

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN LAS LÍNEAS
DE MICRO MAQUINADO LÁSER PARA LA REDUCCIÓN DEL
YIELD EN LA EMPRESA MICROLASER**

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

ESTUDIANTE: ANDRÉS UMAÑA MORA

TUTOR: ING. SHIRLEY MORA VALERIO

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA
MARZO, 2023**

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	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 ANTECEDENTES	5
1.4.1 Antecedentes nacionales	5
1.4.2 Antecedentes internacionales	8
1.5 PROYECCIONES.....	11
1.5.1 Alcances	11
1.5.2 Limitaciones	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	13
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	14
2.1.1 Organigrama	14

2.1.2 Lean Six Sigma	15
2.1.3 Metodología DMAIC.....	16
2.1.4 Análisis FODA.....	18
2.1.5 Lluvia de ideas	19
2.1.6 Diagrama de Ishikawa.....	20
2.1.7 Diagrama SIPOC	21
2.1.8 Diagrama de flujo del proceso.....	22
2.1.9 Diagrama de Pareto	23
2.1.10 Andon.....	24
2.1.11 Diagrama de Gantt.....	25
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	26
2.2.1 Visión/misión	26
2.2.2 Antecedentes históricos	27
2.2.3 Ubicación geográfica.....	28
2.2.4 Estructura organizacional.....	29
2.2.5 Cantidad de empleados	30
2.2.6 Tipos de productos.....	31
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.....	38
3.3.1 Sujetos de información.....	38
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	39
3.5 INSTRUMENTOS.....	41
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	41
3.6.1 Observación	41
3.6.2 Entrevista	42
3.6.3 Registros históricos.....	42
3.6.4 Técnica grupal (reuniones)	42

3.6.5 Recorridos.....	43
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
4.1 DEFINIR.....	45
4.1.1 Análisis FODA.....	46
4.1.2 Matriz de estrategia.....	52
4.1.3 Árbol CTQ.....	56
4.1.4 Diagrama SIPOC.....	58
4.1.5 Diagrama de flujo.....	59
4.2 MEDIR.....	64
4.2.1 Impacto de los procesos actuales.....	65
4.2.2 Descripción del defecto.....	69
4.2.3 Cuantificación económica del defecto crítico.....	71
4.3 ANALIZAR.....	72
4.3.1 Lluvia de ideas.....	72
4.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	75
4.3.3 Multivoto.....	75
4.3.4 Diagrama de Pareto.....	77
CAPÍTULO V. PROPUESTA.....	81
5.1 MEJORAR.....	82
5.1.1 Alternativa de solución 1: Pizarra de estandarización del trabajo (Standar Work).....	82
5.1.1.1 Implementación de la pizarra de estandarización del trabajo (Standar Work).....	87
5.1.2 Alternativa de solución 2: Automatización del cálculo del yield.....	94
5.1.2.1 Implementación de la automatización del cálculo del yield.....	98
5.1.3 Análisis de los datos después de la implementación de las alternativas.....	101
5.2 CONTROLAR.....	103
5.2.1 Reuniones semanales.....	104
5.2.2 Caminatas Gemba.....	105
5.2.3 Auditorías internas.....	106
5.2.4 Cuantificación de los beneficios.....	108

5.2.5 Retorno de la inversión	109
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	114
REFERENCIAS	115
APÉNDICES Y ANEXOS.....	122
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS	123

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área.....	30
Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico.....	40
Tabla 4.1: Diagrama SIPOC de la línea de producción de MicroLaser	58
Tabla 4.2: Costos por defecto Marca Láser.....	71
Tabla 4.3: Tabla de resultados de la lluvia de ideas de la línea de producción de MicroLaser.....	73
Tabla 4.4: Tabla de resultados del multivoto de la línea de producción de MicroLaser.	76
Tabla 4.5: Tabla del multivoto según el porcentaje de peso de la línea de producción de MicroLaser.....	77
Tabla 4.6: Tabla de análisis del diagrama de Pareto de la línea de producción de MicroLaser.....	78
Tabla 5.1: Detalle del costo de la implementación de la pizarra de estandarización de trabajo en 18 líneas de producción.....	86
Tabla 5.2: Tabla de diseño de la estandarización del trabajo para las líneas de producción de MicroLaser	90
Tabla 5.3: Detalle del costo de la implementación de la automatización del cálculo del yield en 18 líneas de producción	97
Tabla 5.4: Tabla de revisión semanal de los equipos láser para las líneas de producción de MicroLaser	104
Tabla 5.5: Costo por el defecto Marca Láser después del aumento de la velocidad en las líneas de producción de la empresa MicroLaser.....	108
Tabla 5.6: Costo por el defecto Marca Láser después de la implementación de las alternativas de mejora	108

FIGURAS

Figura 2.1: Organigrama de una empresa.....	15
Figura 2.2: Ciclo DMAIC	18
Figura 2.3: Análisis FODA	19
Figura 2.4: Diagrama de Ishikawa	21
Figura 2.5: Diagrama SIPOC.....	22
Figura 2.6: Diagrama de flujo del proceso.....	23
Figura 2.7: Diagrama de Pareto	24
Figura 2.8: Ejemplo de Andon	25
Figura 2.9: Ejemplo de un diagrama de Gantt.....	26
Figura 2.10: Mapa satelital de la empresa MicroLaser	29
Figura 2.11: Organigrama de la empresa MicroLaser	30
Figura 2.12: Diagrama de flujo del proceso de MicroLaser	32
Figura 3.1: Metodología DMAIC para la investigación.....	38
Figura 4.1: Análisis FODA de la línea de producción de MicroLaser.....	46
Figura 4.2: Matriz de estrategias de la línea de producción de MicroLaser.....	53
Figura 4.3: Árbol CTQ de la línea de producción de MicroLaser	57
Figura 4.4: Diagrama de flujo de la línea de producción de MicroLaser	60
Figura 4.5: Carrucha de materia prima.....	61
Figura 4.6: Recámara láser y EPD de la máquina.....	62
Figura 4.7: Punto de comparación con la imagen preentrenada	63
Figura 4.8: Ejemplo de un sensor bueno	63
Figura 4.9: Ejemplo de un sensor rechazado	64
Figura 4.10: Gráfico del comportamiento del yield previo a la actualización del software.....	65
Figura 4.11: Porcentaje de contribución de cada defecto.....	66
Figura 4.12: Gráfico de Pareto de defectos	66
Figura 4.13: Gráfico del comportamiento del yield después de la actualización del software.....	67
Figura 4.14: Porcentaje de contribución de cada defecto.....	68

Figura 4.15: Gráfico de Pareto de defectos	68
Figura 4.16: Ejemplo de un sensor bueno	70
Figura 4.17: Ejemplo de un sensor rechazado	70
Figura 4.18: Diagrama de Ishikawa de la línea de producción de MicroLaser	75
Figura 4.19: Diagrama de Pareto de la línea de producción de MicroLaser	79
Figura 5.1: Hoja actual de las líneas de producción de MicroLaser	83
Figura 5.2: Diagrama de Gantt para la implementación de la pizarra de estandarización del trabajo.....	86
Figura 5.3: Sección de verificación del yield hora tras hora	87
Figura 5.4: Diseño final de la tabla de estandarización del trabajo para las líneas de producción de MicroLaser	91
Figura 5.5: Excel utilizado para la entrega de turnos.....	92
Figura 5.6: Excel utilizado para la entrega de turnos.....	93
Figura 5.7: Diagrama de Gantt para la implementación de la automatización del cálculo del yield	98
Figura 5.8: Selección modificada del “5960_OPER_PROGS”	99
Figura 5.9: Selección modificada del “5960 InitializationFile”	100
Figura 5.10: Selección modificada del “5960 InitializationFile”	100
Figura 5.11: Gráfico del comportamiento del yield después de implementadas las mejoras.....	101
Figura 5.12: Porcentaje de contribución de cada defecto.....	102
Figura 5.13: Gráfico de Pareto de los defectos después de las mejoras.....	103
Figura 5.14: Lista de chequeo de la caminata Gemba para las líneas de producción de la empresa MicroLaser	106
Figura 5.15: Lista de verificación para las auditorías de las líneas de producción de la empresa MicroLaser	107
Figura 5.16: Diagrama de Gantt para la implementación de las alternativas de mejora en las líneas de producción de la empresa MicroLaser.....	110

DEDICATORIA

A mi hija, pues desde el primer día que la sostuve entre mis abrazos supe que debía ser la mejor versión de mí y convertirme en un ejemplo para ella. Gracias a todo el amor que me brindaba cada día pude seguir adelante hasta el final.

¡Este logro es por ti Sofi!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que me ayudaron en este camino de convertirme en un profesional. A la empresa donde laboro, por su ayuda económica para poder estudiar. A todos los profesores, por sus enseñanzas y a mi tutora, ingeniera Shirley Mora Valerio, por su guía y paciencia para el desarrollo de este trabajo.

EPÍGRAFE

Si lo puedes soñar, lo puedes lograr.

Walt Disney

RESUMEN

El siguiente proyecto y sus propuestas de mejora se realizaron en la empresa MicroLaser, ubicada dentro de la Zona Franca El Coyol, 50 metros sur de Riteve, La Garita, Alajuela, edificio B25.3, la cual desde que abrió operaciones en Costa Rica se dedica al micromaquinado de un sensor.

Así, se efectuó un análisis con el fin de conocer el porqué de la caída del *yield* desde que se realizó una actualización para hacer a las máquinas *láser* más veloces. En cuanto a esto, mediante el uso de la metodología DMAIC y las herramientas ingenieriles como el FODA, árbol CTQ y diagrama SIPOC, se logró establecer que la causa es el aumento de rechazos por un defecto denominado Marca Láser, el cual se genera cuando un sensor es categorizado por la máquina láser como no aceptable y se duplica debido a la tecnología con la que cuentan los sistemas de visión que inspeccionan los sensores en el proceso de Corte. En la actualidad el aumento por este defecto tiene un costo financiero de \$ 32 070.72 al mes.

A partir del análisis obtenido, se llevó a cabo una reunión con un equipo multidisciplinario experto en el proceso y mediante la utilización de la lluvia de ideas, el diagrama de Ishikawa, el multivoto y el diagrama de Pareto, se detectaron las siete causas principales, las cuales sumaron un 85 % de los factores negativos contribuyentes al aumento del defecto.

Seguidamente, se diseñaron dos alternativas de solución: la pizarra de estandarización de trabajo y la automatización del cálculo del *yield* para el proceso Láser, en búsqueda de solventar todos factores negativos encontrados. Ahora bien, el costo de la inversión para la implementación de estas alternativas es de \$ 27 296.29; al respecto, se calcula que el retorno de esta será en 0.99 meses, con un tiempo de programado, instalación y puesta en marcha de 44 días. La reducción del *scrap* por este defecto es de un 85.8 % con un incremento en las ganancias de \$ 27 597.68 al mes.

Palabras clave: DMAIC, *yield*, *scrap*, alternativas de mejora, proceso.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio se realiza en la empresa MicroLaser, líder en micromaquinado con láser, ubicada en la Zona Franca de El Coyol en Alajuela. Su principal producto es un microsensar, el cual es un subensamble para otra compañía médica. Además, los procesos de producción son un 80 % automatizados.

En el segundo trimestre del 2022, se efectuó una modificación en el *software* de los láser y cortadoras para aumentar la velocidad, siendo 1.7x más rápidas por pieza, y con el fin de tener más capacidad productiva; sin embargo, luego de la actualización en los equipos, hubo un incremento en los rechazos categorizados como Marca Láser.

El defecto denominado Marca Láser se debe a que el equipo láser, por medio de un sensor (EPD-Electronic Particle Detector) que verifica la cantidad de material existente en el cable durante el proceso de ablación, determina que el porcentaje de partículas de uno de los tres materiales distintos presentes en el sensor está fuera de tolerancia y rechaza la pieza. Luego, el material procesado viaja en una carrucha donde todos los sensores están unidos unos con otros, para que el sistema de visión de la máquina cortadora detecte cuál sensor fue rechazado en el proceso anterior. El láser realiza una marca en el extremo distal del sensor, pero al estar los sensores unidos es imposible para el sistema de visión determinar cuál sensor es el defectuoso, si el que se encuentra antes o después de la marca, por ende, rechaza los dos, duplicando la cantidad de *scrap* que viene del proceso Láser.

Esta propuesta de investigación se fundamenta en la necesidad de solventar requerimientos de producción de la empresa, procurando mejorar la eficiencia y eficacia en las líneas de micromaquinado con las que la compañía cuenta en la actualidad.

Para lograr este cometido, es fundamental desarrollar estrategias con la ayuda de metodologías y mecanismos idóneos para la mejora del *yield* en los procesos de producción.

Por lo anterior, se considera la siguiente interrogante: ¿Mediante la metodología DMAIC cuáles son las mejoras que se pueden plantear en el proceso de micromaquinado de láser en MicroLaser, para el aumento del *yield* en las líneas de producción?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar, por medio de la metodología DMAIC, el proceso de micromaquinado por láser en las líneas de producción de la empresa MicroLaser, para proporcionar alternativas de solución que permitan la disminución de factores negativos en un 70 %, ocasionados por el aumento de la velocidad de las máquinas en el proceso.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir la situación actual en las líneas de producción con relación a la disminución del *yield* generado, mediante la recolección de datos y entrevistas a los expertos del proceso.
- Medir, por medio de un análisis estadístico, la capacidad actual del proceso y el impacto en la disminución del *yield* por el aumento del *scrap*.
- Aplicar herramientas ingenieriles de análisis de causa, para encontrar la causa principal que genera la caída del *yield*.
- Proponer alternativas de solución en el proceso, que permitan el desarrollo de un plan piloto, con el fin de aumentar el rendimiento del proceso y sus estándares de calidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La justificación busca demostrar la conveniencia, relevancia social, implicaciones prácticas, valor teórico, utilidad metodológica, pertinencia y viabilidad del estudio.

En este proyecto se identifican las problemáticas experimentadas en la empresa en este momento, para poder contribuir con soluciones que le permitan un mejor manejo del *yield*, así mismo con las técnicas o metodologías con las que se analiza el proceso para determinar las causas del problema.

La empresa MicroLaser en Costa Rica fabrica un subensamble para otra compañía médica con la cual tiene relaciones; no obstante, esta posee estándares de calidad muy elevados, por lo que la caída del *yield* después de la actualización para el aumento de la capacidad productiva ha traído muchas dudas por parte del cliente, además de la petición de soluciones expeditas. Cabe recalcar que este cliente es el mayoritario y más importante en ingresos para la empresa MicroLaser, con un promedio de exportaciones mensuales que rondan entre los 5.5 y 6 millones de sensores.

A partir de esta investigación, se busca solventar la necesidad que tiene la empresa de establecer la causa raíz asociada a la disminución del *yield* poco después del aumento en la velocidad de las líneas de producción. Esta disminución del *yield* se traduce en pérdidas por *scrap* correspondientes en promedio a \$ 8 777 por semana. Tampoco se cumple con el rendimiento en las líneas de producción, al hallarse en un promedio de 97.8 % y, por políticas de calidad internas, debería ser superior al 98.5 %. Así, por medio de las herramientas ingenieriles utilizadas y los resultados obtenidos, se plantea una solución robusta, medible y controlable.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

Un primer antecedente es el trabajo realizado por Yuli Orozco, Mitzy Rodríguez y Josephe Zamora (2019) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de Costa Rica, denominado: *Mejora del proceso de producción de cables de aluminio enfocada en la disminución de scrap en la compañía General Cable Conducen*. Este se trata de un proyecto factible con un enfoque mixto apoyado en un estudio de campo. Al respecto, por medio de un análisis de procesos, entrevistas y herramientas ingenieriles como un diagrama de flujo, un diagrama de causa y efecto, un diagrama de Pareto, así como controles y herramientas de calidad, se establecen las principales causas que afectan el indicador de *scrap*.

Luego de identificar las áreas de mejora, se decide manejarlas desde varios enfoques; primeramente, con la automatización del proceso de recolección de datos para la producción diaria de los cables de aluminio, de esta manera se obtiene información y tendencias en tiempo real mediante la tecnología de radiofrecuencia (RFID), para la toma de decisiones.

Después, con la implementación de fórmulas de cálculo, se propone una metodología para determinar la programación del proceso del cable de aluminio, donde se evalúe hasta el mínimo error. También la creación de un manual para estandarizar el proceso de configuración de los equipos, haciéndolo de una forma rápida y eficaz. Por último, un proceso de calidad para verificar materia prima no existente, lo cual permita detener el material no conforme sin impactar los indicadores de *scrap* antes de entrar a las líneas de producción, y lograr el flujo continuo y la toma de decisiones. Asimismo, se elabora un programa de seguimiento y capacitación después de las etapas expuestas, obteniendo resultados satisfactorios como una disminución del *scrap* en más de un 50 % y una detección de material no conforme de un 9 %.

El segundo antecedente es el trabajo desarrollado por Eugenia Villalobos (2017), denominado: *Aplicación de un plan de mejora que potencie el proceso de producto de la microempresa "Rancho Avellanas" a través de un diagnóstico de buenas prácticas de manufactura, mejora de una línea de producción, análisis sensoriales del producto terminado y capacitación de sus colaboradores*, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos en la Universidad de Costa Rica.

Se trata de un proyecto factible con un enfoque mixto apoyado en un estudio de campo, por lo cual se realizan visitas a la microempresa y se determina una falta de estructura y estandarización de los procesos, así como un problema de registros y trazabilidad de los productos alimenticios manufacturados. Resultado de lo antes mencionado, se detectan mejoras en un 60 % de los procesos que lleva a cabo la microempresa, al aplicar las mejoras en el proceso recomendadas e implementar un sistema de entrenamiento para empleados existentes y futuras contrataciones, con lo que se consigue una disminución en los costos de producción y una mejor aceptación en la calidad de los productos por parte de los clientes meta.

Respecto al tercer antecedente, corresponde al trabajo efectuado por Kelly González, Oscar Murillo y Josephe Sánchez (2019) para optar por el grado de Licenciatura en Logística Internacional en la Universidad Técnica Nacional, llamado: *Análisis del proceso de costeo de productos de la empresa 3M para el mejoramiento del indicador de tiempo de ciclo, utilizando la metodología Lean Manufacturing Systems (LMS) en el período enero 2016 a enero 2017*, el cual se trata de un proyecto factible apoyado en un estudio de campo con un enfoque mixto.

Esta empresa es una multinacional que se encuentra trasladando el manejo de sus operaciones a un nuevo sistema, durante este traslado se descubre la necesidad de mejorar la eficiencia debido a que los tiempos de ciclo de producción han incrementado en un 300 %, por lo cual se establece el empleo de herramientas como el Lean Manufacturing System (producción sin desperdicios) y el uso de los KPI (*key performance*

indicators, o en español indicadores clave de rendimiento) para identificar la causa raíz del aumento.

Por medio de un enfoque y la utilización de herramientas como entrevistas, mapeo, flujograma y diagramas de Ishikawa y Pareto, se determina que las principales causas del incremento del ciclo son los costos estáticos, la ubicación del paquete, las unidades de medida y los factores de conversión. No obstante, gracias a la implementación de controles de calidad, el monitoreo de procesos y un manejo optimizado del inventario, todo enfocado en la metodología de Lean Manufacturing System, se obtiene una mejoría de un 99.7 %, pasando de 365 días en un inicio a un día por procesamiento de órdenes.

En cuanto al cuarto antecedente, se trata del proyecto realizado por Luis Diego Murillo (2004) para optar por el grado de Máster en Computación con Énfasis en Telemática en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, denominado: *Automatización del control de calidad en empaques utilizando máquinas de visión*, el cual es un estudio factible con un enfoque mixto.

Este proyecto se llevó a cabo en la empresa Baxter, donde se presentaban dos problemáticas, a saber, la máquina podía generar errores de impresión en el texto y la detección de estos errores de impresión dependía del factor humano, por lo cual un error en esta inspección podía hacer que estos productos llegaran al cliente y amenazaran el negocio de la compañía.

