar por completo. Los movimientos se evalúan, dando como resultado que se pueden efectuar con la máquina corriendo, pues no tienen impacto.

También, se revisan los transportes y se obtiene que la gran mayoría se puede realizar con la máquina trabajando con normalidad. Por su parte, durante la revisión de los factores, se establece que el tiempo con la máquina detenida es menor a lo que tarda una unidad en salir, por esto el gerente indica que es posible asumir poner la máquina a producir mientras se revisa la unidad. Luego de los cambios, en el peor de los casos se obtendrían dos unidades fuera de especificación o, lo más común, unidades dentro de parámetros que requieren un ajuste para llegar a los valores nominales. En cuanto a esto, los ajustes se pueden realizar con la máquina trabajando para así incrementar la producción.

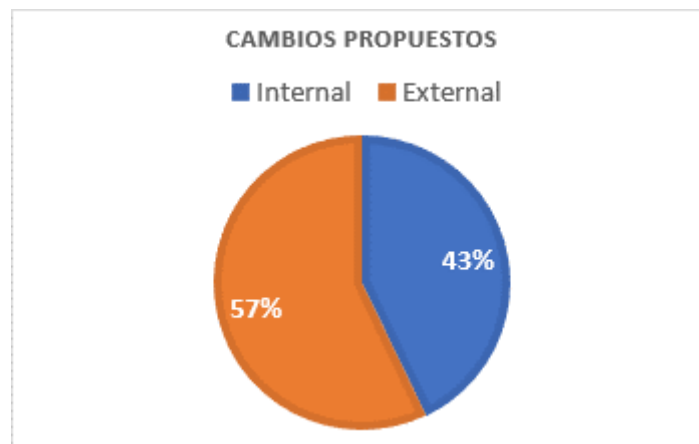
Tabla 5.6: Etapas 3 y 4. Factores internos a externos y optimizar

Cambios Propuestos						
Categoría	Internal	% Int	External	% Ext	Total	% Total
Set up	2515	68%	2059	42%	4574	53%
Espera	1155	31%	940	19%	2095	24%
Movimiento	0	0%	1376	28%	1376	16%
Transporte	50	1%	462	9%	512	6%
Espera	0	0%	120	2%	120	1%
Exceso de movimiento	0	0%	0	0%	0	0%
Sobre producción.	0	0%	0	0%	0	0%
Defectos	0	0%	0	0%	0	0%
Habilidades	0	0%	0	0%	0	0%
Total	3720	100%	4957	100%	8677	100%

Fuente: Autor, 2024.

Según la tabla 4.4, se tienen 8677 segundos en factores internos que se ejecutan con la máquina detenida; mientras, de acuerdo con la tabla 5.6, se pueden mover 4957 segundos a factores externos que se realizan con la máquina corriendo con normalidad y, de esta manera, se dejan 3720 segundos como factores internos.

Figura 5.4: Distribución mejorada de las actividades internas y externas



Fuente: Autor, 2024.

Con la distribución propuesta, se mueve el 57 % de las actividades de internas a externas, por lo cual se efectúan con la máquina corriendo.

5.1.5 Propuesta 5: Entrenamiento a mecánicos para nivelar el conocimiento técnico

Se plantea impartir un entrenamiento a los mecánicos de manufactura en la correcta manera de realizar un *setup*, cambio de herramientas y cambio de barras, ya que en la actualidad no tienen claros todos los pasos al momento de hacerlo y es fundamental porque al saber con claridad qué pasa cuando las máquinas se detienen, se les da un mejor seguimiento a los tiempos de disponibilidad de la máquina.

Por otra parte, se les asigna al supervisor y líder efectuar verificaciones del OEE tres veces al día, para garantizar que el entrenamiento de los mecánicos presenta el impacto deseado con esta métrica.

Con esto se busca crear en el personal una cultura de rendición de cuentas en donde se sienta comprometido a reportar cuando un equipo está siendo afectado; además, se deben refrescar los conocimientos del personal con entrenamientos para garantizar la correcta ejecución de las labores.

Esta propuesta tiene un costo de \$ 240 distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 5.7: Costo de la propuesta 5

Proceso	Costo
Entrenamiento	\$160
Rev OEE	\$80
Total	\$240

Fuente: Autor, 2024.