Su desarrollo implica cuatro fases: planificación, desarrollo, control y cierre. Mediante estas fases, se determina la necesidad de estandarizar los procesos de inspección, pues por medio de entrevistas y control cruzado de la calidad entre los inspectores, se establece que el criterio de la inspección no es el mismo. Factores como posición de la etiqueta o legibilidad de las letras son irregulares y, debido a la velocidad con que los equipos operan, se recomienda la automatización de la operación de inspección de etiquetas.

Con relación al quinto antecedente, corresponde al trabajo efectuado por Karen Sánchez (2018) para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial en Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado: *Establecimiento de mejora en la gestión de la producción para reducir los retrasos en la entrega de pedidos de las familias de impresión en negro y color*, el cual es un proyecto factible de enfoque mixto.

La problemática que este trabajo analiza es la reducción en los retrasos de producción de pedidos de impresión en blanco y negro y a color en la empresa Servicios de Impresión Fenix S. A. La empresa recibe un estimado de 13 órdenes por semana de las cuales el 28.31 % no son entregadas a tiempo, lo que genera alrededor de una pérdida por oportunidad de venta de aproximadamente ₡ 64 111 516.48 mensuales.

Por medio de la utilización de herramientas como la lluvia de ideas, multivoto, sistemas de lógica difusa y DMADV, se detectan oportunidades de mejora en el control de producción de las familias en estudio en cuanto a cómo se priorizan los pedidos y el orden en el que estos son ejecutados, también una falta de análisis para determinar el tiempo de entrega de cada pedido, entre otras. Como parte de las soluciones, se corre un modelo de pilota mediante Visual BASIC, con el fin de establecer las métricas para el tiempo de entrega de los pedidos, asimismo un formato de priorización y manejo de pedidos, herramientas como cinco eses, entre otras.

1.4.2 Antecedentes internacionales

El primer antecedente internacional es el trabajo elaborado por Ricardo López (2019) para optar por el grado de Maestría en Ingeniería e Innovación en el Centro de Enseñanza Técnica y Superior, llamado: *Reducción de defectos y mejora del yield en el área de WLCSP*. Se trata de un proyecto factible con un enfoque mixto.

Este se lleva a cabo en la empresa Skywork Solution de México, donde en los últimos meses se han detectado problemas de sobrerrechazos en el proceso de empaquetado a escala de chips de oblea, también conocidos como WLCSP. Los principales

contribuyentes para el sobrerrechazo de este proceso son dos defectos: uno de ellos cuando coinciden dos dados sobre la cavidad y el otro cuando se encuentra el dado dañado. Así, por medio de un diagrama de Ishikawa y Pareto, se determinan los factores contribuyentes y cómo solucionarlos; luego, mediante un DMAIC, se controlan y estandarizan los procesos. A su vez, se implementa una herramienta para calibrar los indexes, lo cual disminuye los tiempos de mantenimientos correctivos en un 30 %.

Un segundo antecedente corresponde al trabajo hecho por Jorge Saltos (2004) para obtener el título de Ingeniero Industrial en la Universidad de Guayaquil, titulado: *Mejora continua en los procesos de fabricación de la Funda Daipa y de impresión en línea*, el cual es un proyecto factible de enfoque mixto que busca determinar mejoras en el proceso de producción para aumentar la productividad y la eficiencia y, con esto, controlar los índices de *scrap*, pues durante el último año este indicador en la mayoría de los meses ha estado sobre la meta de 2.3 %.

Mediante el análisis FODA y los diagramas de Pareto e Ishikawa, se establece que los defectos que más afectan son la impresión defectuosa y microfuga, los cuales hacen que el índice de *scrap* oscile entre los 3.5 a 4.5 % por parte de reclamos del cliente. Por medio de diferentes recomendaciones ingenieriles y de calidad, se logra una reducción del *scrap* por impresión defectuosa en un 50 % y una reducción de costos de producción de un 23.46 % en el área de extrusión.

En cuanto al tercer antecedente, se trata del trabajo realizado por Demetrio Ovalle (2021) para obtener el título de Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica Salesiana, denominado: *Propuesta de mejora para la reducción de scrap en la producción de sacos de polipropileno mediante aplicación del modelo DMAIC*, el cual es un proyecto factible de enfoque mixto.

Durante el año 2020, la producción de sacos de polipropileno experimenta un índice de *scrap* de un 27 %, aunque las políticas de calidad de la empresa solo permiten un máximo de un 18 %, el cual se alcanza en años anteriores. Por lo tanto, se presenta una propuesta

de mejora mediante la aplicación de Six Sigma a partir del modelo DMAIC para la identificación y eliminación de defectos. Por medio de esta metodología, se determinan las principales causas que generan el aumento del *scrap*, es decir, la variación en la temperatura al momento de fundir la resina de polipropileno en la extrusora y la variación de la velocidad del tronillo para el paso de mezcla; de este modo, se implementan varias mejoras en el proceso y controles de temperatura para disminuir el *scrap* en un 3 %.

Respecto al cuarto antecedente, se encuentra el trabajo llevado a cabo por Cristhian Pérez (2011) para obtener el título de Ingeniero Industrial en la Universidad Industrial de Santander, llamado: *Mejoramiento de los procesos productivos de la empresa Accecol LTDA*, el cual es un proyecto factible de enfoque mixto.

La problemática arrojada por este proyecto es que empresa Accecol tiene un crecimiento muy grande en poco tiempo, lo que le genera dificultades para gestionar la planeación, programación, ejecución, control y otros factores más que se deben de tomar en cuenta en los sistemas productivos, dando como resultado el despacho de pedidos incompletos e incumplimiento de las entregas del producto.

Por medio del uso de herramientas como las cinco eses, análisis de capacidad instalada, Pareto, eventos Kaizen, entre otras, se identifican las áreas de mejora y se proponen celdas de trabajo, una nueva distribución de planta y la creación de sistemas de producción mixtos que contribuyan a lograr los objetivos en planteados y las expectativas gerenciales de la empresa.

Por último, el quinto antecedente corresponde al trabajo efectuado por Christopher Ibáñez (2018) para optar por el título de Ingeniero Civil Industrial en la Universidad Austral de Chile, titulado: *Diseño de propuestas de mejora para el área de producción en la empresa Puerto de Humos S. A.*, el cual es un proyecto factible de enfoque mixto.

La empresa se dedica a la venta y distribución del salmón, pero experimenta problemas para alcanzar niveles de producción que satisfagan la constante demanda de su

producto, así como un problema en las líneas de producción por una falla en el manejo de las máquinas, problemas del comité de paritario y una deficiente toma de rendimiento del personal.

Así, a partir de herramientas como el diagrama de Pareto, manufactura esbelta y cinco eses, se determinan problemáticas como cuellos de botella que reducen la producción en un 50 % por día, problemas con el ambiente organizacional, baja inversión en maquinaria que conlleva a una baja productividad y problemas de orden e higiene. Al respecto, se llevan a cabo sesiones de cinco eses en todas las áreas, entrenamientos, programas de seguimiento y control en las áreas productivas.

1.5 PROYECCIONES

1.5.1 Alcances

Este proyecto se realiza en las áreas de producción en la empresa de MicroLaser, ubicada en la Zona Franca de El Coyol, Alajuela, especialmente en el proceso de micromaquinado de un sensor, con el propósito de mejorar el *yield* y la eficiencia.

El estudio abarca el análisis de las situaciones planteadas por los gerentes y directores de la empresa, quienes desean identificar la problemática real por atender sobre el manejo de las métricas del *yield* y las líneas de producción, además de plantear soluciones por implementar.

Por lo tanto, se establece una serie de objetivos específicos asociados a un objetivo general, con lo que se pretende enmarcar claramente el alcance del estudio, las metodologías de análisis por implementar y las soluciones resultantes de la evaluación, con el fin de optimizar la gestión del manejo del *yield* y solventar los requerimientos de las métricas de calidad.

El estudio no abarca la aplicación de las distintas técnicas de manejo y control del *yield* existentes, sino solo lo requerido para atender la solicitud de los procesos productivos de la compañía.

1.5.2 Limitaciones

Durante el desarrollo del proyecto en la empresa MicroLaser, hubo limitaciones para exponer información interna de la empresa como el nombre de la misma o el producto relacionado al estudio, al ser información confidencial. Además, se experimentaron dificultades para hacer las entrevistas y reuniones, tomar fotografías y contar con el tiempo y permiso por parte de la gerencia de los profesionales en el proceso.

Debido a la situación socioeconómica a nivel mundial, ocasionada por la guerra y los efectos secundarios de la pandemia, la gerencia solicitó que la inversión para este proyecto fuera de mínima a nula, pues no estaba entre los proyectos presupuestados para este año fiscal.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

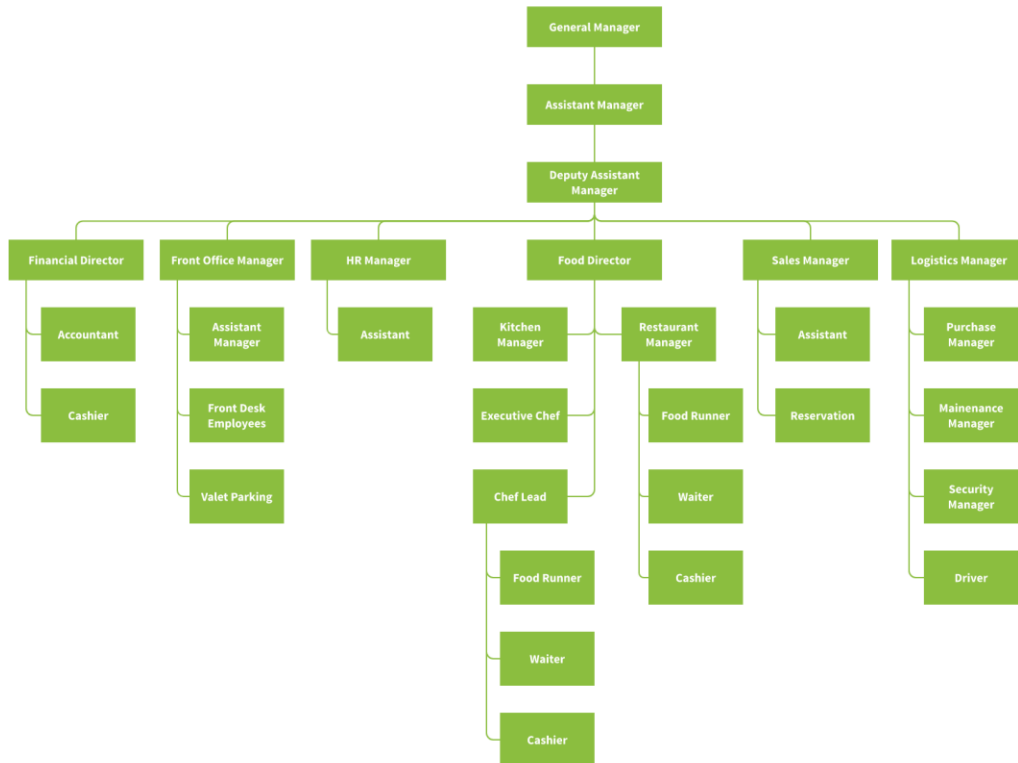
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

En este capítulo se describen brevemente los conceptos de mayor relevancia para el desarrollo del proyecto.

2.1.1 Organigrama

Los organigramas son sistemas de organización que se representan en forma intuitiva y con objetividad. También son llamados cartas o gráficas de organización. Consisten en hojas o cartulinas en las que cada puesto de un jefe se representa por un cuadro que encierra el nombre de ese puesto (y en ocasiones de quien lo ocupa) representándose por la unión de los cuadros mediante líneas, los canales de autoridad y la responsabilidad. Los organigramas señalan la vinculación existente entre los departamentos a lo largo de las líneas de autoridad principales.

Figura 2.1: Organigrama de una empresa



Fuente: Lucidchart, s.f.

2.1.2 Lean Six Sigma

Como filosofía de trabajo, Six Sigma significa mejora continua de procesos y productos apoyados en la aplicación de la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), la cual incluye principalmente el uso de herramientas estadísticas, además de otras de apoyo.

Ahora bien, como métrica, Six Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación. Asimismo, como meta, un proceso con nivel de calidad Six Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos.

2.1.3 Metodología DMAIC

DMAIC es una herramienta interactiva utilizada para la mejora de procesos. Su uso más común es en proyectos que emplean la metodología Seis Sigma, pero su aplicación no es exclusiva para proyectos guiados por dicha estrategia, o sea, se puede utilizar esa herramienta en cualquier situación en la cual se desee implantar mejoras.

Esta metodología consiste en:

- Definir: El primer paso es definir las oportunidades, el alcance, los objetivos y los participantes. En general, en este paso se establece lo que se hará y cuál es el resultado esperado al final de la ejecución del ciclo. Una sugerencia importante es: reflexionar sobre las mejoras que se pueden realizar y centrarse en las más relevantes y viables. Respecto a esta etapa, la lluvia de ideas es una técnica que puede ser muy útil.
- Medir: El objetivo de este paso es recolectar datos e informaciones para analizar y evaluar el escenario actual, preferentemente de forma cuantitativa y estadística, con el objeto de establecer *baselines* para las mejoras pretendidas y, al final del ciclo, comparar el escenario actual con el resultado obtenido, con el propósito de verificar si las mejoras implantadas fueron satisfactorias. En este punto, se puede contar con el apoyo de herramientas como el diagrama de Ishikawa, Pareto, matriz GUT o causa y efecto.
- Analizar: El foco aquí es identificar la causa raíz del problema. Por lo general, al analizar un proceso varias posibles causas raíz se identifican, pero la clave para el éxito de este paso es priorizar y validar la causa raíz del problema por tratar. Como resultado de este paso, se espera que se creen oportunidades de mejora. En cuanto a esta etapa, el cinco porqués ayuda en la identificación y validación de la causa raíz.

- **Mejorar:** Es el momento de tratar las oportunidades de mejora identificadas en el paso anterior. Primero, se deben establecer las posibles soluciones para corregir y evitar la causa raíz del problema. A continuación, se recomienda probar para averiguar si la solución propuesta es efectiva, si no es así, debe ser repensada y replanificada; si el resultado de la prueba es prometedor, se debe implementar la acción. Sin embargo, en esta etapa se pueden encontrar varias soluciones, no necesariamente todas necesitan ser probadas e implementadas, muchas de ellas solo pueden ser identificadas y registradas para ser utilizadas en el futuro. De forma resumida, este paso consiste en:
 - Identifique/crie soluciones.
 - Concéntrese en las soluciones más fáciles y sencillas de implementar.
 - Pruebe las soluciones.
 - Cree un plan de acción (se puede adoptar la herramienta 5W2H).
 - Implemente/implante las mejoras.
- **Controlar:** El foco de este paso es controlar las acciones del plan de acción para que no se pierda. Por lo tanto, es fundamental definir criterios de control como, por ejemplo, *check lists*, metas y estadísticas que sirvan como fuente de información para el monitoreo de la implementación de las acciones. Se debe verificar el desempeño del plan de acción para asegurarse de que los resultados deseados se alcancen y, consecuentemente, lograr responder al final de ese paso si las acciones de mejora implementadas han sido o no eficaces. La idea para fomentar ese final de ciclo es buscar la mejora continua.

Figura 2.2: Ciclo DMAIC



Fuente: Minetto, s.f.

2.1.4 Análisis FODA

El análisis FODA, también conocido en los países hispanohablantes como DAFO o DOFA y en los angloparlantes como SWOT, es una herramienta clave para hacer una evaluación pormenorizada de la situación actual de una organización o persona sobre la base de sus debilidades y fortalezas, y en las oportunidades y amenazas que ofrece su entorno. Es asimismo una metodología de trabajo que facilita la toma de decisiones (Sánchez, 2020).

Fue inventada por Albert S. Humphrey en la Universidad de Stanford (EE. UU.) en los años sesenta, y sigue estando plenamente vigente hoy. Cada sigla de un análisis FODA o DAFO representa uno de los cuatro atributos o variables que se estudian: F de fortalezas, D de debilidades, O de oportunidades y A de amenazas. La forma visual de un análisis FODA o DAFO es una matriz de cuatro cuadrantes donde se listan las principales características y observaciones correspondientes a cada categoría mencionada (Sánchez, 2020).

Figura 2.3: Análisis FODA



Fuente: Sánchez, 2020.

2.1.5 Lluvia de ideas

Condemarín (s.f.) resalta que la lluvia de ideas “Es una buena estrategia para activar el conocimiento previo de los estudiantes. Requiere que ellos expresen todo lo que saben acerca de un tema particular o de una idea, antes de iniciar una lectura o redactar un escrito”.

Por su parte, Delgado y Solano (2009) refieren: “Es una estrategia de trabajo colaborativo que se utiliza para la apertura de foros de diagnóstico o introducción de un tema en particular”. El facilitador solicita a los estudiantes que coloquen en común el conjunto de ideas o conocimientos que cada uno posea acerca de un tema, y con la moderación del facilitador o de un estudiante que se designe como moderador, se puede llegar colectivamente a una síntesis, conclusión o acuerdo.

Además, el Centro Virtual Cervantes (2023) refiere que la lluvia de ideas “Es una estrategia de grupos para generar ideas originales en un ambiente relajado”. Al respecto,

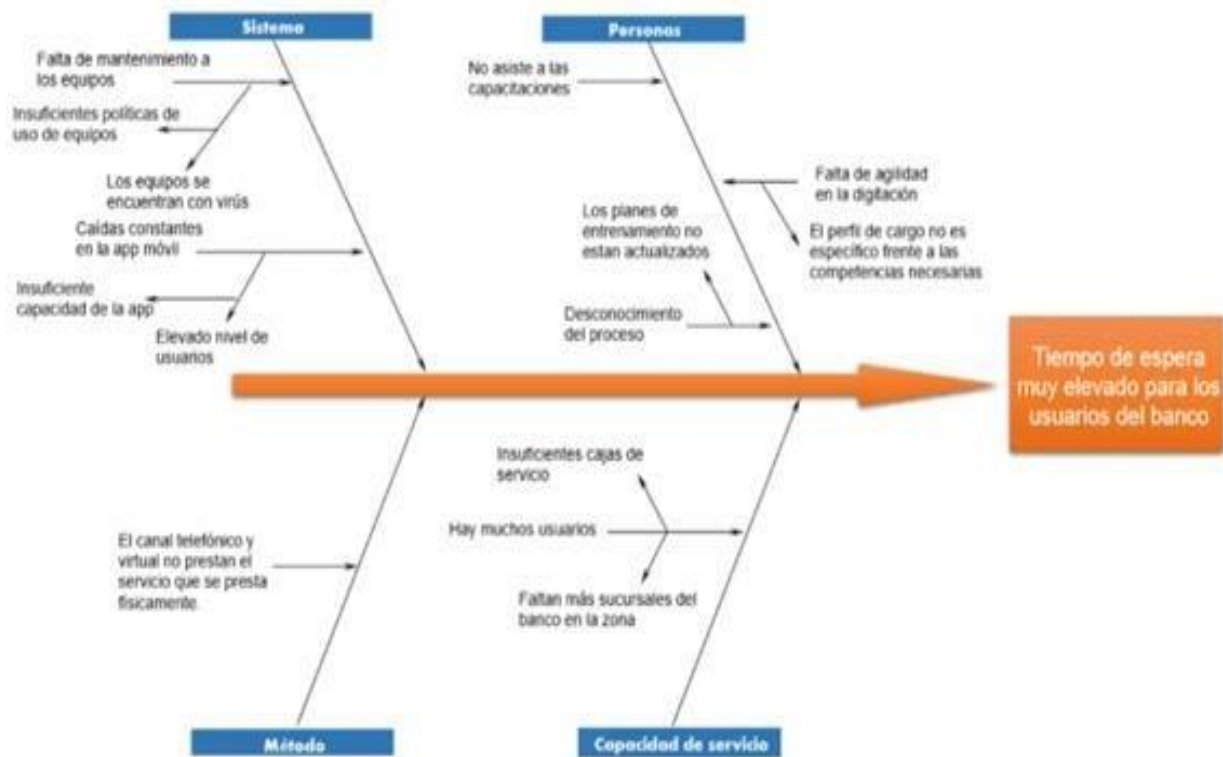
esta herramienta fue creada en el año 1941 por Alex Osbome, cuando buscó ideas creativas en un proceso interactivo de grupo no estructurado, lo cual generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente.