Se utilizan los precios proporcionados por la compañía, en específico el Departamento de Recursos Humanos: hora promedio del supervisor o líder \$ 8. Al respecto, en cuanto a la realización de los entrenamientos, se deben invertir cinco horas al día durante cuatro días, para un total de veinte horas por parte del líder, mientras el monitoreo del OEE es tres veces al día, es decir, una vez al turno por diez días con una duración de veinte minutos por turno, para un total de diez horas por parte del supervisor o líder; todo corresponde a un total de \$ 240.

A continuación, mediante un diagrama de Gantt, se aprecia cuánto tiempo toma hacer este cambio en el procedimiento:

Figura 5.5: Diagrama de Gantt de la propuesta 5

Acción	Asignado	Progreso	Inicio	Fin	Agosto													
					19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Entrenamiento a los mecánicos de manufactura en la correcta de realizar un “set up”, cambio de herramienta y cambio de barra	Supervisor-Líder	0%	19-ago-24	22-ago-24														
Verificación diaria del OEE	Supervisor-Líder	0%	22-ago-24	30-ago-24														

Fuente: Autor, 2024.

Se cumple el objetivo general del estudio al aumentarse el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 %, que es el indicador más crítico evidenciado en la evaluación.

5.2 CONTROLAR

5.2.1 Estimado de mejoría en el OEE de las máquinas de Catalyft

A continuación, se indica un estimado de la mejoría de las máquinas de Catalyft, suponiendo que con las propuestas de mejora se reduzca a la mitad el tiempo *down* de las máquinas, lo cual equivale a aproximadamente a 600 horas; de esta manera, se obtiene un porcentaje de disponibilidad, pasando de 2760 horas laborales a 3360 horas laborales.

Cabe mencionar que al bajar la cantidad de horas *down* en los equipos, se aumentan las horas totales laborales, de este modo por fórmula al mismo tiempo incrementa el porcentaje de disponibilidad de las máquinas de Catalyft:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas laborales estimadas}}{\text{Tiempo planeado de trabajo}} = \frac{3360}{4032} = 83.4\%$$

Al efectuar un análisis de estos resultados, se determina que si se reduce en una cuarta parte el tiempo *down* actual de las máquinas, se puede aumentar en un 14.9 % la disponibilidad de los equipos.

Seguidamente, se muestran los datos del OEE con el nuevo estimado del porcentaje de disponibilidad calculado:

Disponibilidad: 83.4 %.

Rendimiento: 95.6 %.

Calidad: 100 %.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

$$\text{OEE} = 83.4 \% * 95.6 \% * 100 \% = 79.8 \%$$

Así, se obtiene un OEE estimado del 79.8 %, por lo que aumenta un 14.3 % con respecto al OEE calculado en la situación actual.

Tabla 5.8: Cuadro comparativo con la propuesta de disponibilidad

OEE Actual	OEE Propuesto	Mejora Absoluta	Mejora Porcentual
65,5%	79,8%	14,3%	21,83%

Fuente: Autor, 2024.

De este modo, aumenta un 14.3 % del valor absoluto (mejora porcentual del 21.83 %). Por lo tanto, con las mejoras propuestas, el valor del OEE permite clasificar a la línea de Catalyft, con respecto al nivel de excelencia de clase mundial, en aceptable con un 79.8 %, competitividad ligeramente baja.

Asimismo, el indicador del OEE se utiliza para revisar que las mejoras tengan el efecto deseado por la compañía. En caso de experimentar alguna tendencia a la baja por debajo de 75 %, el supervisor o líder debe indicarle al ingeniero de manufactura con el fin de que determine si es requerido realizar algún refrescamiento del proceso actualizado.

5.2.2 Reuniones de cinco minutos

Con el objetivo de que estas propuestas se controlen de manera correcta, se propone efectuar una reunión diaria en la primera hora del turno liderada por el supervisor del área, con el ingeniero de calidad, el ingeniero de manufactura y el personal de manufactura (mecánicos), donde se muestren las métricas del día anterior, empezando

con los indicadores de seguridad, calidad, productividad y OEE, y se refuercen las mejoras implementadas en el área. Al final se abre un espacio para que las personas con dudas puedan hacerlas y, así, tener en control el área.

La intención con esta reunión es mostrar los indicadores del área e identificar si alguna máquina los aumenta o disminuye en comparación con los días anteriores, para de esta forma encontrar la causa raíz en caso de que exista un incremento en los tiempos reportados.