2.1.6 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es también conocido con el nombre de espina de pescado (por su forma) o diagrama causa-efecto (CE). Consiste una herramienta que ayuda a estructurar la información con lo cual brinda claridad mediante un esquema gráfico de las causas que producen un problema, pero en sí no identifica la causa raíz.

Esta herramienta provee las siguientes funcionalidades básicas: es una representación visual de aquellos factores que pueden contribuir a un efecto observado o fenómeno estudiado que está siendo examinado, la interrelación entre los posibles factores causales queda claramente especificada, un factor causante puede aparecer varias veces en diferentes partes del diagrama, las interrelaciones se establecen por lo general en forma cualitativa e hipotética, un diagrama CE es preparado como un preludeo al desarrollo de la información requerida para determinar la causalidad empírica.

Figura 2.4: Diagrama de Ishikawa

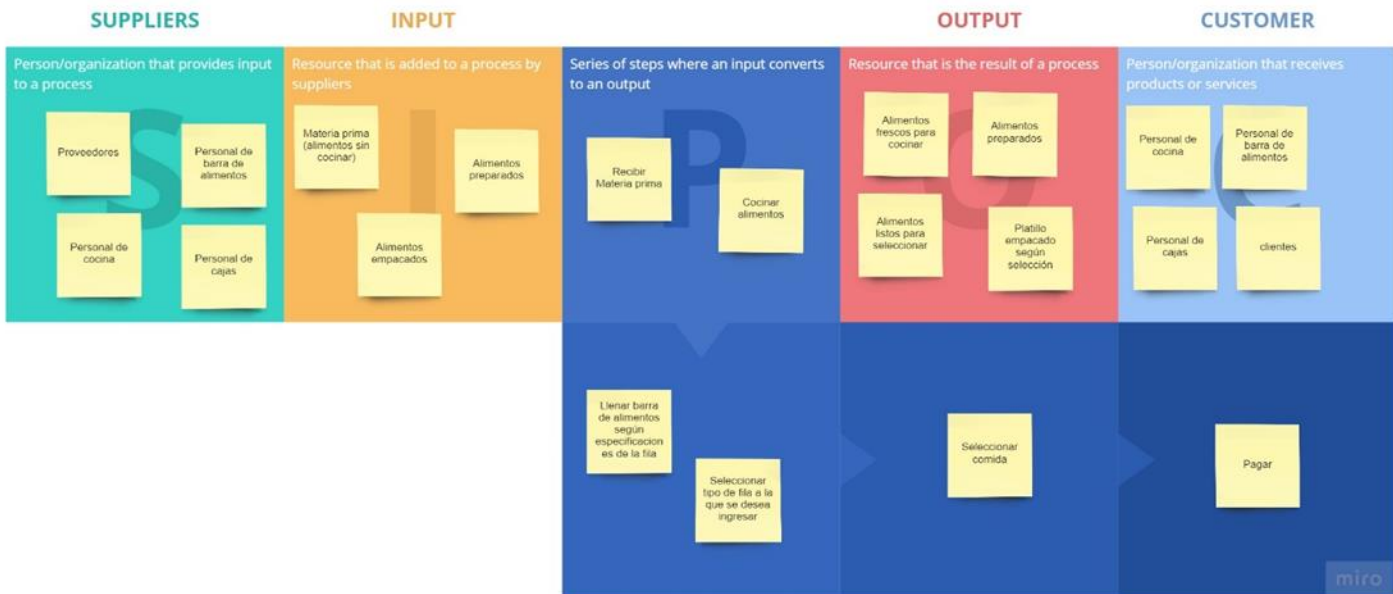


Fuente: Betancourt, 2016.

2.1.7 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC es una herramienta utilizada para la identificación de todos los elementos de un negocio. Se emplea comúnmente en Six Sigma como un método para documentar los elementos de un proyecto o negocio, determinando el alcance del negocio y averiguando otros detalles sobre los procesos.

Figura 2.5: Diagrama SIPOC



Fuente: Miro, 2023.

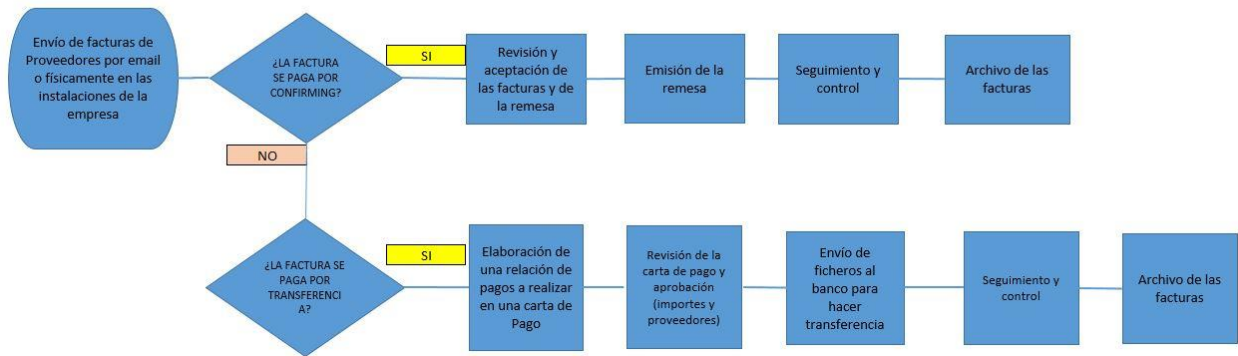
2.1.8 Diagrama de flujo del proceso

Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución; es decir, es la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo.

Adicional, un diagrama de flujo es una representación gráfica que desglosa un proceso en cualquier tipo de actividad por desarrollarse tanto en empresas industriales o de servicios y en sus departamentos, secciones o áreas de su estructura organizativa.

Son de gran importancia ya que ayudan a designar cualquier representación gráfica de un procedimiento o parte de este. En la actualidad los diagramas de flujo son considerados en la mayoría de las empresas como uno de los principales instrumentos en la realización de cualquier método o sistema.

Figura 2.6: Diagrama de flujo del proceso
Recepción y Pago de Facturas a Proveedores



Fuente: Torres, s.f.

2.1.9 Diagrama de Pareto

Es una gráfica de barras para datos de conteo o categóricos, ordenados en orden descendente con respecto a su frecuencia y unidos a una ojiva que mide la frecuencia acumulada.

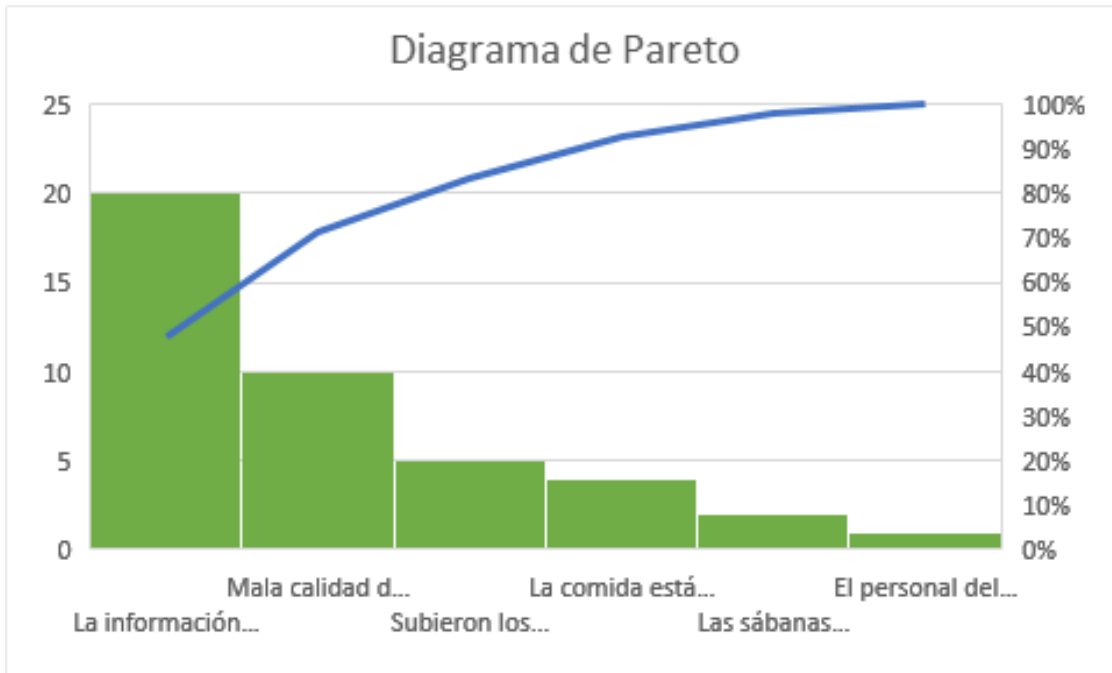
Se utiliza para visualizar rápidamente qué factores de un problema, qué causas o qué valores en una situación determinada son los más importantes y, por ello, cuáles hay que atender de forma prioritaria, a fin de solucionar el problema o mejorar la situación.

El procedimiento de elaboración es el siguiente:

- Decidir qué problemas se van a investigar y cómo recoger los datos.
- Diseñar una hoja para recoger los datos.
- Recoger los datos de frecuencias y ordenarlos de mayor a menor.
- Calcular los totales acumulados.

- Calcular los porcentajes y sus acumulados.
- Realizar la gráfica.

Figura 2.7: Diagrama de Pareto



Fuente: Calidad y ADR, 2017.

2.1.10 Andon

Es un sistema utilizado para notificar a las personas sobre problemas de calidad o paros debido a razones específicas. La información proporcionada por estas señales se puede emplear para identificar o indicar una condición regular o irregular en el lugar de trabajo, que podría requerir una acción adicional. Andon proporciona información en tiempo real y comentarios sobre el estado de un proceso. Estas señales son eficientes, autorregulables y gestionadas por los operadores.

Figura 2.8: Ejemplo de Andon



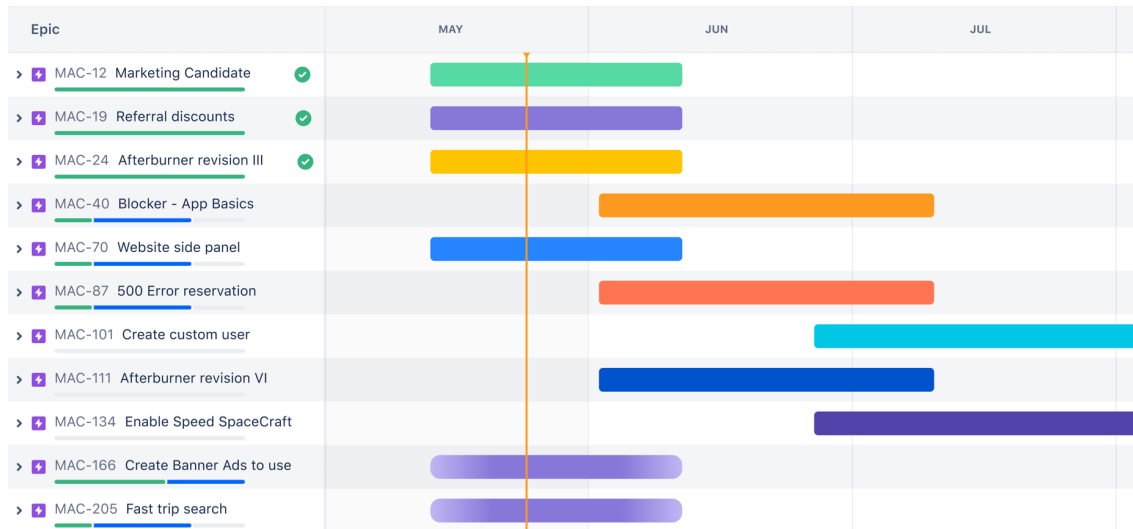
Fuente: Dreamstime, 2023.

2.1.11 Diagrama de Gantt

El diagrama de Gantt es una herramienta de gestión de proyectos en la que se recoge la planificación de un proyecto. Normalmente tiene dos secciones: en la parte izquierda se incluye una lista de tareas y, en la derecha, un cronograma con barras que representan el trabajo. Los diagramas de Gantt también pueden incluir las fechas de inicio y de finalización de las tareas, los hitos, las dependencias entre tareas y las personas asignadas.

Para cumplir con las demandas del desarrollo de *software* moderno, las herramientas de hoja de ruta incluyen funciones como una estructura de tareas plegable y paneles de gestión de recursos. Estas herramientas de hoja de ruta ayudan a los equipos a mantener una estrategia coherente en los proyectos a pesar de la naturaleza iterativa de los procesos de desarrollo de *software*.

Figura 2.9: Ejemplo de un diagrama de Gantt



Fuente: Meardon, s.f.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se exponen los detalles más importantes de la empresa MicroLaser donde se realizó el estudio.

2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente:

Visión

“Juntos, colaboramos para resolver desafíos complejos y desarrollar la próxima generación de dispositivos de ciencias de la vida” (MicroLaser, 2022). Esto lo logra mediante los siguientes valores:

- Innovación.
- Urgencia.
- Calidad.
- Integridad.

- Respeto.

Misión

“MicroLaser es líder en micro manufactura láser para las ciencias de la vida al ofrecer soluciones innovadoras y un servicio al cliente incomparable” (MicroLaser, 2022).

2.2.2 Antecedentes históricos

La misma pasión por las capacidades innovadoras del láser que lanzó MicroLaser en 1987 continúa estando a la vanguardia de sus tecnologías de fabricación médica. MicroLaser ha continuado con el desarrollo avanzado del procesamiento láser para resolver los desafíos de fabricación más complejos.

MicroLaser ha diseñado, construido e implementado más de 500 estaciones de trabajo láser que cubren un amplio espectro de tipos de láser y longitudes de onda, incluidos femtosegundos, picosegundos, excimer, estado sólido bombeado por diodos (DPSS) y CO₂. La combinación de sistemas láser de última generación con un equipo técnico progresista permite a MicroLaser asociarse con clientes para brindar soluciones ganadoras que cumplan con los requisitos técnicos avanzados y las exigentes demandas económicas.

Desde 2015 MicroLaser ha estado creciendo rápidamente mediante la adquisición de Mound Laser (Dayton/EE. UU.), Aduro Laser (Sacramento/EE. UU.), Medelec Swiss Precision Tubing (Suiza), STI Laser (Israel), Caribou Technologies (Minneapolis/EE. UU.), Tru Tech Systems (Detroit/EE. UU.) y The Medical Business of HTI (Minneapolis/EE. UU.), con inversiones totalmente nuevas en San Diego (EE. UU.), Minneapolis (EE. UU.) y Costa Rica. Al respecto, la compañía tiene diez ubicaciones.

Por medio de estas adquisiciones, MicroLaser construye una microempresa de fabricación para servir mejor a la industria de dispositivos médicos. Cada nueva empresa

aporta una competencia central que es líder en la industria. Adicional, para agregar a su experiencia en procesamiento láser, ha invertido en la fabricación de metales, específicamente rectificado sin centro y mecanizado fotoquímico; incrementó sus capacidades de procesamiento de nitinol y agregó hipotubos de acero inoxidable de pared delgada y metales preciosos, que también están disponibles en su tienda en línea.

Su nueva gama de tecnología le permite solicitar ensamblajes más completos y, al mismo tiempo, obtener acceso a técnicas de procesamiento de vanguardia en todas las capacidades, lo que convierte a MicroLaser en un socio en la creación de prototipos, su desarrollo, su producción hasta su lanzamiento al mercado.

2.2.3 Ubicación geográfica

La empresa MicroLaser se encuentra dentro de la Zona Franca El Coyol, 50 metros sur de Riteve, La Garita, Alajuela, edificio B25.3.

Figura 2.10: Mapa satelital de la empresa MicroLaser



Fuente: Google Maps, 2022.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.11: Organigrama de la empresa MicroLaser



Fuente: Departamento RH de MicroLaser, 2022.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o área	Cantidad
Vicepresidente de Operaciones	1
Director de Operaciones	1
Gerente de Recursos Humanos	1
Gerente de Finanzas	2
Gerente de Ingeniería	1
Gerente de Facilidades	1

Generalista de Recursos Humanos	1
Gerente de Mantenimiento	1
Gerente de Ingeniería de Manufactura	1
Gerente de Calidad	1
Gerente de Producción	1
Ingeniero Salud Ocupacional	1
Ingenieros de Calidad	5
Ingeniero Senior de Excelencia Empresarial	1
Ingenieros de Manufactura	4
Administrador de Recursos Humanos	1
Especialista en Adquisición de Talento	1
Supervisor de Mantenimiento	1
Supervisor de Producción	7
Supervisor de Almacén	1
Compradores	3
Importación, Exportación y Envíos	3
Planificación	1
Líder Calidad	1
Líderes de Producción	20
Líder de Técnicos de Mantenimiento	4
Técnicos de Ingeniería	3
Técnicos de Facilidades	4
Técnicos de Mantenimiento	29
Técnico de Sistemas	1
Técnicos de Calidad	2
Inspectores de Calidad	4
Asistente de Producción de Manufactura	5
Materialista	3
Entrenadores de Producción	12
Operarios	300
Total	429

Fuente: Departamento RH de MicroLaser, 2022.

2.2.6 Tipos de productos

MicroLaser es especialista en microfabricación y centra su tecnología en componentes y conjuntos para fabricantes de dispositivos médicos y diagnósticos, así como presta servicios de fabricación y desarrollo de equipos láser para diversas tecnologías.

Entre las aplicaciones realizadas, se encuentra un laboratorio dedicado al desarrollo de aplicaciones y creación de prototipos, fabricación en salas limpias, corte por láser, perforación por láser, pelado/ablación de cables, corte/conformación de catéteres, soldadura por láser, diseño y fabricación de sistemas, electropulido de nitinol, ajuste de forma de nitinol, fabricación de microláser, hipotubo de acero inoxidable y demás.

2.2.7 Mercado de exportación

MicroLaser Costa Rica tiene como principal mercado el subempleado de dispositivos médicos; en cuanto a esto, manufactura un sensor para una compañía médica dedicada a la fabricación de un dispositivo médico que ayuda a detectar el momento exacto cuando el paciente necesita inyectarse insulina.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

Figura 2.12: Diagrama de flujo del proceso de MicroLaser



Fuente: MicroLaser, 2022.

- Recibido: La materia prima es entregada junto con su respectiva documentación.
- Inspección de la entrega: La materia prima y documentación es inspeccionada para verificar si cumple con las especificaciones necesarias.
- Creación del trabajo: Se crea la orden de trabajo en el sistema con sus respectivas hojas de ruta para la trazabilidad de los procesos.
- Identificación/etiquetado del material: Con los números creados en el sistema de la orden de trabajo, se imprimen las etiquetas y se identifica el material antes de entrar a la línea de producción.
- Operación láser: El material es colocado en la máquina láser, este pasa de la carrucha con materia prima a la cámara del láser donde es impactado varias veces hasta tener la forma y diámetros necesarios, luego continúa hacia la otra carrucha para ser transportado.
- Operación de corte: La carrucha con proceso láser terminado es colocada en la máquina cortadora para ser inspeccionada y cortar los sensores para individualizarlos.
- Inspección de AQL: Por la cantidad total del lote, se toma una cantidad de muestras al azar ya definidas por el procedimiento de manufactura, con el fin de ser inspeccionadas dimensionalmente.
- 100 % inspección visual: Se inspecciona, por medio del microscopio, el 100 % de los sensores en busca de defectos estéticos.

- Empacado: Se colocan los sensores dentro de unos viales para luego ser sellados en bolsas.
- Revisión de la documentación (producción): Producción revisa la documentación antes de ser enviada al Departamento de Calidad.
- Revisión de documentación (calidad): Calidad realiza una segunda revisión de la documentación para asegurarse de que cumpla con las normas de calidad y trazabilidad establecidas.
- Empacado final: Los sensores empacados en bolsa son colocados en cajas con su respectiva documentación para ser enviados.
- Envío: Se crean a nivel de sistema los Documento Únicos Administrativos (DUA), para efectuar el envío al cliente.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis constó de un enfoque de investigación mixto, el cual se desarrolla como un proceso que recolecta, analiza y posee una conexión de datos cuantitativos (estadísticas, causa-efecto, proceso, secuencial, deductivo, probatorio, análisis objetivo, generalización, control, precisión, réplica, predicción) y enfoque cualitativo (significados, inductivo, interpretativo, realidad subjetiva, profundiza ideas, amplitud, contextualiza).