5.2.3 Caminata Gemba

Como medida de control, los departamentos de Ingeniería de Calidad y Manufactura, con ayuda del gerente de manufactura, llevan a cabo una caminata al día en turnos diferentes; en esta observan que los cambios indicados estén siendo implementados por los técnicos de manufactura.

Por consiguiente, les realizan preguntas a los técnicos sobre los momentos que se deben detener las máquinas durante los *setup*, cambio de herramientas o barras; de esta manera se conoce la efectividad de las acciones implementadas. Si algún mecánico responde de forma incorrecta o se confunde, se le indica al supervisor y líder por correo electrónico para que puedan reforzar el tema de modo grupal e individual.

5.2.4 Plan de implementación

Se propone iniciar todas las mejoras a partir de la segunda semana de agosto, correspondiente al segundo cuarto del año fiscal que se trabaja en la compañía (agosto, septiembre y octubre). Así, se tiene la referencia del primer cuarto del año fiscal (mayo, junio y julio) como el antes del proyecto y a partir del tercer cuarto del año fiscal se observa la mejoría del área.

Figura 5.6: Diagrama de Gantt de la implementación del proyecto

Acción	Asignado	Progreso	Inicio	Fin	Agosto		Septiembre				Octubre	
					Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2
Creacion de pizarra de herramientas	Taller de plantillas	0%	19-ago-24	22-ago-24	■							
"Red lines" de los tres procedimientos de ajustes de Catalyft	Supervisor-Lider	0%	19-ago-24	22-ago-24	■							
"Red lines" de los tres procedimientos de "set up" de Catalyft	Supervisor-Lider	0%	22-ago-24	25-ago-24		■						
"Red lines" de los tres procedimientos de herramientas de Catalyft	Supervisor-Lider	0%	25-ago-24	28-ago-24			■					
Revisar los "red lines" de los procedimientos, ajustes, "set up" y herramientas	Ing Manufactura-Calidad	0%	28-ago-24	4-sep-24			■	■				
Someter los cambios de procedimientos, ajustes, "set up" y herramientas	Ing Manufactura-Calidad	0%	4-sep-24	11-sep-24			■	■				
Entrenar al personal en los procedimientos, ajustes, "set up" y herramientas	Supervisor-Lider	0%	11-sep-24	18-sep-24				■	■			
"Red lines" del procedimiento de mantenimiento	Supervisor-Lider	0%	18-sep-24	22-sep-24					■	■		
Revisar los "red lines" del procedimiento de mantenimiento	Ing Manufactura	0%	22-sep-24	24-sep-24						■		
Someter los cambios del procedimiento de mantenimiento	Ing Manufactura	0%	24-sep-24	27-sep-24						■	■	
Entrenar al personal-Tecnicos de mantenimiento en el procedimiento de mantenimiento	Supervisor-Lider	0%	27-sep-24	14-oct-24							■	■
Entrenamiento a los mecánicos de manufactura	Supervisor-Lider	0%	19-ago-24	22-ago-24	■							
Verificación diaria del OEE	Supervisor-Lider	0%	22-ago-24	30-ago-24	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Autor, 2024.

La tabla anterior indica las acciones y responsables de la implementación del proyecto, así como su duración aproximada de dos meses a partir de agosto del presente año.

5.2.5 Análisis costo-beneficio

Según las propuestas hechas con un costo total de \$ 2 078,00, se espera reducir en la mitad el tiempo *down* de las máquinas de Catalyft, pasando de tener 15 264 horas *down* en un periodo de doce meses, a lograr 8064 horas *down*. Con estos datos se establece un ahorro de tiempo *down* de 600 h al mes.

Por otra parte, de acuerdo con las metas de producción, cada máquina debe sacar en aproximado 893 unidades por mes entre todos los productos. Esto es un total de 35 unidades por día y 1.5 unidades por hora.

Al efectuar la multiplicación de las horas que se espera reducir al mes por la cantidad de unidades por hora que se puede producir, se obtiene:

$$\text{Piezas al mes} = 600/\text{mes} * 1.5 \text{ pz/mes} = 900 \text{ pz/mes} / 10 \text{ maq} = 90 \text{ pz/mes}$$

Se determina que es posible producir 900 unidades de más al mes, pues al tener 10 máquinas en el área, equivale a 90 unidades de más por máquina al mes.