Al respecto, Hernández et al. (2014) indican que es necesario tener una secuencia en la investigación y mantenerla para cumplir con éxito cada parte y, al ser con enfoque cuantitativo, se debe acotar y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación (p. 4).

Además, los autores agregan acerca del enfoque cualitativo que se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de datos (Hernández et al., 2014, p. 7). Por lo tanto, el estudio desarrollado respondió a la utilización de los dos enfoques ya que aplicaba en ambos.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El término método proviene del griego *meta-*, 'hacia', y *hodós*, 'camino', lo cual sugiere que su significado sea "el camino más adecuado hacia un fin". Es decir, un método es un procedimiento elegido para obtener un fin predeterminado. En consecuencia, los métodos de investigación son los distintos modelos de procedimientos que se pueden emplear en una investigación específica, atendiendo a las necesidades de esta, o sea, a la naturaleza del fenómeno por investigar.

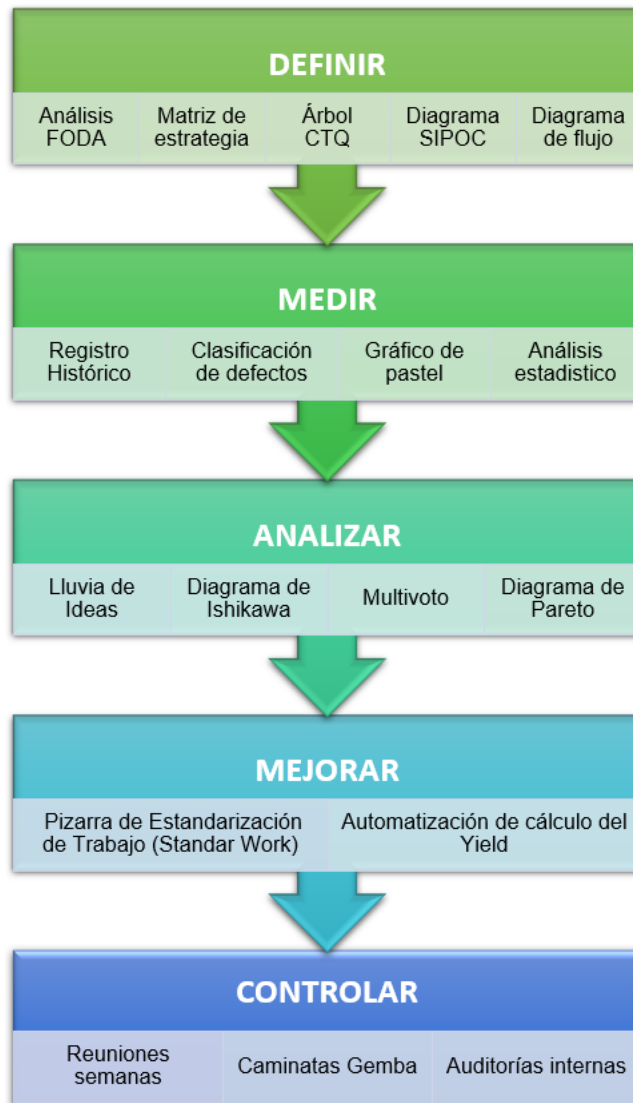
La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema.

Según Hernández et al. (2014):

Una vez que se precisó el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de la investigación y se formularon las hipótesis (o no se establecieron debido a la naturaleza del estudio), el investigador debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular de su estudio (p. 128).

Debido a lo expuesto, en el presente análisis se utilizó la metodología DMAIC. En la siguiente figura, se expone el detalle de las etapas seguidas con la metodología DMAIC:

Figura 3.1: Metodología DMAIC para la investigación



Fuente: Propia, 2023.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.3.1 Sujetos de información

En relación con los sujetos de información, se contó con el apoyo de un grupo de trabajo multifuncional conformado por operarios, líderes y supervisores de producción, ingenieros de calidad e ingeniería, técnicos de proceso y de mantenimiento.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Las variables de análisis se basaron principalmente en la fuente primaria, datos históricos del *yield* extraídos de un sistema interno de la compañía desarrollado para el tipo de negocio llamado Epicor, entrevistas, además de otras fuentes como son: libros, tesis y proyectos finales.

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Definir la situación actual en las líneas de producción con relación a la disminución del <i>yield</i> generado, mediante la recolección de datos y entrevistas a los expertos del proceso.	Estudio del entorno	Es un instrumento que permite evaluar la incertidumbre del contexto generada por la impredecibilidad del comportamiento de las variables exógenas y por los mismos cambios que se introducen mediante proyectos innovadores.	Definir y analizar todas las entradas y salidas del proceso de producción del sensor.	Análisis FODA. Matriz de estrategias FODA. Árbol CTQ. Diagrama SIPOC. Diagrama de flujo.
Medir, por medio de un análisis estadístico, la capacidad actual del proceso y el impacto en la disminución del <i>yield</i> por el aumento del <i>scrap</i> .	Medición de datos	Es el proceso de recopilar y medir información sobre variables específicas en un sistema establecido, que luego permite responder preguntas relevantes y evaluar resultados.	Mediante la observación del proceso, entrevistas y recopilación de datos.	Análisis estadístico. Gráficos de comportamiento. Análisis histórico del proceso.
Aplicar herramientas ingenieriles de análisis de causa, para encontrar la causa principal que genera la caída del <i>yield</i> .	Análisis de causas	Es el proceso de descubrir las causas raíz de los problemas para identificar soluciones adecuadas.	Identificar los aspectos críticos y posibles causas que están afectando el proceso en la actualidad.	Lluvia de ideas. Diagrama de Ishikawa. Multivoto. Diagrama de Pareto.
Proponer alternativas de solución en el proceso, que permitan el desarrollo de un plan piloto, con el fin de aumentar el rendimiento del proceso y sus estándares de calidad.	Propuestas de mejora del proceso	Es un enfoque estratégico para optimizar los procesos empresariales. Esta práctica incluye la identificación, el análisis y el perfeccionamiento de los procesos existentes para mejorarlos en última instancia.	Se plantean alternativas para la mejora, automatización y estandarización que ayuden al proceso a ser más estable.	Estandarización del proceso. Automatización del cálculo de <i>yield</i> en los equipos. Diagrama de Gantt.

Fuente: Propia, 2023.

3.5 INSTRUMENTOS

Para la realización de este proyecto, fue necesario emplear herramientas ingenieriles y técnicas que permitieran recopilar toda la información necesaria para tener claridad de la situación planteada por el problema en estudio.

Al respecto, Barrantes (2014) indica: “En la investigación se dispone de instrumentos para medir las variables y las interrogantes, a fin de recolectar la información necesaria. Se puede utilizar uno o varios de estos instrumentos, según sea el enfoque en el que estemos trabajando” (p. 259).

Con el propósito de ayudar en la recolección de la información vinculada a los conceptos y variables fijados en los objetivos de este proyecto, se seleccionó una serie de instrumentos que se amplían a continuación.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1 Observación

Respecto a la observación, según Barrantes (2014), es:

[...] ciencia que comienza con la observación y, finalmente, tiene que volver a ella para su validación final. En cualquier sector de la investigación científica, cabe la observación para descubrir y poner en evidencia las condiciones de los fenómenos (puede ser cotidiana o científica). Ambas se utilizan para obtener conocimientos, pero la segunda es la que debe aplicarse en la investigación (p. 259).

Se efectuó una observación del lugar donde se realizó el proyecto de investigación, con el fin de tener una idea general de cómo es el ambiente en el cual se desarrollan las actividades y procesos de la empresa.

3.6.2 Entrevista

De acuerdo con Bernal (2010), la entrevista es:

Técnica orientada a establecer contacto directo con las personas que se consideren fuente de información. A diferencia de la encuesta, que se ciñe a un cuestionario, la entrevista, si bien puede soportarse en un cuestionario muy flexible, tiene como propósito obtener información más espontánea y abierta. Durante la misma, puede profundizarse la información de interés para el estudio (p. 194).

En cuanto a esto, se llevó a cabo una entrevista con los funcionarios involucrados para poder obtener información de la problemática en estudio.

3.6.3 Registros históricos

Corresponde a toda la información que la empresa tenga disponible y pueda aportar para dar sustento a la situación actual de la empresa y, así, orientar los esfuerzos, con el objetivo de analizar la problemática abarcada en el proyecto.

3.6.4 Técnica grupal (reuniones)

Por medio de esta técnica, se obtuvo información sobre la problemática planteada en el proyecto. Se consideró la participación de diversos colaboradores que están involucrados en las diferentes etapas de la construcción de obras de la empresa y también se llevaron a cabo reuniones con el equipo de trabajo requerido en distintas etapas de la investigación.

3.6.5 Recorridos

Este instrumento consiste en realizar recorridos por el lugar donde está sucediendo el problema analizado en el proyecto.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DEFINIR

La primera etapa de la metodología DMAIC corresponde a “definir”, por lo tanto, a continuación, se detallan las actividades realizadas para definir el problema actual y su impacto en el área de estudio.

El problema actual radica en que el control de *yield* en el área de láser es totalmente calculado por los colaboradores. Al respecto, el colaborador, siguiendo su instrucción de trabajo, cada hora tiene que monitorear el rendimiento del proceso tomando como referencia el nivel de *yield* 98.5 %.

Asimismo, en los meses subyacentes a una actualización en el *software* de los equipos láser y de corte para aumentar las velocidades en un 70 % y, con esto, los niveles de producción, surgió el defecto Marca Láser originado por el equipo láser y segregado en el proceso de Corte.

4.1.1 Análisis FODA

Figura 4.1: Análisis FODA de la línea de producción de MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

En relación con el análisis anterior, a continuación se detallan los factores internos y externos:

4.1.1.1 Factores internos

Fortalezas

- **Fuertes conocimientos en controles de calidad**

La empresa maneja muchos indicadores claves de desempeño (KPI, siglas en inglés de Key Performance Indicator) que ayudan a controlar los sistemas de calidad y producción, también el Departamento de Calidad cuenta con empleados de muchos años de experiencia en la industria médica. Además, se posee un sistema llamado WinSPC en donde se ingresan los datos de dimensiones y a tiempo real se analizan para determinar si las muestras son aceptables según el plano del cliente, y la repetitividad y centralidad del proceso.

- **Personal de producción con mucha experiencia**

En sus inicios, al ser una empresa pequeña sin imaginar que en el futuro crecería tanto, MicroLaser solo contrató personal operativo con muchos años de experiencia en la industria médica, el cual luego de seis años todavía continúa con la compañía enriqueciendo de experiencia y conocimiento al Departamento de Producción.

- **Alto conocimiento técnico en tecnología láser**

La empresa MicroLaser construye sus propias máquinas dependiendo de la necesidad del cliente, esto hace que el conocimiento experto de quienes desarrollan y crean las máquinas sea vasto, lo cual a su vez es transmitido al equipo técnico. Adicional, el equipo técnico como el equipo de producción en sus inicios fueron contratados por tener muchos años de experiencia, por lo que poseen bases muy sólidas a nivel de experiencia y conocimiento.

- **Equipo multifuncional**

La empresa MicroLaser se dirige según el sistema SQDCT (por sus siglas en inglés Safety, Quality, Delivery, Cost y Team, que significan en español seguridad, entrega, costo y equipo). Los representantes son los departamentos de Salud Ocupacional,

Calidad, Exportación e Importación, Ingeniería de Manufactura y Recursos Humanos en su debido orden. Este equipo de múltiples departamentos toma las decisiones del rumbo de las líneas y el personal de producción.

- **Trabajo en equipo**

Al trabajar de acuerdo con el sistema SQDCT, la interacción entre los departamentos es primordial, así como un ambiente de respeto y libertad de expresión. Para la compañía MicroLaser este es un valor fundamental.

Debilidades

- **Muchas áreas de mejora por el rápido crecimiento de la compañía**

La empresa en Costa Rica empezó siendo el suplidor minoritario de su cliente final, pero luego de ocurrir una innovación en el producto de su cliente, MicroLaser se adaptó al cambio más rápida y efectivamente que su competidor, por lo cual se convirtió en el suplidor único, lo que generó un crecimiento de la empresa en un 400 %. Muchos departamentos tuvieron que renovarse y desarrollarse, implicando así muchas oportunidades de crecimiento y mejora para la empresa.

- **Diferencia de criterios entre turnos**

La empresa cuenta con un horario de funcionamiento 24/7 durante todo el año. En cuanto a los turnos diurnos, se cuenta con la presencia de los departamentos de Calidad e Ingeniería por lo cual hay más conocimiento experto, mientras en los turnos nocturnos se cuenta con menos soporte para la toma de decisiones.

- **Sentido de urgencia**

Aunque la empresa labora según el sistema SQDCT, el cual ayuda a que múltiples áreas trabajen a partir de un mismo objetivo, las metas de los diferentes departamentos también crean que el sentido de urgencia no sea el mismo para todos, dependiendo de la circunstancia.

- **Muchos tiempos *down* e inestabilidad de las máquinas por cambios de generaciones**

Uno de los aspectos que transformó a MicroLaser en el proveedor único fue la rápida adaptabilidad al cambio de la innovación del cliente final, llevando esto a tener dos tipos de productos similares en objetivo, pero distintos físicamente. Estos cambios físicos hacen que pasar una línea de producción de una generación a otra produzca inestabilidad en los equipos, por consiguiente, estos cambios deben ser evaluados y sostenibles en el tiempo para no originar paros innecesarios en los equipos.

- **Procrastinación en las tareas y acciones por falta de disciplina y constancia**

El crecimiento abrupto de la demanda de producción y, por ende, de las áreas de mejora que conlleva han traído un difícil manejo de los proyectos y las escalaciones diarias para darles un seguimiento y una conclusión concreta, generando un sentimiento de desatención por parte de los clientes internos.

- **Comunicación entre departamentos y turnos**

Como se mencionó, la existencia de turnos comprimidos y el crecimiento de la empresa crea que la comunicación entre los turnos y departamentos muchas veces sea complicada o nula por las horas en que los turnos nocturnos necesitan soporte.

4.1.1.2 Factores externos

Oportunidades

- **Automatización de los equipos de medición**

El proceso de la empresa requiere como tal de una verificación dimensional de los sensores producidos, por lo cual la integración y automatización de los equipos de medición ayudaría a reducir los tiempos de medición y hacer el proceso más esbelto.

- **Desarrollar un segundo proveedor de materia prima**

Debido a su rápido crecimiento y al convertirse en el único proveedor del cliente final, es indispensable para la empresa MicroLaser localizar un segundo suplidor que pueda cumplir con los estándares de calidad y la demanda necesarios, con el fin de poder garantizar las demandas del cliente.

- **El crecimiento de la empresa abre más oportunidades de crecimiento personal**

El desarrollo del personal interno es muy importante ya que el conocimiento obtenido por años de laborar para la empresa se convierte en un activo de alto valor, por lo cual conocer las habilidades, destrezas y estudios personales de cada colaborador y otorgar nuevas oportunidades laborales para los empleados es conveniente. A su vez, la oportunidad de reclutar personal nuevo con experiencia en la compañía implica integrar conocimiento y destrezas novedosas.

- **Buscar convenios con instituciones o suplidores para impartir cursos de las actividades o equipos de la compañía**

El desarrollo de los empleados en temas que coinciden con la actividad empresarial de la compañía es relevante porque ayuda a un crecimiento del personal y de la compañía, así como crea un sentimiento de pertenencia en los empleados. De este modo, el establecimiento de lazos de entrenamiento entre instituciones y entes de servicios de equipos es una oportunidad muy buena para la compañía y los empleados en su desarrollo mutuo.

- **Entrenamientos internos con el personal de Estados Unidos que cuenta con mayor conocimiento de los equipos**

Las máquinas y los procesos son desarrollados por el Departamento de R&D (Research and Development, según sus siglas en inglés; o bien, Investigación y Desarrollo en español). Este conocimiento se debe transferir a los departamentos de Calidad, Ingeniería y Mantenimiento para lograr un conocimiento más profundo de los defectos del

proceso y los fallos de los equipos, con el objetivo de poder desarrollar con bases más sólidas soluciones concretas en el proceso.

- **Distribución de las líneas de producción (layout)**

Al crecer tan rápido la empresa y no tener desde sus orígenes una visión clara de la expansión del negocio, la distribución de las aéreas y organización del proceso no son las óptimas, por lo cual es necesario desarrollar un plan para la reubicación de las máquinas y líneas de producción; en cuanto a esto, aunque a corto plazo sería una inversión muy alta para la compañía, a largo plazo podría resultar muy beneficioso para la producción.

Amenazas

- **Retrasos en la entrega de materia prima**

El contar solo con un suplidor y turnos comprimidos 24/7 solo en el aérea productiva y no en el Departamento de Cadena de Suministros crea una amenaza latente de quedar sin suministros de materia prima para algunas de las líneas de producción.

- **Máquinas detenidas por falta de repuestos**

El rápido crecimiento del área productiva, así como los conflictos socioeconómicos de la pandemia y la guerra han traído problemas de espacio para repuestos críticos y tiempos de entrega cada vez más altos en componentes electrónicos, lo que genera tiempos de disponibilidad en repuestos necesarios para reparaciones o mantenimientos muy excesivos.

- **Falta de gases por la guerra entre los principales países exportadores**

Para la creación del rayo láser, los equipos necesitan tres gases, a saber, el neón, el criptón y el flúor, además para el proceso se requiere helio industrial, pero estos son exportados desde Ucrania y Rusia, lo que ha aumentado su precio y dificultado su disponibilidad. Una carencia en estos gases podría detener por completo la producción de las líneas de MicroLaser.

4.1.2 Matriz de estrategia

La matriz de estrategias es explicada por Jiménez (2019) de la siguiente manera:

Esta metodología te ayuda a hacer conexiones entre cada cuadrante del análisis, las cuales te servirán más adelante para combinar la información disponible y crear estrategias FODA. Para ello, hay que proceder de la siguiente forma:

Fortalezas – Oportunidades. Se trata de usar las fortalezas internas para aprovechar las oportunidades. ¿Cuáles de las fortalezas de tu empresa pueden servir para maximizar las oportunidades identificadas?

Fortalezas – Amenazas. Hay que encontrar la forma de utilizar las fortalezas para minimizar las amenazas. ¿Cómo pueden emplearse las fortalezas para evitar o reducir el impacto potencial de las amenazas?

Debilidades – Oportunidades. El objetivo es reducir las debilidades aprovechando las oportunidades. ¿Qué acciones puedes emprender para minimizar los puntos débiles de tu empresa haciendo uso de las oportunidades al alcance del negocio?

Debilidades – Amenazas. Se requiere trabajar para eliminar las debilidades, con el objeto de evitar amenazas. ¿Cómo puedes minimizar los puntos débiles del negocio para reducir el impacto potencial de la amenaza?

Figura 4.2: Matriz de estrategias de la línea de producción de MicroLaser

<p>MATRIZ DE ESTRATEGIA LINEAS DE PRODUCCION MICROLASER.</p>	<p>OPORTUNIDADES</p> <p>O1. Automatización en equipos de medición.</p> <p>O2. Entrenamientos internos con el personal de Estados Unidos que cuenta con mayor conocimiento de los equipos.</p> <p>O3. Distribución de la planta (layout).</p> <p>O4. Mejoras en los equipos existentes para mejorar el proceso.</p>	<p>AMENAZAS</p> <p>A1. Retrasos en entrega de materia prima.</p> <p>A2. Maquinas detenidas por falta de repuestos.</p> <p>A3. Falta de gases por guerra con entre los países principales exportadores.</p>
	<p>FORTALEZAS</p> <p>F1. Fuerte conocimiento en controles de calidad.</p> <p>F2. Personal de producción con mucha experiencia.</p> <p>F3. Alto conocimiento técnico en tecnologías laser.</p> <p>F4. Equipo multifuncional.</p> <p>F5. Trabajo en equipo.</p>	<p>FO MAXI-MAXI</p> <p>FO1. Desarrollar un plan de entrenamiento y soporte cruzado con Estados Unidos que permita desarrollar a un más los conocimientos de Calidad, Ingeniería y técnico sobre los equipos laser.</p> <p>FO2. Por medio de los equipos multifuncionales colaborar para la creación de rutinas en equipos de medición, así como el análisis de la distribución de la planta (layout).</p>
<p>DEBILIDADES</p> <p>D1. Muchas áreas de mejora por rápido crecimiento de la compañía.</p> <p>D2. Diferencia de criterios entre turnos.</p> <p>D3. Mucho downtime e inestabilidad de las maquinas por cambios de generaciones.</p> <p>D4. Comunicación entre departamentos y turnos.</p>	<p>DO MINI-MAXI</p> <p>DO1. Definir prioridades para las áreas de mejora y colocarlos dueños para dar seguimiento a las tareas.</p> <p>DO2. Trabajar en un plan con los departamentos de Calidad y Entrenamiento para la mejora de criterios.</p> <p>DO3. Producción, Ingeniería y Planeamiento deben realizar ejercicios de conocimiento cruzado para poder planear mejor minimizando los cambios de generación.</p>	<p>DA MINI-MINI</p> <p>DA1. Implementar sistemas de manejos de materiales como Kanban, FIFOS y Safety Stock para garantizar los suministros de materia prima y el manejo correcto del producto terminado.</p>

Fuente: Propia, 2023.

Estrategia FO1: Desarrollar un plan de entrenamiento y soporte cruzado con Estados Unidos que permita desarrollar aún más los conocimientos de calidad, ingeniería y técnicos sobre los equipos láser

El equipo de MicroLaser en Estados Unidos cuenta con más de diez años en la empresa y también fue el diseñador de los equipos que posee la compañía en Costa actualmente, por lo cual el desarrollo de entrenamientos entre las plantas podría fortalecer aún más a

los departamentos en Costa Rica para generar oportunidades de mejora en los procesos y la automatización de varios equipos.

Estrategia FO2: Por medio de los equipos multifuncionales, colaborar para la creación de rutinas en equipos de medición, así como el análisis de la distribución de la planta (layout)

Con la ayuda de los expertos de tantas áreas diferentes, establecer si es posible desarrollar rutinas en los equipos de medición utilizando el conocimiento interno para disminuir los tiempos de medición, o bien, localizar una empresa experta que pueda desarrollarlas. Asimismo, planificar un plan estratégico de cuál sería la mejor distribución de las líneas de producción según el flujo y las necesidades del proceso, a su vez determinar el tiempo y la viabilidad del proyecto.

Estrategia DO1: Definir prioridades para las áreas de mejora y colocar dueños para dar seguimiento a las tareas

El rápido crecimiento de la compañía trae muchas más funciones y mejoras, por lo cual es indispensable definir las prioridades de cada una y dar seguimiento mediante un representante que asegure su cierre para evitar que estas áreas de mejora se conviertan en falencias.

Estrategia DO2: Trabajar en un plan con los departamentos de Calidad y Entrenamiento para la mejora de criterios

El rápido crecimiento de la empresa también conlleva un aumento del personal nuevo y que la población de colaboradores de más experiencia sea mejor, abriendo esto la posibilidad de que los criterios se tergiversen entre los turnos, principalmente en los de la noche que tienen menos soporte por parte de las áreas administrativas.

Estrategia DO3: Producción, Ingeniería y Planeamiento deben realizar ejercicios de conocimiento cruzado para poder planear mejor minimizando los cambios de generación

Una buena comunicación entre estos departamentos y el conocimiento cruzado de roles y deberes es una idea muy fructífera principalmente en el momento de efectuar el plan de producción. Si el Departamento de Planeación conoce el costo que conlleva un cambio en los equipos, podría ser más eficiente para determinar la necesidad de hacer un cambio en una máquina.

Estrategia FA1: Por medio de los equipos multifuncionales, desarrollar un plan para gestionar los inventarios, repuestos críticos, ABC, punto de reorden y aumento de mínimos y máximos para minimizar el impacto en los tiempos de entrega

MicroLaser en estos momentos no cuenta con un sistema robusto para el manejo correcto de inventarios, esta falencia ha sido de mucho impacto para la empresa en los últimos años debido al COVID-19, la guerra y los altos tiempos de entrega actuales. Mediante un equipo multifuncional se puede desarrollar una estrategia que garantice los suministros a todas las áreas y, de esta manera, minimizar los impactos externos a la compañía.

Estrategia DA1: Implementar sistemas de manejos de materiales como Kanban, FIFO y Safety Stock para garantizar los suministros de materia prima y el manejo correcto del producto terminado

Con los problemas de suministros que aquejan a la empresa en los últimos tiempos, el manejo del inventario de materia prima y producto terminado es esencial para el cumplimiento de las metas con el cliente. El cumplimiento a tiempo de las entregas de los pedidos a los clientes es la clave para generar confianza y afianzar relaciones comerciales.

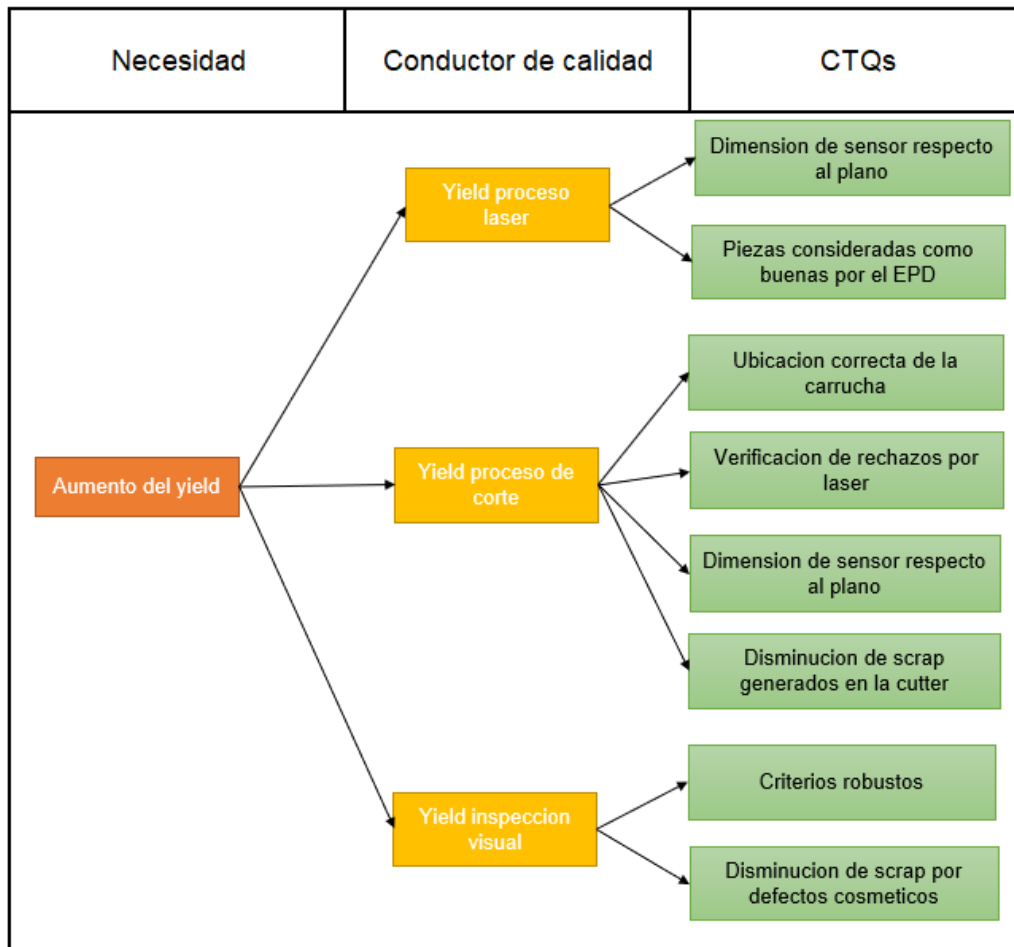
Después de efectuar el análisis FODA, se determinó que la estrategia más idónea para abordar la problemática que en estos momentos aqueja a la compañía es la *FO1 Desarrollar un plan de entrenamiento y soporte cruzado con Estados Unidos que permita desarrollar aún más los conocimientos de calidad, ingeniería y técnicos sobre los equipos láser*, por medio de lo cual, como lo solicitó la gerencia, se trató de encontrar una solución sin incurrir en una inversión, o bien, con una inversión mínima utilizando los recursos en conocimiento y tecnología con que ya cuenta la compañía para dar soluciones ingeniosas e innovadoras.

4.1.3 Árbol CTQ

En esta etapa se midió el desempeño actual del proceso que se busca mejorar. Para determinar la voz del cliente, se realizaron entrevistas a los supervisores e ingenieros de calidad, con el propósito de establecer los indicadores y tipos de defectos que se utilizaron durante el proyecto.

Seguidamente, se identificaron las características críticas de la calidad para los sensores en las áreas de láser, corte e inspección visual y se plasmó esa información en un CQT (Critical Quality Tree, por sus siglas en inglés) como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4.3: Árbol CTQ de la línea de producción de MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

Yield del proceso Láser: Para mantener el *yield* en el proceso Láser, se debe cumplir con las dimensiones del plano proporcionado por el cliente, además las piezas deben ser inspeccionadas por el sensor EPD, el cual determina que la cantidad de material residual en la pieza sea el adecuado.

Yield del proceso de Corte: Con la finalidad de conservar el *yield* en esta operación, es necesario procurar que el enhebrado en la máquina sea el adecuado y haber tenido un control de los rechazos en el proceso anterior de Láser, ya que en este proceso es donde se registran dichos rechazos. Al ser esta operación la de individualizar los sensores, el punto en el corte debe garantizar que las dimensiones estén de acuerdo con el plano proporcionado por el cliente, al mismo tiempo se deben controlar los rechazos generados

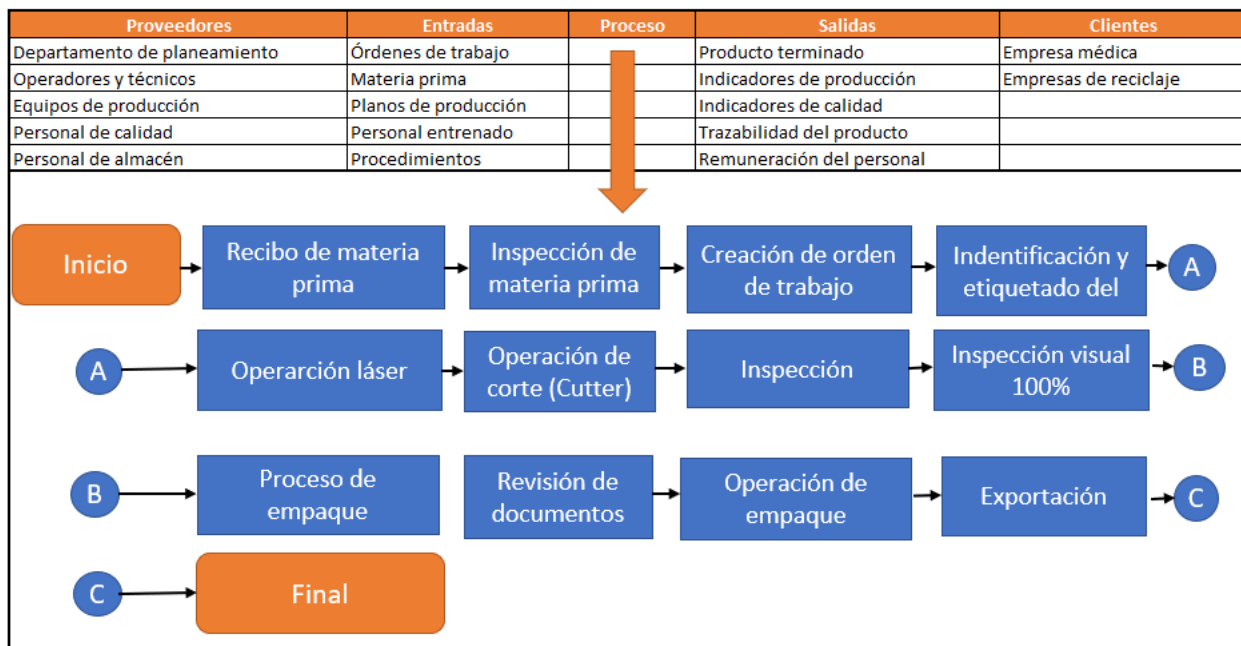
en este proceso por problemas con el sistema de visión y defectos visuales en el acabado del corte.

Yield del proceso de Inspección Visual: Se debe garantizar que el personal por medio de un entrenamiento adecuado genere criterios robustos durante el proceso de Inspección Visual para no originar fallos ni rechazos e impactar el *yield*. Si se logra asegurar un control adecuado del *yield* en los procesos anteriores, es posible impedir que los defectos lleguen hasta esta etapa de la línea de producción.

4.1.4 Diagrama SIPOC

El diagrama SIPOC ayuda a identificar cuáles son las entradas, las salidas, los proveedores y los clientes del proceso. Asimismo, posibilita plasmar una perspectiva más amplia del proceso, mostrando de dónde viene y hacia dónde va el flujo del mismo. También permite organizar la información relevante de los procesos por analizar y es el primer paso para construir un diagrama de flujo detallado.

Tabla 4.1: Diagrama SIPOC de la línea de producción de MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

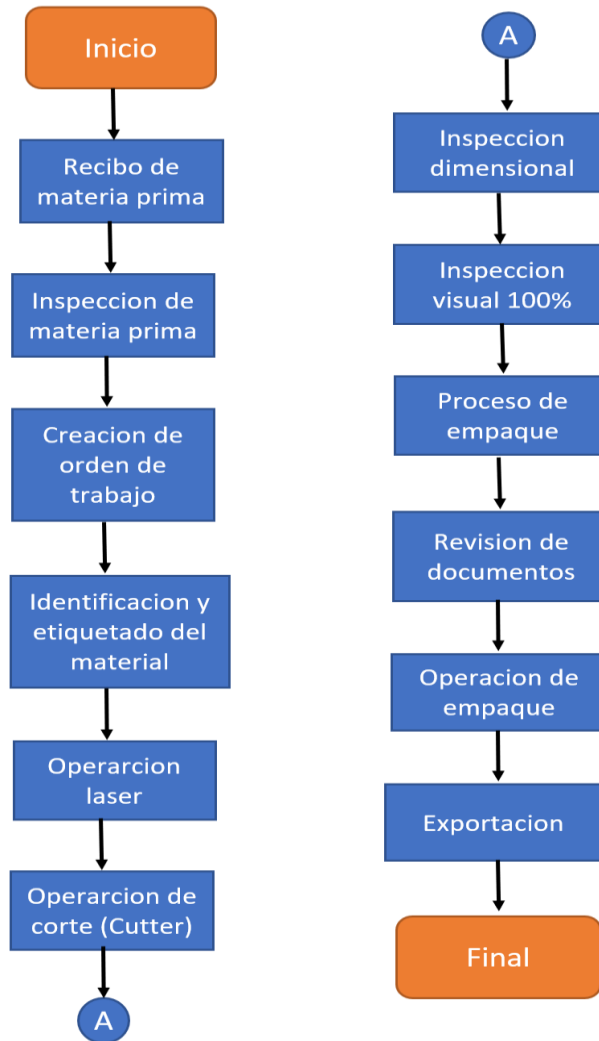
- **Suplidor:** En esta fase se determina todo el grupo de colaboradores que brindan un servicio, información, materiales y otros recursos para el funcionamiento del proceso. Además, es un punto normalmente utilizado para realizar la planeación de la producción y la creación de las órdenes de trabajo con respecto a esta.
- **Entradas:** Estas entradas son las provenientes del proceso anterior. El suplidor alimenta acerca de las funciones del proceso con información o materiales proporcionados por los proveedores, que se consumen o transforman en el proceso. Se deben identificar los *inputs* clave que afectan el funcionamiento del proceso.
- **Proceso:** En esta etapa se muestra un diagrama de flujo de doce pasos que se explican en el punto 4.1.5.
- **Salidas:** Respecto a esta etapa, se obtienen los productos terminados, el producto final, la documentación, los indicadores de calidad y la trazabilidad del producto. También, se mide el estado en el que se encuentra el proceso y, de esta manera, se conoce en cuál salida se debe enfocar el proyecto.
- **Cliente:** Es el cliente final que recibe el producto terminado, o bien, es una etapa del proceso posterior interna o externa dependiendo de dónde se haya ejecutado el diagrama SIPOC. En este caso en concreto, es enviado a un cliente externo para continuar con las siguientes etapas de ensamble del dispositivo médico final.

4.1.5 Diagrama de flujo

Por medio de este diagrama de flujo, se analizaron de una forma más visual las características del proceso en las líneas de producción de la empresa MicroLaser.

Un mapeo de los procesos se utiliza para documentar y analizar el flujo de estos, a la vez permite entender cuáles son las entradas y las salidas para determinar las áreas por mejorar.

Figura 4.4: Diagrama de flujo de la línea de producción de MicroLaser



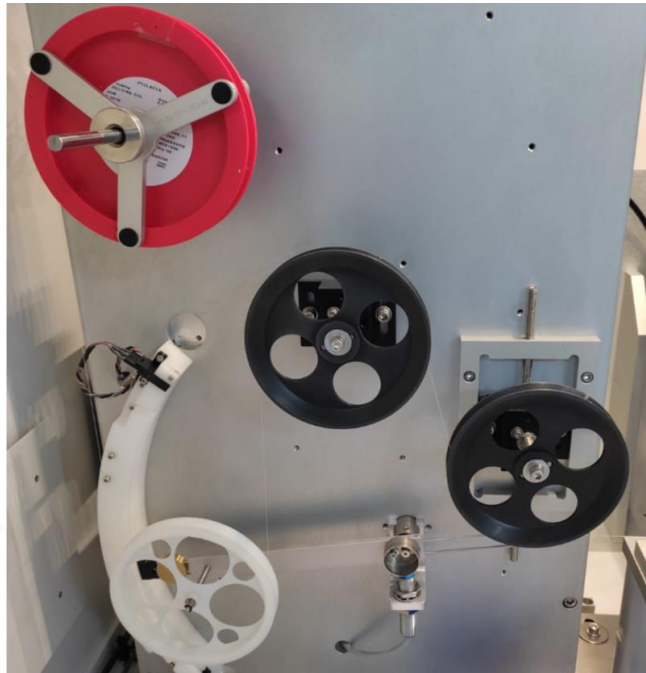
Fuente: Propia, 2023.

A continuación, se detallan los procesos que agregan valor a la fabricación del sensor analizado.

4.1.5.1 Operación Láser

En esta operación la materia prima es colocada en la máquina para ser procesada. Al respecto, la materia prima consta de un cable con tres capas de recubrimiento, un centro de platino, y una capa de poliuretano y cloruro de plata; además, viaja en una carrucha con varios pies de largo.

Figura 4.5: Carrucha de materia prima



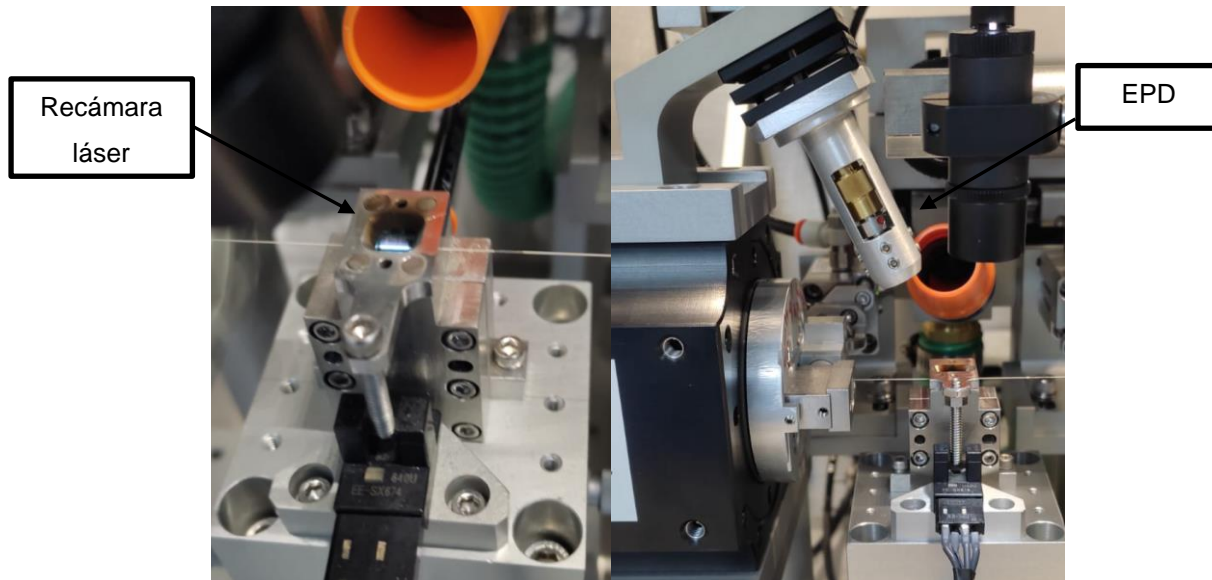
Fuente: Propia, 2023.