Con este dato se procede a establecer también cuánto dinero puede estar recibiendo mensualmente la compañía (\$ 8.9 costo de la unidad maquinada).

Beneficio esperado mensual = 900 * \$ 8.9 = \$ 8 010 Cálculo del C/B

Cálculo del C/B

$$C/B = \frac{\textit{Beneficios}}{\textit{Inversión}} = \frac{8010}{2078} = 3.85$$

Un B/C mayor a 1 significa que el proyecto es rentable.

Retorno de la inversión

$$ROI = \frac{\textit{Inversión}}{\textit{Beneficios}} = \frac{2078}{8010} = 0.26 \text{ meses} = 7.8 \text{ días.}$$

El retorno de la inversión se estima en 7.8 días, aproximadamente.

De este modo, se cumple el objetivo general del estudio al aumentarse el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 %, que es el indicador más crítico evidenciado en la evaluación.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

Fase definir

- Para comprender el estado en que se encontraba la compañía, se realizó un FODA. Al respecto, resaltaron la vanguardia en tecnología y la búsqueda de las necesidades de los pacientes como las fortalezas, el crecimiento del mercado y el proceso de expansión en campos emergentes como las oportunidades, los costos elevados en el desarrollo de nuevas tecnologías y la falta de conocimiento especializado que afectan los procesos como las debilidades, y las regulaciones cambiantes y la competencia global como las amenazas.
- En el análisis de partes interesadas, se entendió que el impacto del proyecto va más allá de las partes involucradas internas, pues la planta de Costa Rica es un punto clave en la reducción de costos por la gran mano de obra calificada a bajo costo.
- Con relación al árbol de CTQ, el requisito de desempeño que la compañía no está cumpliendo se asocia con el “*driver* eficiencia”, específicamente “cumplimiento de la demanda”. De este modo, se identificó que existe una discrepancia entre las expectativas del cliente y la capacidad de la empresa para satisfacer la demanda de manera oportuna y eficiente.
- El OEE se compone de tres factores: disponibilidad, rendimiento y calidad. Ahora bien, con la revisión en la planta de producción de MCR Medical, se observó que el área de Catalyft presenta el OEE más bajo.
- Además, el análisis de Pareto por costo del producto ofreció una visión clara del alto costo que tiene el producto de Catalyft para la compañía.
- Por su parte, el diagrama de SIPOC permitió conocer con claridad todo el proceso productivo de Catalyft: las unidades son fabricadas y empaçadas, para al final tener las órdenes de producción listas, lo cual resulta en producto exportado al centro de distribución.

- En cuanto al diagrama de flujo, se definió la parte de maquinado como la problemática en el proceso de fabricación en la línea de Catalyft.
- Por último, el *project charter* del proyecto describió con detalle qué se hace, dónde se realiza el trabajo, quién es el gerente a cargo del proyecto y quiénes son los demás participantes que aportan su conocimiento en la elaboración de cada una de las etapas.

Fase medir

- Referente al OEE del año 2023, se describió en detalle el estado del área, obteniendo un OEE de 65.5 %. Al respecto, el área se encuentra en regular a nivel OEE de clase mundial, por lo que genera pérdidas económicas.
- En cuanto a los factores reportados en el OEE, se determinaron los más influyentes que afectan el área de Catalyft en la planta de producción de MCR Medical, a saber: herramientas (20 %), *setup* (13 %) y cambio de filtro (12 %); estos problemas equivalen a un 45 % del acumulado del problema.
- Con relación al SMED, se identificaron los factores internos y externos. Esto arrojó como resultado que el 100 % de los factores son internos. De esta forma, se definió cuáles detienen las máquinas por más tiempo: *setup* (53 %) y espera (24 %), problemas que equivalen a un 78 % del acumulado del problema.

Fase analizar

- Respecto a la lluvia de ideas, se obtuvieron 16 causas posibles para el actual problema relacionado con la baja disponibilidad del OEE.
- En el diagrama de Ishikawa, se agruparon las posibles causantes y más contribuyentes de la baja disponibilidad del OEE.
- En cuanto a la multivotación, con base en la clasificación realizada, se obtuvieron cinco causas asignables a la baja disponibilidad del OEE:
 - I. Falta de herramientas.
 - II. Procedimientos no claros.
 - III. Faltan partes para el *setup*.
 - IV. Personal con poco conocimiento.