Luego el cable avanza por la máquina hasta llegar a una recámara donde es impactado por el láser varias veces hasta que tenga la forma deseada. Cabe mencionar que por ser la materia prima un cable de varios pies de largo sin cortar, el final de un sensor impactado por el láser es el principio de la siguiente pieza.

La máquina posee un sensor llamado EDP (Electronic Particle Detector), que toma una lectura de cada sensor producido para determinar si las capas fueron removidas exitosamente de acuerdo con el plano del sensor. Si el EPD detecta que un sensor todavía tiene residuos de alguna de las tres capas que lo componen, automáticamente

dispara el láser para hacer una marca en el sensor, la cual es detectada en el siguiente proceso.

Figura 4.6: Recámara láser y EPD de la máquina



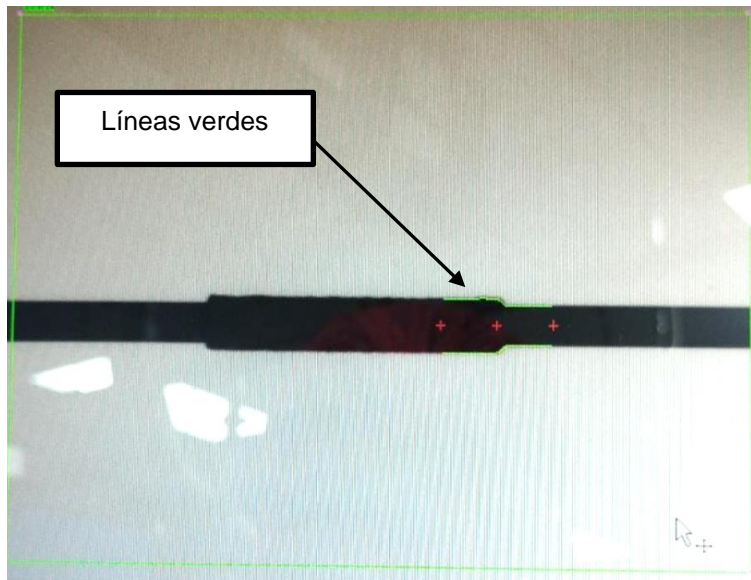
Fuente: Propia, 2023.

Luego, el cable con láser vuelve a enrollarse en otra carrucha para después transportarse a la siguiente operación.

4.1.5.2 Operación de Corte

En esta operación es donde se cortan los sensores para individualizarlos. La carrucha con los sensores del proceso Láser es colocada en la máquina y se transporta hasta un sistema de visión que compara una imagen preentrenada en el equipo con una dimensión del sensor, con el propósito de identificar si el sensor está bien orientado para realizar el corte.

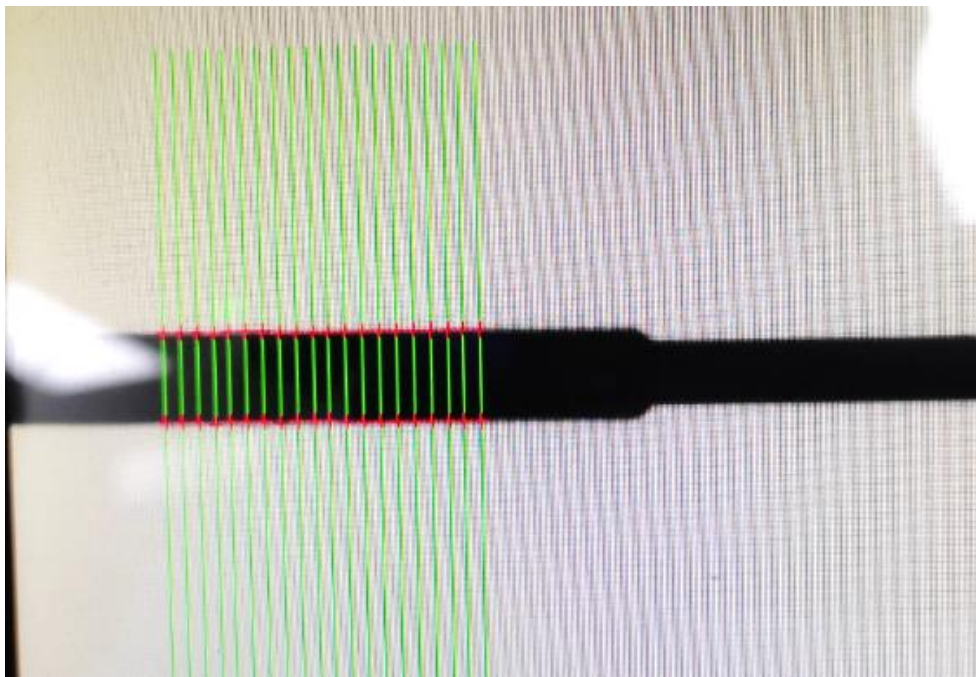
Figura 4.7: Punto de comparación con la imagen preentrenada



Fuente: Propia, 2023.

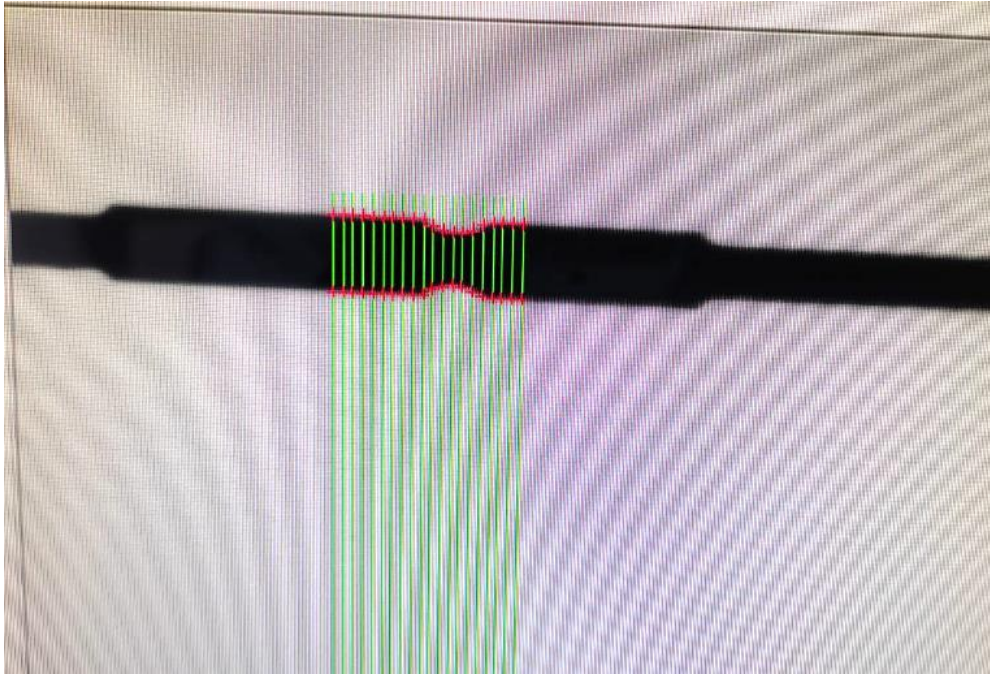
También revisa si el láser le hizo una marca al sensor, la cual indica que la pieza fue rechazada en este proceso. Si se detecta esta condición, la máquina cortadora rechaza el sensor que está antes y después de la marca.

Figura 4.8: Ejemplo de un sensor bueno



Fuente: Propia, 2023.

Figura 4.9: Ejemplo de un sensor rechazado



Fuente: Propia, 2023.

4.1.5.3 Operación de Inspección Dimensional

En esta operación se toma un muestreo de la cantidad total del lote y se revisa dimensionalmente para detectar sensores fuera de especificación.

4.1.5.4 Operación de Inspección Visual

En esta operación se revisan los sensores por completo en busca de defectos visuales generados en las operaciones Láser y de Corte.

4.2 MEDIR

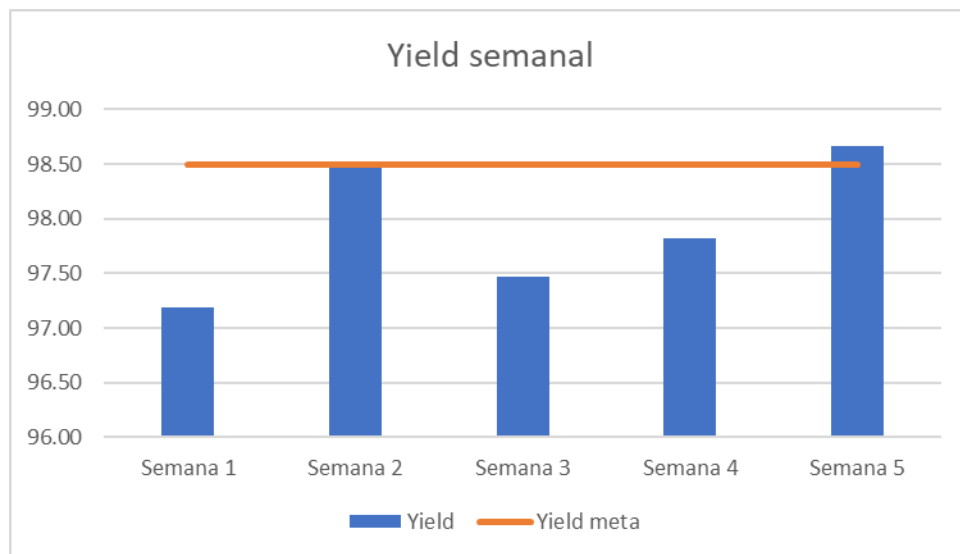
Esta etapa se enfocó en medir la situación actual del proceso, por lo tanto, se cuantificaron los indicadores críticos establecidos con anterioridad y se determinó la magnitud de los problemas y objetivos por alcanzar.

4.2.1 Impacto de los procesos actuales

Actualmente la empresa MicroLaser tiene 18 líneas de producción para la manufacturación del sensor que se analizó en este estudio. Al respecto, en esta etapa del DMAIC, se analizó de una manera cuantitativa el impacto ocasionado por los defectos del proceso que generó la actualización del *software*.

Así, se tomaron como referencia inicial los datos de cinco semanas antes de la ejecución de la actualización del *software* para poder establecer un patrón en el comportamiento del *yield* y sus principales contribuyentes.

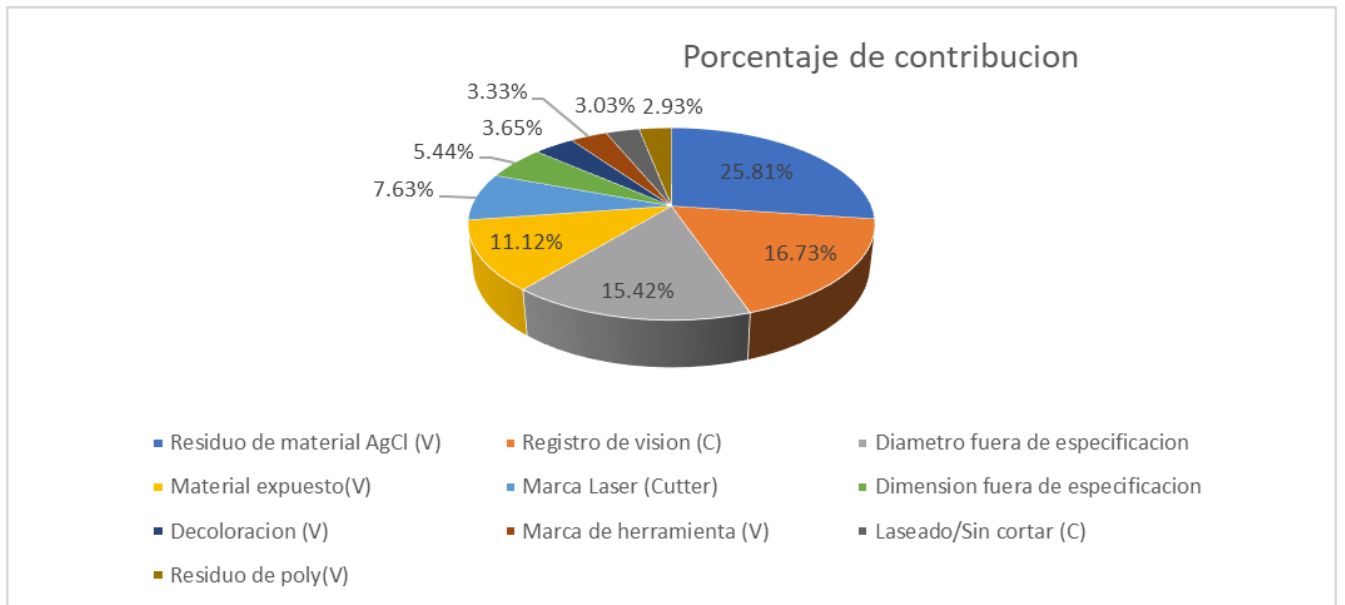
Figura 4.10: Gráfico del comportamiento del *yield* previo a la actualización del *software*



Fuente: Propia, 2023.

En la gráfica se observa el *yield* usado de control antes de la actualización; con relación a esto, se aprecia que en algunas semanas sí se logró la meta del 98.5 %, pero en otras semanas se quedó muy por debajo de lo establecido.

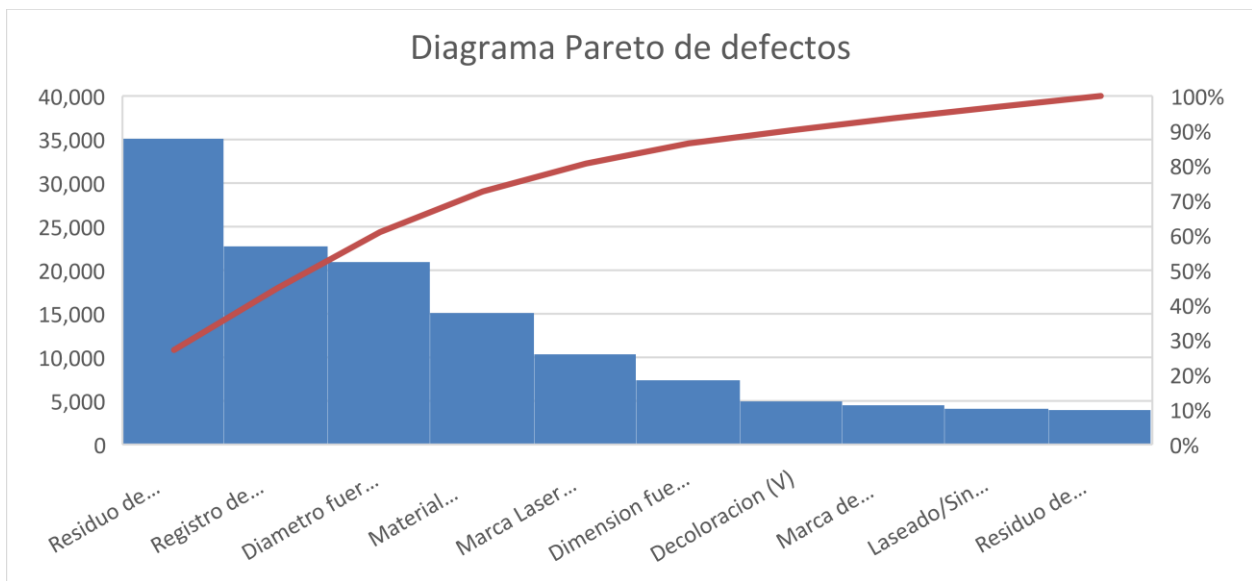
Figura 4.11: Porcentaje de contribución de cada defecto



Fuente: Propia, 2023.

En esta gráfica se muestra el porcentaje de participación de cada defecto, entre los más significativos sobresalen: residuo de material AgCL, registro de visión, diámetro fuera de especificación y material expuesto; estos cuatro defectos sumaron el 69.08 % del *scrap* reportado en las cinco semanas analizadas.

Figura 4.12: Gráfico de Pareto de defectos

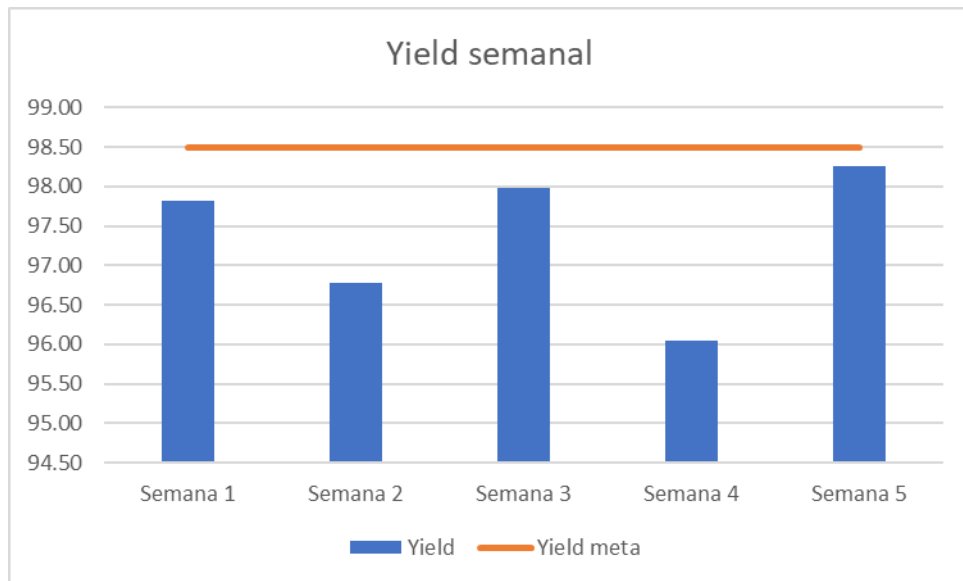


Fuente: Propia, 2023.

El gráfico de Pareto anterior confirmó la cantidad de impacto, la distribución de los defectos y el comportamiento de la producción referente a sus indicadores de calidad.

A continuación, se analizó el proceso actual de MicroLaser después de la actualización del *software*, empleando las mismas gráficas del análisis inicial, por lo que se utilizó la misma cantidad de semanas.

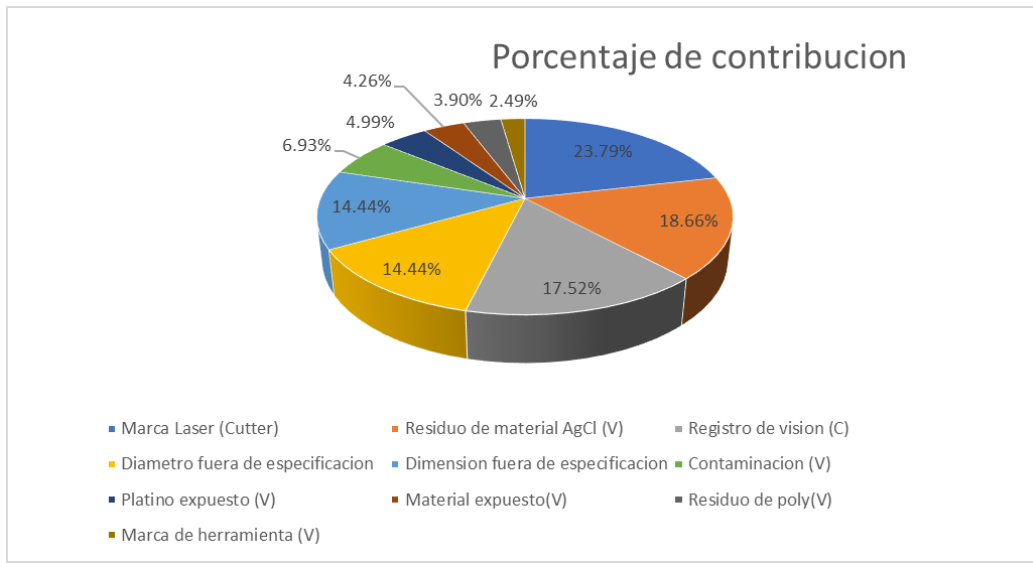
Figura 4.13: Gráfico del comportamiento del yield después de la actualización del software



Fuente: Propia, 2023.