V. Ajustes incorrectos.

- Finalmente, en el diagrama de Pareto, se determinaron las causas principales: falta de herramientas (20 %), procedimientos no claros (19 %), faltan partes para el *setup* (18 %) y personal con poco conocimiento (16 %).

Fase mejorar

Se formularon cinco propuestas de mejora para el proceso de Catalyft:

- Propuesta 1: implementar una pizarra con las herramientas requeridas en la intervención de una máquina, lo cual tiene un costo de \$ 642.
- Propuesta 2: actualización de los procedimientos de *setup*, ajustes y herramientas, para que estén acordes a la actualidad de la compañía. Lo expuesto implica un costo de \$ 832.
- Propuesta 3: modificar el procedimiento de mantenimiento de cada cuatro semanas, para alinearlos con los requerimientos de las máquinas, correspondiente a un costo de \$ 364.
- Propuesta 4: SMED, es decir, mover factores internos que se ejecutan con la máquina detenida a factores externos, para realizarlos mientras la máquina se encuentra corriendo con normalidad. Esta propuesta no tiene ningún costo ya que se relaciona a la distribución de los procesos.
- Propuesta 5: entrenamiento a los mecánicos para nivelar el conocimiento técnico, de esta manera se garantiza que lleven a cabo sus tareas de modo más estándar y rápido, y se revise la efectividad con el OEE. Lo anterior implica un costo de \$ 240.

Fase controlar

- En cuanto al OEE, se estimó una mejoría con la implementación de las propuestas, aumentando en 14.3 % del valor absoluto, equivalente a 21.83 % de mejora porcentual. Así, el OEE pasa a 79.8%, lo que ubica al área en aceptable.
- Se estableció efectuar reuniones diarias de cinco minutos con el personal del área para lograr una visión más clara de cómo se está trabajando en las máquinas y, en caso de experimentar algún problema, encontrar la causa raíz a tiempo.

- Se planteó realizar caminatas *gemba* por parte de los ingenieros y el gerente para revisar la efectividad de las mejoras y, en caso de hallar algún problema, notificar por correo al supervisor y líder.
- Se formuló un plan de implementación de las mejoras para el segundo cuarto del año fiscal (agosto, septiembre y octubre), con una duración aproximada de dos meses.
- Se hizo el análisis costo-beneficio del proyecto y como resultado se determinó que es rentable y el retorno de la inversión implica 7.8 días, aproximadamente.

Sí se logró el objetivo general del estudio al aumentar el cumplimiento de las máquinas en al menos un 10 %, que es el indicador más crítico evidenciado en la evaluación.

Recomendaciones

- Mejorar el sistema de entrenamiento para el personal de nuevo ingreso, ya que no hay un tiempo definido para la realización del mismo ni una manera de cómo medir la efectividad de los entrenamientos.
- Una vez implementado el proyecto, efectuar un estudio de tiempos y calcular nuevamente el OEE en el área de Catalyft, para verificar que las estimaciones se hayan cumplido.
- Se recomienda a la empresa garantizar que los mecánicos dispongan de todas las herramientas necesarias a su alcance, con el fin de ejecutar los cambios de manera más eficiente.
- Implementar un 5S (clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina) en el área de trabajo para reducir los movimientos innecesarios, eliminar desperdicios y aumentar la productividad.
- Realizar un análisis para determinar la capacidad real de las máquinas y, a partir de este, aumentar o disminuir la cantidad de máquinas por trabajar por mes, esto permitiría maximizar la capacidad productiva del departamento y evitar un mal uso de los recursos.

REFERENCIAS

Libros

Aiken, L. (2003). *Tests psicológicos y evaluación*. (11° ed.). México: Pearson Education.

De La Vara, R. y Gutiérrez, H. (2009). *Control estadístico de calidad y Seis Sigma*. México: McGraw Hill.

Greeff, G. y Ghoshal, R. (2004). *Practical E-Manufacturing and Supply Chain Management*. España: Elsevier.

Gutiérrez, H. (2010). *Calidad total y productividad*. México: McGraw-Hill.

Hafey, R. (2017). *Lean Safety gemba walks: una metodología para la participación de la fuerza laboral y el cambio cultural*. Productivity Press.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

Howell, M. y Alshakhshir, F. (2017). *Energy Centered Maintenance: A Green Maintenance System*. Estados Unidos: Fairmont Press.

Kubiak, T. y Benbow, D. (2017). *The Certified Six Sigma Black Belt Handbook*. (3° ed.). Puerto Rico: Asq Pr.

Magoon, O., Noble, R., Treadwell, D. y Kim, Y. (2011). *Coastal Engineering Practice: Proceedings of the 2011 Conference on Coastal Engineering Practice*. Estados Unidos: American Society of Civil Engineers (ASCE).

Matthews, K., Kniel, K. y Montville, T. (2017). *Food Microbiology: An Introduction*. (4° ed.). Estados Unidos: American Society for Microbiology (ASM).

McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. y Gupta, P. (2004). *Six Sigma black belt handbook*. México: McGraw Hill.

Munro, R., Ramu, G. y Zrymiak, D. (2015). *The Certified Six Sigma Green Belt Handbook*. (2° ed.). Estados Unidos: American Society for Quality (ASQ).

Niebel, B. y Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. (12° ed.). México: McGraw Hill Educación.

Ocampo, J. y Pavón, A. (23-25 de julio de 2012). *Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la simulación de eventos discretos en Flexsim*. Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Panamá.

Petruska, R. (2012). *Gemba Walks for Service Excellence: The Step-by-Step Guide for Identifying Service Delighters*. CRC Press.

Rose, K. (2008). *Gestión de calidad de proyectos*. Colombia: Panamericana.

Ruiz, A. y Rojas, F. (2009). *Herramientas de calidad*. España: Universidad Pontificia Comillas.

Rustom, A. (2012). *Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia*. Chile: Universidad de Chile.

Yam, K. (2009). *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. (3° ed.). Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Proyectos de investigación

Álvarez, A. (2013). *Control de calidad como una herramienta administrativa para el mejoramiento de los procesos en la fabricación de carrocerías de madera, en la*

ciudad de Quetzaltenango. [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/01/01/Alvarez-Amalia.pdf>

Astúa, Y. (2018). *Reducción del tiempo en el cambio de molde segmentado mediante el método DMAIC y la herramienta SMED en la empresa Bridgestone Costa Rica, en el periodo de enero hasta agosto del 2018*. [Trabajo final de graduación para optar por la Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en Mejora Continua, Universidad Latina de Costa Rica]. Recuperado de https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/867/1/TFG_Ulatina_Yustin_Astua_Bermudez.pdf

Champa, J. P. (2017). *Aplicación de estudio del trabajo para mejorar la productividad en el área de producción de pintura en la empresa Resinas Sintéticas y Derivados S. A., San Martín de Porres, 2017*. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad César Vallejo]. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21884/Champa_CJ_P-SD.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Flores, C. (2015). *Análisis del desgaste progresivo en la herramienta de maquinado utilizando la ecuación de Taylor*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7626/tesis.pdf>

Gamboa, Y. (2020) *Propuestas de mejoras para la reducción del tiempo de cambio de papel en las máquinas A-07, A-08 y T'S ubicadas en el Focus Factory SCD*. [Proyecto de graduación para optar por la Licenciatura en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/12242>

Jiménez, M. (2019). *Propuestas de mejora de la línea dos de empaque del focus factory diálisis para la reducción de tiempos de cambio de lote*. [Proyecto de graduación para optar por la Licenciatura en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14554/TFSC1562_BIB296434_TFG_PI_Jim%c3%a9nez-Badilla%2c%20Michelle%20Fernanda_2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y

López, D. (2020). *Evaluación y mejora en la eficiencia del producto MAS G5 Head 5.0/6.0 en la empresa Medtronic Medical Costa Rica*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Central].