Al observar los datos brindados por la gráfica, se determinó que el comportamiento de las líneas de producción después de la actualización del *software* presentó un rendimiento más bajo; de este modo, en ninguna de los cinco semanas se logró la meta de 98.5 %, sino un porcentaje de cumplimiento menor que las semanas previas a la actualización.

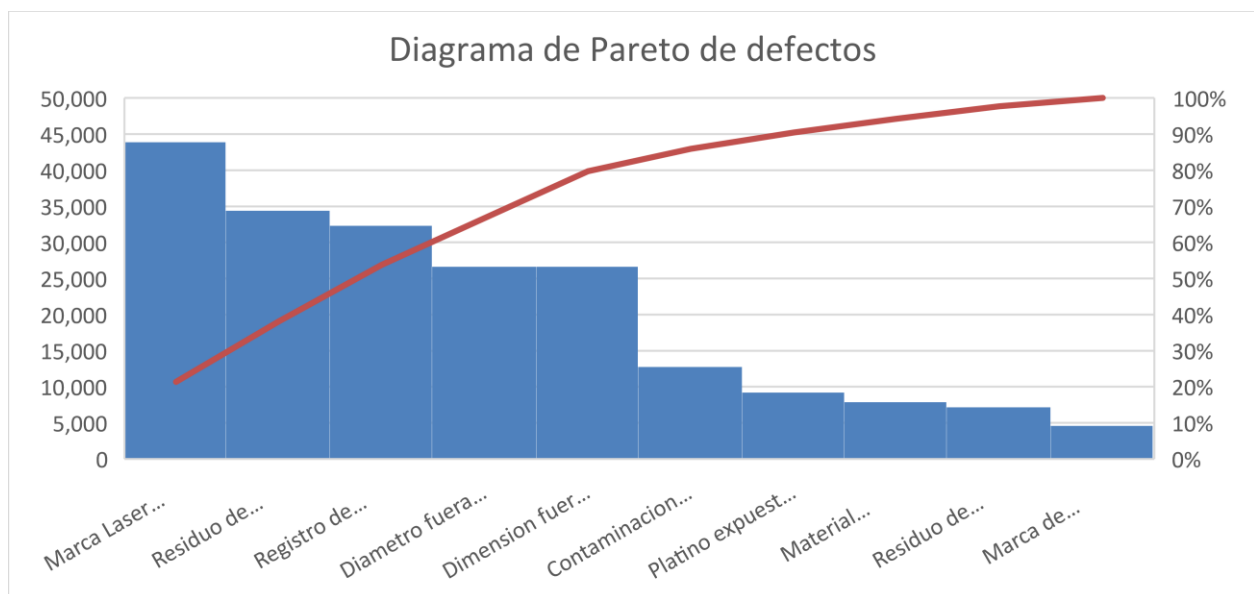
Figura 4.14: Porcentaje de contribución de cada defecto



Fuente: Propia, 2023.

La distribución en los porcentajes de contribución cambió, ahora se experimentan defectos que antes tenían menos participación e incluso se encuentran entre los más significativos, por ejemplo, Marca Láser que con anterioridad presentaba una participación de un 7.63 % pasó a una de 23.79%, siendo el defecto con mayor aporte que creció en casi un 312 % después del cambio en las máquinas.

Figura 4.15: Gráfico de Pareto de defectos



Fuente: Propia, 2023.

En el diagrama de Pareto se observa que el comportamiento del defecto Marca Láser estaba en quinto lugar, pero subió hasta un primer lugar en cantidad de defectos.

4.2.2 Descripción del defecto

Según los datos analizados, se presentan varios defectos, entre ellos destaca el de Residuo de Material, el cual está entre el 80-20 de los gráficos de Pareto antes y después de la actualización, pero este defecto como los de Diámetro y Dimensiones Fuera de Especificación están dentro de los proyectos que los departamentos de Calidad e Ingeniería se encuentran desarrollando.

El defecto que tuvo un aumento significativo y no está bajo ningún proyecto de mejora continua es el Marca Láser, tampoco se cuenta con presupuesto para invertir en el mismo. Debido a esto, y a que la actualización del *software* es muy importante para la compañía, surgió la necesidad de disminuir o expeler al máximo posible el defecto.

El defecto Marca Láser proviene del proceso Láser; en cuanto a esto, mientras el láser impacta el cable con el haz de luz, un sensor llamado EDP (Electronic Particle Detector) identifica si todas las capas del cable fueron removidas exitosamente; si la máquina determina que no es así, dispara un haz de luz para crear una marca en la pieza rechazada.

En el siguiente proceso, se realiza el corte y la individualización de los sensores, en este proceso el equipo cuenta con un sistema de visión que revisa todo el cable procesado por el láser en busca de los marcados como rechazos para desecharlos.

Figura 4.16: Ejemplo de un sensor bueno



Fuente: Propia, 2023.

Figura 4.17: Ejemplo de un sensor rechazado



Fuente: Propia, 2023.

4.2.3 Cuantificación económica del defecto crítico

En esta sección se analizaron las pérdidas de la compañía por el aumento del defecto Marca Láser.

Tabla 4.2: Costos por defecto Marca Láser

Semana	Unidades rechazadas	Costo de producción	Costo oportunidad de venta	Ganancias totales
Semana 1	7,259	\$ 5,807.20	\$ 12,195.12	\$ 6,387.92
Semana 2	9043	\$ 7,234.40	\$ 15,192.24	\$ 7,957.84
Semana 3	9,582	\$ 7,665.60	\$ 16,097.76	\$ 8,432.16
Semana 4	10560	\$ 8,448.00	\$ 17,740.80	\$ 9,292.80
Semana 5	7441	\$ 5,952.80	\$ 12,500.88	\$ 6,548.08
Total	43,885	\$ 35,108.00	\$ 73,726.80	\$ 38,618.80

Fuente: Propia, 2023.

Los resultados de la tabla anterior son con base en las cinco semanas donde se analizaron los datos del rendimiento de producción después de la actualización del *software*.

En la primera columna, está la semana en la que se tomaron los datos; en la segunda, la cantidad de defecto; en la tercera, el costo por producir el sensor hasta ese punto del proceso, el cual es de \$ 0.8 por unidad; en la siguiente columna, hay una pérdida referente a la oportunidad de compra, es decir, la cantidad que pierde la compañía por no entregar ese sensor a su cliente final (al respecto, el precio de venta de cada sensor para el cliente es de \$ 1.68 por unidad) y, por último, la cantidad de dinero que la empresa dejó de percibir descontando los gastos de producción.

Las pérdidas por rendimiento en el proceso de manufactura en el intervalo de tiempo estudiado fueron \$ 35 108.00, mientras que las pérdidas de la compañía fueron por \$ 38 618.80, un 110 % menos en ganancias.

4.3 ANALIZAR

En esta etapa se hizo énfasis en las oportunidades de mejora analizando los datos obtenidos en las etapas anteriores Definir y Medir.

La información recopilada de la etapa anterior fue analizada y se compararon los resultados obtenidos con la información histórica que se tenía de referencia, con el objetivo de desarrollar y comprobar hipótesis acerca de una posible causa raíz del problema.

4.3.1 Lluvia de ideas

Se llevó a cabo una reunión donde participó un equipo multidisciplinario de expertos del proceso de manufactura de las líneas analizadas, donde por medio de la técnica de lluvia de ideas se pretendió analizar desde diferentes perspectivas todas las posibilidades de la causa raíz de la problemática: “¿Por qué ha aumentado el defecto Marca Láser?”.

A continuación, se detalla el grupo invitado a la reunión para desarrollar la técnica de lluvia de ideas:

- Supervisor de producción, 1 persona.
- Ingeniero de manufactura, 1 persona.
- Ingeniero de calidad, 1 persona.
- Líder de producción, 1 persona.
- Operarios, 2 personas.
- Técnico de manufactura, 1 persona.

En la siguiente tabla se muestra una lista de las principales causas recopiladas por medio de la sesión de lluvia de ideas:

Tabla 4.3: Tabla de resultados de la lluvia de ideas de la línea de producción de MicroLaser

No.	Lluvia de ideas
1	Las maquinas son inestables
2	Por descuido de los operarios
3	Las maquinas son más rápidas y sacan más defectos por hora
4	Cuando se hacen cambios de generación.
5	El personal no está sacando el yield cada hora como se les pide.
6	Los técnicos no reparan bien las maquinas
7	Personal mal entrenado
8	Diferencia de criterios entre turnos
9	Operarios se van a distraer a otras líneas descuidando las maquinas.
10	Mala distribución de las líneas (layout).
11	La materia prima viene defectuosa

Fuente: Propia, 2023.

- **Las máquinas son inestables:** Las máquinas funcionan con tres gases diferentes para crear el haz de luz láser, esto hace que con el tiempo el láser se degrade y sea necesario hacer intervenciones para volver a renovar el haz de luz del láser.
- **Por descuido de los operarios:** Los operarios descuidan las máquinas y no se dan cuenta de que están rechazando hasta que tienen mucho material defectuoso acumulado.
- **Las máquinas son más rápidas y sacan más defectos por hora:** El aumento de la velocidad por la actualización del *software* provoca que cuando se cometen descuidos en las máquinas, el porcentaje de afectación en el *yield* sea mayor.
- **Cuando se hacen cambios de generación:** Los cambios de generación producen una mayor inestabilidad en las máquinas, aumentado de posibilidad de que se produzcan rechazos.

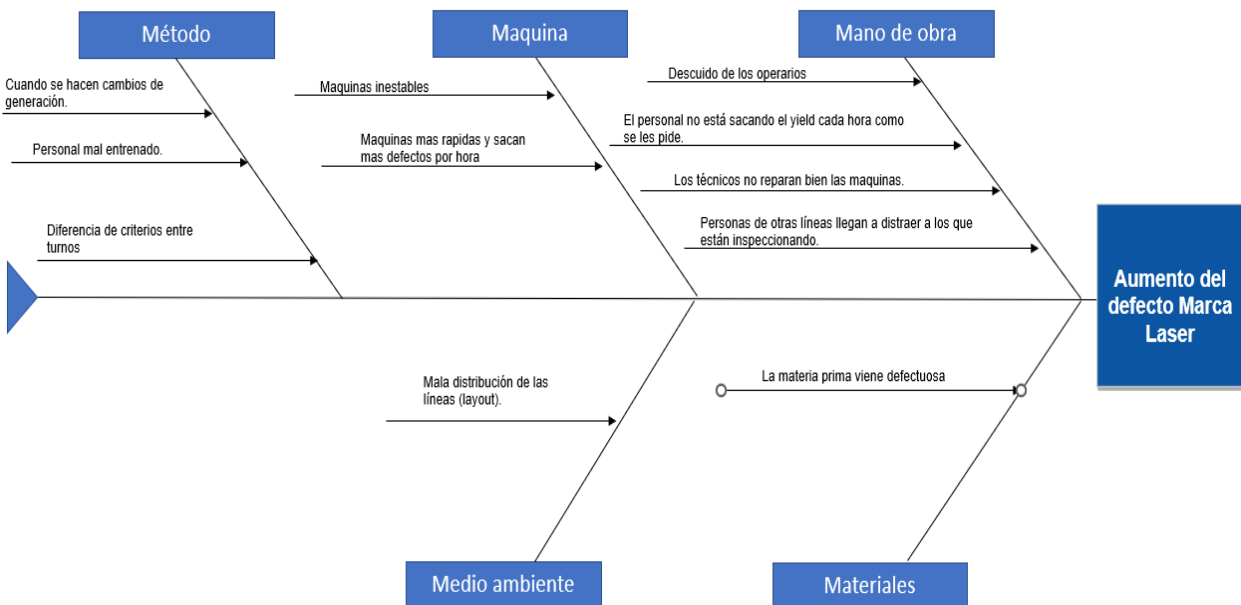
- **El personal no está sacando el *yield* cada hora como se le pide:** Según la estandarización del trabajo, como parte de los roles de los operarios, estos deben sacar el *yield* de las máquinas y de inspección visual cada hora.
- **Los técnicos no reparan bien las máquinas:** Los técnicos no reparan bien las máquinas luego de las intervenciones y esto impacta el *yield* del proceso.
- **Personal mal entrenado:** El personal no se encuentra bien entrenado, por consiguiente, no sabe calcular bien el *yield* o no sabe cada cuánto debe hacerlo.
- **Diferencia de criterios entre turnos:** El criterio entre turnos no está alineado, lo cual produce que cuando se hacen los cambios, un turno rechace lo que para el otro es material aceptable.
- **Operarios se van a distraer a otras líneas descuidando las máquinas:** El personal va a hablar entre las líneas, lo que crea un descuido por máquinas desatendidas y operarios distraídos de sus funciones.
- **Mala distribución de las líneas (*layout*):** Por el rápido crecimiento y un mal planeamiento en la distribución de las líneas de producción, algunas máquinas se encuentran lejos de las mesas de inspección donde están los operarios la mayor parte del tiempo, esto dificulta la atención de las máquinas.
- **La materia prima viene defectuosa:** Las capas del cable no vienen uniformes o de acuerdo con el plano, lo cual hace que el proceso Láser no sea estable, generando rechazos.

4.3.2 Diagrama de Ishikawa

Con ayuda del mismo equipo multidisciplinario, se diseñó un diagrama de Ishikawa, con el fin de identificar de manera clara las causas que están contribuyendo al aumento del defecto estudiado: Marca Láser.

Por medio del análisis del Ishikawa, se realizó la clasificación de las posibles causas identificadas en la técnica de lluvia de ideas según su naturaleza: método, máquina, mano de obra, medioambiente y materiales.

Figura 4.18: Diagrama de Ishikawa de la línea de producción de MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

4.3.3 Multivoto

Empleando la información recolectada de la lluvia de ideas y clasificada en el diagrama de Ishikawa, se realizó el multivoto, con el propósito de asignarle valor a cada una de las causas analizadas. Ahora bien, las causas descartadas en el Ishikawa no fueron tomadas en cuenta.

Para ello, se efectuó la votación que demanda esta herramienta aplicando los siguientes pasos:

1. Se colocaron todas las ideas recolectadas en un cuadro de Excel sin ningún orden de prioridad.
2. Al mantenerse once posibles causas identificadas, se estableció que cada uno de los miembros del grupo de trabajo votara asignando a cada una de las ideas un valor de 1 a 11 puntos sin repetir el valor para otros ítems.
3. Luego de esto, se llevó a cabo la suma de todas las votaciones por cada una de las ideas, para determinar un total por ideas.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado de la multivotación realizada, sin establecer aún la prioridad de las causas:

Tabla 4.4: Tabla de resultados del multivoto de la línea de producción de MicroLaser

No.	Multivoto	Miembro 1	Miembro 2	Miembro 3	Miembro 4	Miembro 5	Miembro 6	Miembro 7	Total
1	Diferencia de criterios entre turnos	4	2	3	3	4	3	4	23
2	Por descuido de los operarios	9	10	9	10	11	9	10	68
3	Las maquinas son mas rapidas y sacan mas defectos por hora	10	9	10	9	9	11	9	67
4	Cuando se hacen cambios de generación.	5	6	8	5	5	5	5	39
5	El personal no está sacando el yield cada hora como se les pide.	11	11	11	11	10	10	11	75
6	Los tecnicos no reparan bien las maquinas	1	1	2	1	1	1	1	8
7	Personal mal entrenado	2	3	1	2	2	2	2	14
8	Las maquinas son inestables	7	5	5	6	6	7	6	42
9	Personas de otras líneas llegan a distraer a los que estan inspeccionando.	6	7	7	7	7	6	7	47
10	Mala distribución de las líneas (layout).	8	8	6	8	8	8	8	54
11	La materia prima viene defectuosa	3	4	4	4	3	4	3	25

Fuente: Propia, 2023.

Al ordenar la tabla multivoto anterior y, de acuerdo con el porcentaje obtenido para cada una de las causas, se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 4.5: Tabla del multivoto según el porcentaje de peso de la línea de producción de MicroLaser

No.	Multivoto segun el porcentaje de peso	Total	Porcentaje
5	El personal no está sacando el yield cada hora como se les pide.	75	16%
3	Las maquinas son mas rapidas y sacan mas defectos por hora	67	15%
2	Por descuido de los operarios	67	15%
10	Mala distribución de las líneas (layout).	54	12%
9	Personas de otras líneas llegan a distraer a los que estan inspeccionando.	47	10%
8	Las maquinas son inestables	42	9%
4	Cuando se hacen cambios de generación.	40	9%
11	La materia prima viene defectuosa	25	5%
1	Diferencia de criterios entre turnos	23	5%
7	Personal mal entrenado	14	3%
6	Los tecnicos no reparan bien las maquinas	8	2%
Total		462	100%

Fuente: Propia, 2023.

Al analizar los datos otorgados por el multivoto, se obtuvieron siete causas principales que inician en un 16 % y disminuyen a un 9 %, entre todas ellas sumaron un 85 % de los puntos asignados. Por debajo de estas causas, se encuentran los factores secundarios que inician en un 5 % y disminuyen hasta un 2 %.

4.3.4 Diagrama de Pareto

Una vez recopilados los datos del multivoto, se efectuó un análisis de estos con el fin de poder crear el diagrama de Pareto para el proceso Láser por sobrerrechazo en el defecto de Marca Láser.

En la siguiente tabla se ordenaron los defectos, desde los más votados hasta los menos votados por el grupo multidisciplinario que conformó la investigación; en cuanto a esto, se calculó su porcentaje de participación y el acumulado de dicho porcentaje:

Tabla 4.6: Tabla de análisis del diagrama de Pareto de la línea de producción de MicroLaser

No.	Analisis Diagrama Pareto	Total	Porcentaje	Porcentaje acumulado
5	El personal no está sacando el yield cada hora como se les pide.	75	16%	16%
3	Las maquinas son mas rapidas y sacan mas defectos por hora	67	15%	31%
2	Por descuido de los operarios	67	15%	45%
10	Mala distribución de las líneas (layout).	54	12%	57%
9	Personas de otras líneas llegan a distraer a los que están inspeccionando.	47	10%	67%
8	Las maquinas son inestables	42	9%	76%
4	Cuando se hacen cambios de generación.	40	9%	85%
11	La materia prima viene defectuosa	25	5%	90%
1	Diferencia de criterios entre turnos	23	5%	95%
7	Personal mal entrenado	14	3%	98%
6	Los técnicos no reparan bien las maquinas	8	2%	100%
Total		462	100%	100%

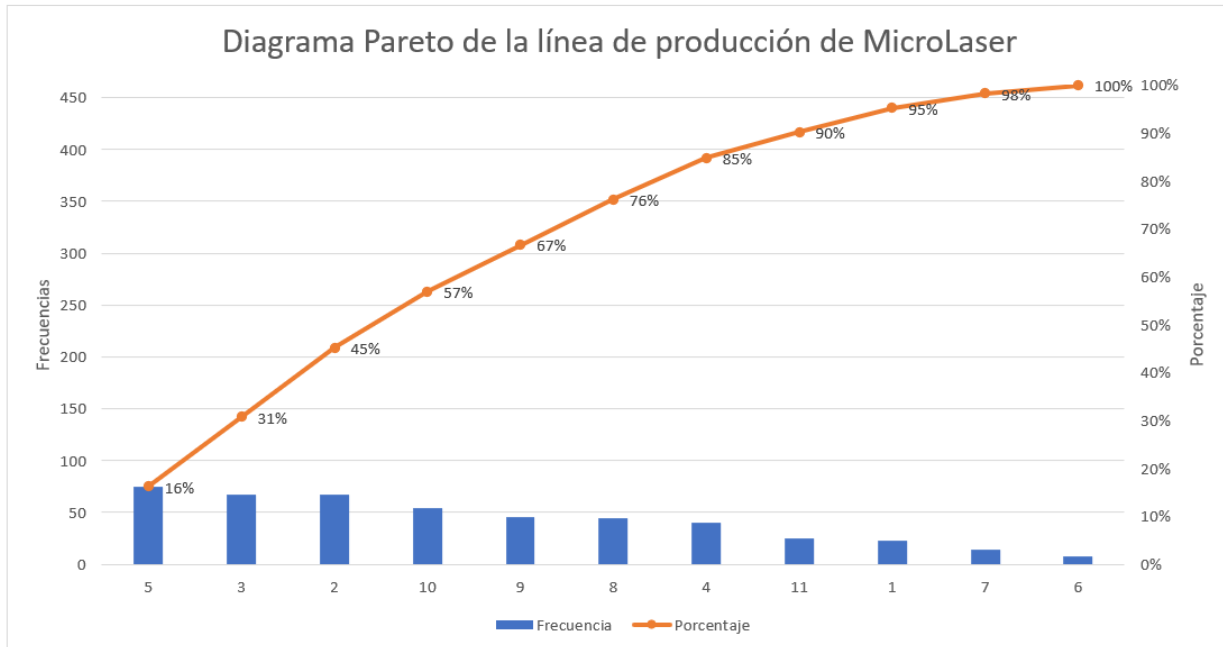
Fuente: Propia, 2023.