Melgar, M. y Tipacti, M. (2019). *Mejora de la productividad y reducción de costos en una empresa productora de moldes de Panetón de Lima metropolitana*. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Autónoma de México]. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2792>

Ovalle, O. (2021). *Propuesta de mejora para la reducción de scrap en la producción de sacos de polipropileno mediante la aplicación del modelo DMAIC*. [Proyecto técnico para optar por el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador]. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20501/1/UPS-GT003276.pdf>

Fuentes de Internet

Agencia Kapei. (s.f.). *¿Qué es brainwriting y cómo usarlo en tu negocio?* Recuperado de <https://rank.pe/marketing/que-es-brainwriting/>

Arrieta, J. (2007). Interacción y conexiones entre las técnicas 5s, SMED y poka yoke en procesos de mejoramiento continuo. *Tecnura*, 10(20), 139-148. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2570/257021012012.pdf>

Carrizo, A. y Campos, G. (2011). Intercambio de un minuto de un solo dado: implementación de un estudio de caso. *Journal of Technology Management & Innovation*, 6, 129-146. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242011000100011

Course Hero. (2020). *Project charter template*. Recuperado de <https://www.coursehero.com/tutors-problems/Project-Management/34333598-think-and-suggest-of-a-certain-project-and-1-Provide-its/>

Crece Negocios. (2023). *¿Cómo hacer el análisis costo-beneficio?* Recuperado de <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>

Grégorie, P. (2023). *Análisis de los grupos de interés: definiciones, herramientas y técnicas*. Recuperado de <https://www.boreal-is.com/es/blog/analisis-de-grupos-de-interes/>

Hernández, J. C. (2015) *OEE (Overall Equipment Effectiveness o eficiencia general de los equipos)*. Recuperado de <https://profesorjuanhdez.blogspot.com/2015/03/oeo-overall-equipment-effectiveness-o.html>

Ingeniería de Producción. (2014). *Metodologías para la solución de problemas– aplicación a un restaurante–Perú*. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos97/metodologias-solucion-problemas-aplicacion-restaurante/metodologias-solucion-problemas-aplicacion-restaurante>

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (2009). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Recuperado de <https://www.unit.org.uy/capacitacion/curso/E1>

López, I., Sánchez, F. y García, G. (s.f.). *Implementación del método antierrores: poka yoke*. Recuperado de http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA12_TC.pdf

Lucidchart. (2024a). *El análisis de los stakeholders: cómo hacerlo y por qué es importante*. Recuperado de <https://www.lucidchart.com/blog/es/como-hacer-un-analisis-de-steakholders>

Lucidchart. (2024b). *Qué es un diagrama de flujo*. Recuperado de <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo>

MacNeil, C. (2024) *¿Qué es un diagrama SIPOC? 7 pasos para trazar y comprender los procesos de negocios*. Recuperado de <https://asana.com/es/resources/sipoc-diagram>

Molina, D. (2021). *Project charter: gestiona tu proyecto con un documento clave*, Recuperado de <https://www.iebschool.com/blog/project-charter-gestiona-tu-proyecto-con-un-documento-clave-agile-scrum/>

Pérez, E. y García, C. (2014). Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. *Revista Tecnología En Marcha*, 27(3), 88–106. Recuperado de <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2070>

Prácticas Farmacéuticas. (2014). *Multivotación o voto múltiple*. Recuperado de <https://blogs.ead.unlp.edu.ar/practicafarmaceutica/2014/08/21/multivotacion-o-voto-multiple/>

- Pursell, S. (2023). *Análisis FODA de una empresa: qué es, como se hace y ejemplos*. Recuperado de <https://blog.hubspot.es/marketing/analisis-foda>
- Restrepo, J., Medina, P. y Cruz, E. (2009). Cómo reducir el tiempo de preparación. *Scientia Et Technica*, XV(41), 177-180. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/849/84916680031.pdf>
- Teamleader. (2021). *¿Qué es y para qué sirve un diagrama de Gantt?* Recuperado de <https://www.teamleader.es/blog/diagrama-de-gantt>
- Telescopio. (2019). *Análisis FODA: definición, características, ejemplos*. Recuperado de <https://obgin.net/cursos/wp-content/uploads/2019/10/AnalisisFoda.pdf>
- Teoría General del Sistema. (2010). *Diagramas causales*. Recuperado de <http://teoriageneralsistema.blogspot.com/2010/11/diagramas-causales-un-diagrama-causal.html>
- TuDashboard. (2021). *Gráfica de barras. Características y usos*. Recuperado de <https://tudashboard.com/grafica-de-barras/>
- UNICHROME. (2021). *SIPOC Diagram: A Complete Guide to SIPOC Six Sigma*. Recuperado de <https://unichrone.com/blog/quality-management/sipoc-six-sigma/>
- Westreicher, G. (2020). *Histograma*. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/histograma.html>