Recopilada la información obtenida con la herramienta del multivoto, se hizo un análisis estadístico, lo cual permitió determinar siete causas principales que afectan el *yield* en el proceso Láser por el defecto Marca Láser.

El análisis diagrama de Pareto, o también conocido como diagrama 80-20, es una técnica que ayuda a separar las causas reales de las triviales. Según el concepto, el 20 % de las causas son la fuente del aumento en los defectos y el 80 % son posibles colaboradores.

A continuación, se muestran los resultados analizados mediante el diagrama de Pareto:

Figura 4.19: Diagrama de Pareto de la línea de producción de MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

Mediante el diagrama, se concluyó que el 85 % de los contribuyentes al aumento del defecto Marca Láser según la investigación son:

- Causa #5: El personal no está sacando el *yield* cada hora como se le pide; con un 16 % de contribución.
- Causa #3: Las máquinas son más rápidas y sacan más defectos por hora; con un 15 % de contribución.
- Causa #2: Por descuido de los operarios; con un 15 % de contribución.
- Causa #10: Mala distribución de las líneas (*layout*); con un 12 % de contribución.
- Causa #9: Personas de otras líneas llegan a distraer a quienes están inspeccionando; con un 10 % de contribución.

- Causa #8: Las máquinas son inestables; con un 9 % de contribución.
- Causa #4: Cuando se hacen cambios de generación; con un 9 % de contribución.

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

Según la información analizada mediante el diagrama de Pareto y siguiendo la regla del 80/20, se trabajó en primer lugar sobre aquellos pasos del proceso que más falencias presentan y con las mejoras que otorguen los resultados más rápidos.

En esta etapa de la metodología DMAIC, se planteó la mejora por implementar y que ataque la raíz del problema.

5.1.1 Alternativa de solución 1: Pizarra de estandarización del trabajo (Standar Work)

En la actualidad los colaboradores llevan su producción y *yield* en una hoja emplastificada que cada uno maneja en su estación de trabajo. Ellos son los responsables de levantar la mano al líder o al supervisor si hay algún problema con el proceso, así como de entregar esta hoja al final del turno.

Figura 5.1: Hoja actual de las líneas de producción de MicroLaser

PASSDOWN TURNO				
Realizado por:				
LASER				
JOB #:				
KV ACTUAL				
KV AJUSTE				
COMENTARIOS				
CUTTER				
JOB #:				
DIMENSIONALES	TOTAL	EN TURNO	PENDIENTES	PPK
	Dimensionales a realizar por descarga			
COMENTARIOS				
VISUAL				
JOB #:				
COMENTARIOS				
TANQUES				
HELIO				
COMENTARIOS				
COMENTARIOS GENERALES				

Fuente: Propia, 2023.

Por medio de esta alternativa, se propuso colocar una pizarra de trabajo en cada línea, donde se registre la producción hora tras hora, cantidad de piezas rechazadas en esa hora y porcentaje de *yield* para los procesos de Láser, Corte e Inspección Visual, con el fin de tener una forma visual y rápida de entender el estado del rendimiento de cada línea.

Debido a que no existía una estandarización de trabajo bien estructurada, se procedió a crear junto al grupo multidisciplinario de la investigación una lista de actividades que servirán como guía a los colaboradores para el control del proceso y, de esta manera, evitar futuros problemas de calidad.

Adicional, se colocó una casilla de firma con iniciales para el líder de producción o encargado, además de una pequeña lista de verificación (*Check List*) con el trabajo

estándar (*Standar Work*) que ayude a los operarios nuevos y facilite llevar el control del proceso.

Con la implementación de esta alternativa, se solventan las siguientes falencias:

- **Causa #5: El personal no está sacando el *yield* cada hora como se le pide.**
- **Causa #2: Por descuido de los operarios.**
- **Causa #9: Personas de otras líneas llegan a distraer a quienes están inspeccionando.**

Al estar esta actividad en un estándar de trabajo y ser auditada cada tres horas por el líder, es más fácil generar la cultura de la importancia del *yield* entre los colaboradores, evitar descuidos al hacer el proceso más sistemático y lograr una estandarización del proceso en donde todos los colaboradores realicen las tareas de la misma manera.

Plan de implementación

A. Diseño: El Departamento de Ingeniería le solicitó al suplidor efectuar una visita a la empresa y se le mostraron las necesidades de las líneas, espacios para el montaje, información requerida y ayudas visuales necesarias. Días después, se recibieron los diseños y estos fueron analizados por el grupo multidisciplinario de esta investigación. Se seleccionó el diseño que más se apegaba a las necesidades de información, de fácil entendimiento y estandarización.

B. Cotización y orden de compra: El Departamento de Ingeniería realizó la cotización del diseño seleccionado, así como para el montaje de las pizarras en el sitio. Luego se hizo la orden de compra bajo el sistema utilizado por la

compañía (Epicor) y se le envió al suplidor, con un tiempo de entrega de cuatro semanas para las 18 líneas.

C. Responsabilidades:

- **Operario:** El operario tuvo como responsabilidad llenar la pizarra con todos los datos que solicita esta, cada hora en el turno.
- **Líder de producción:** El líder de producción fue responsable de revisar y velar por el llenado de la pizarra. Cada tres horas el líder debió revisar que la pizarra estuviera correctamente llena, además de que el rendimiento de la línea de producción fuera el óptimo, sino debía solicitar soporte a los departamentos de Mantenimiento o Calidad según fuera la necesidad, también debió firmar la pizarra para confirmar su revisión.
- **Supervisor de producción:** El supervisor de producción fue el encargado de velar porque las partes anteriormente mencionadas cumplieran con su función en el proceso de estandarización del trabajo.

D. Entrega y montaje: El suplidor fue el encargado de la entrega y el montaje de las pizarras en las líneas de producción. Este montaje no implicó ningún impacto en el proceso, al no ser necesario detener ningún equipo. Los departamentos de Ingeniería y Producción fueron los responsables de garantizar el correcto montaje y revisión de las pizarras.

E. Entrenamiento: Se aprovecharon las reuniones iniciales de cada turno de producción para explicar y aclarar cualquier duda sobre el llenado de las pizarras y la estandarización del trabajo. Los líderes y el supervisor de producción de cada turno fueron los responsables de esta actividad.

Por medio de las actividades anteriores, se garantizó la implementación y puesta en marcha de la **pizarra de estandarización del trabajo (Standar Work)**. A continuación, se muestra el costo total de la implementación:

Tabla 5.1: Detalle del costo de la implementación de la pizarra de estandarización de trabajo en 18 líneas de producción

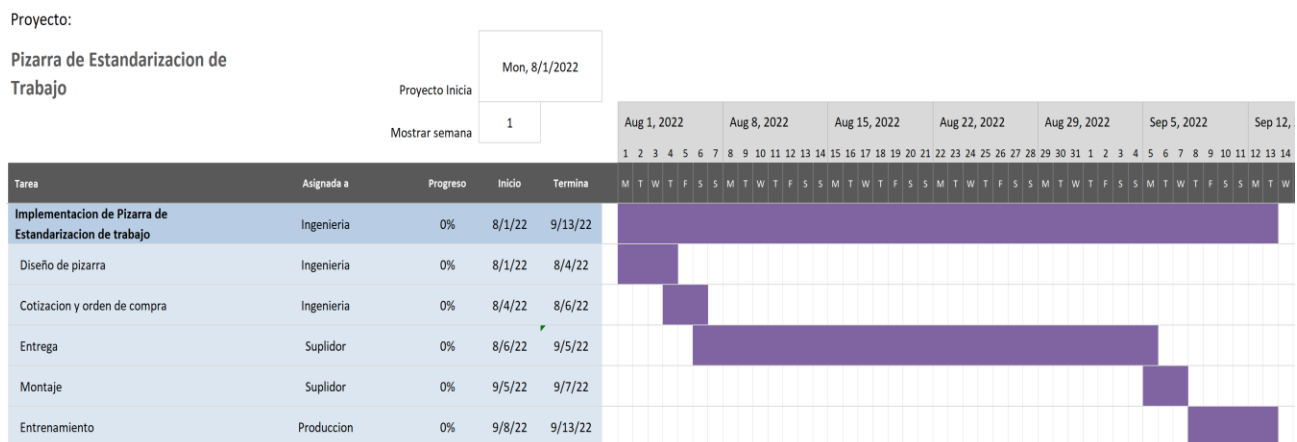
Actividad	Costo (\$)
Diseño pizarra acrilica	\$ 4,464.00
Porta marcadores	\$ 144.00
Servicio de instalacion	\$ 48.00
Creacion de orden de compra	\$ 12.00
Revision por Ingeniería y Producción montaje	\$ 45.00
Total	\$ 4,713.00

Fuente: Propia, 2023.

La tabla anterior indica el costo total de la implementación de la pizarra de estandarización del trabajo en todas las líneas de producción de la empresa MicroLaser.

Seguidamente, se aprecia el diagrama de Gantt para la implementación e instalación de las pizarras:

Figura 5.2: Diagrama de Gantt para la implementación de la pizarra de estandarización del trabajo



Fuente: Propia, 2023.

5.1.1.1 Implementación de la pizarra de estandarización del trabajo (Standar Work)

Las pizarras fueron colocadas en cada inicio de línea en dirección al pasillo para facilitar la visualización de estas cuando se transitara por la zona. Los líderes y supervisores de producción realizaron auditorías diarias mientras se desarrollaba la cultura dentro de la población. Además, el operario colocó la información del *yield* hora tras hora y fue auditada por el líder de producción cada tres horas, quien firmó en la sección de iniciales.

La pizarra de estandarización del trabajo está compuesta de la siguiente manera:

Figura 5.3: Sección de verificación del yield hora tras hora

META		10583		OUTS		9500		OPERARIO				
PRODUCCION DIARIA					DEFECTOS		DOWNTIME	Franciny maria				
HORA	JOB	OUTS META	OUTS REAL	GAP ACUM	QTY	YIELD	MINUTOS	PPK	TRANS. SCORE	COMENTARIOS	INICIAL	
19:00		700	700	300	3	99.7%		2.93 ^D	99.6		SMD	
20:00		1000	800	200	15	98.5%		3.07 ^D	99.8	Agcl		
21:00		700	1000	100	10	99.0%		2.76 ^C	97.9	Agcl	?	
22:00		1000	1000	100	15	98.5%		2.63 ^D	99.9	Agcl		
23:00		1000	1000	100	5	99.5%		2.56 ^D	97.8	Agcl	SMD	
00:00		1000	1000	100	15	98.5%		2.55 ^D	99.7	Agcl		
1:00		100	1000	400	0	100%		2.70 ^D	98.3		SMD	
2:00		1000	1000	400	5	99.5%		2.68	99.6			
3:00		1000	1000	400	10	99.0%		2.56	97.9		SMD	
4:00		1000	1000	400	15	98.5%		2.53	99.7			
5:00		1000	0	600	0	0		0	99.2			
6:00		483	0	1083	0	0		0	99.9			

Fuente: Propia, 2023.

Producción diaria

- **Hora:** Momento en el que los datos deben tomarse, lo cual ayuda a mantener un control y asegurar la toma de datos.
- **Job:** Número de orden de trabajo que se está corriendo en la línea de producción. Esto permite llevar una trazabilidad del proceso.
- **Outs Meta:** Cantidad de piezas inspeccionadas que el colaborador debería llevar a esa hora. Es una forma de estandarizar la cantidad mínima esperada por la línea de producción, lo cual es un dato esencial para el Departamento de Planeación.
- **Outs Real:** Cantidad de piezas inspeccionadas que realmente se llevan en esa hora. Posibilita que el líder o supervisor vea cuánto está produciendo cada línea e investiga, de ser el caso, por qué no se está alcanzando la meta.
- **Gap Acum:** Se refiere a la diferencia entre la cantidad de piezas que se debían inspeccionar a esa hora contra lo que en realidad se inspeccionó. Con este dato se puede ver con facilidad la cantidad de piezas que una línea de producción lleva de más, según el estándar de producción estipulado.

Defectos

- **QTY:** Cantidad de defectos en esa hora. Este es un dato primordial para calcular el *yield* de la línea.
- **Yield:** El porcentaje de *yield* en esa hora. Con este dato se determina si se está por encima o debajo del *yield*.

Downtime

- **Minutos:** Es el tiempo en minutos en que la máquina estuvo detenida por reparaciones. Esto posibilita entender si una línea está con una producción baja, por qué y así poder registrarlo.

Operario

- **Operario:** Nombre de la persona que está en la línea de producción en el turno, lo cual ayuda a la trazabilidad del proceso.
- **PPK:** Porcentaje que muestra la herramienta de medición según el nivel confiabilidad y repetitividad del proceso. Este dato posibilita medir el rendimiento del proceso.
- **Trans. Score:** Nivel de uniformidad entre las piezas inspeccionadas en el proceso de Corte. Lo anterior permite medir el nivel de confiabilidad con que el proceso de Corte está inspeccionando las unidades. Esta información se encuentra desplegada en la pantalla de interacción con la máquina todo el tiempo.
- **Comentarios:** Lugar para detallar alguna circunstancia anómala durante el proceso.
- **Inicial:** Iniciales del líder que realizó la revisión.

En esta selección se enlistaron las actividades diarias definidas por el grupo multidisciplinario. La creación de esta estandarización del trabajo fue con el objetivo de eliminar todas las debilidades por descuido que pudieran tener los colaboradores y, de este modo, crear una cultura de trabajo en la cual todos supieran e hicieran sus deberes de una manera más sistemática y eficiente. También se enlistaron las responsabilidades de los operarios de soporte que ayudan en cada línea de producción.

Tabla 5.2: Tabla de diseño de la estandarización del trabajo para las líneas de producción de MicroLaser

Colaborador maquina													
Puntos por revisar	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
Abrir actividades de Epicor MES													
Revisar passdown del turno anterior (chequeo de WS)													
Limpieza de superficies inicio turno													
Realizar prueba ABUM													
Verificación de energía KV, inicio turno													
Verificación de cryo													
Despeje de línea y llenado de Job													
Verificación de niveles de HE (60psi)													
Verificación de enhebrado Laser y Cutter													
Verificación de parcial													
Tier 1													
Inspección Visual de Split													
Firma, fecha y colocar la cantidad de scrap en el espacio en blanco del spool													
Stretching (2 veces en el turno)													
Llenado de pizarra hora a hora													
Cambio de helio													
Realizar prueba 100 unidades cada inicio de Job													
Despeje línea cutter													
Calculo de yields cuando salen mas de 10 rechazos Cutter													
Prueba de 40 unidades en cada cambio de spool (Cutter)													
Verificación de vials y de etiquetas correcta													
Cierra de hoja inspección													
Ingreso de datos en Epicor a final del turno													
Passdown colaborador/lider													
Acomodo de la WS y Passdown colaborador/colaborador													

Colaborador maquina												Nombre _____	
Puntos por revisar	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00
Calcular cantidad de dimensionales según AQL													
Verificación de cantidad de muestras por equipos													
Realizar pruebas dimensionales													
Inspección Visual (entre 3000 y 6000 unidades)													
Impresión de etiquetas													
Impresión de datos WINSPC													
Acomodo de suministros													
Revisión del PPK y colocar en la pizarra													
Preparar la hoja de inspección visual													
Passdown colaborador/colaborador													

Fuente: Propia, 2023.

Figura 5.4: Diseño final de la tabla de estandarización del trabajo para las líneas de producción de MicroLaser

The figure displays two standardized work charts for 'Colaborador Máquina' and 'Colaborador Soporte'. Each chart is a grid with tasks listed on the left and time slots from 6:00 to 6:00 on the top. The 'Colaborador Máquina' chart includes tasks such as 'Abrir actividades de Epicor MES', 'Revisar passdown del turno anterior', 'Limpieza de Superficies inicio turno', 'Realizar Prueba ABUM', 'Verificación de energía KV, inicio de turno', 'Verificación del Cryo', 'Despeje línea y llenado de Job', 'Verificar nivel gas helio (60 PSI)', 'Verificación de enhebrado Laser y cutter', 'Verificación de parciales', 'Tier 1', 'Inspeccion visual del split', 'Firmar, fechar y colocar la cantidad de scrap en el espacio en blanco en el spool', 'Stretching (2 veces en el turno) MAX 5 min', 'Llenado de pizarra hora a hora', 'Cambio de Helio (Cambio de valvula)', 'Realizar prueba 100 unidades cada inicio de Job', 'Despeje línea cutter', 'Calculo de yield cuando salen mas de 10 rechazos Cutter', 'Prueba de 40 unidades en cada cambio de spool (cutter)', 'Verificación del vials y de etiqueta correcta', 'Cierre de hoja inspeccion', 'Ingreso de datos en Epicor a final de turno', 'Passdown colaborador/lider', and 'Acomodo de la WS y Passdown colaborador/colaborador'. The 'Colaborador Soporte' chart includes tasks such as 'Calcular cantidad de dimensionales según AQL', 'Verificación de cantidad de muestras por equipo', 'Realizar pruebas dimensionales', 'Inspección Visual (entre 3000 y 6000 unidades)', 'Impresión de etiquetas', 'Impresión de datos WINSPC', 'Acomodo de suministros', 'Revisión del PPK y colocar en la pizarra', 'Preparar la hoja de inspeccion visual', and 'Passdown colaborador/colaborador'. Both charts use shaded boxes to indicate the duration of each task within the time slots.

Fuente: Propia, 2023.

La información registrada en las pizarras fue recolectada por el líder de producción para efectuar la entrega al siguiente turno (*passdown*), en donde se compiló toda la información de las líneas de producción y el rendimiento que han tenido durante el día. Anteriormente el líder tenía que ir línea por línea de producción preguntando por los datos registrados durante el turno, tomando hasta dos horas debido a que algunos operarios no tenían la información actualizada. Con el uso de las pizarras la información fue actualizada cada hora, esto redujo el tiempo para el llenado de la información a solo treinta minutos, lo cual se detalla en la siguiente figura:

Figura 5.5: Excel utilizado para la entrega de turnos

PASSDOWN 2022									
Estacion	Operacion	Outs			Yield				
		Goal	Outs	%	Total	Buenas	Yield WS	Scrap	
GEN 6 Turno Día	58	Laser	8479	10957	129%	10957		100%	43
		Cutter	8979	9763	109%	9806	9763		
		Visual	8929	10000	112%	10043	10000		
	64	Laser	8479	7581	89%	7581		99%	86
		Cutter	8979	7958	89%	8044	7958		
		Visual	8929	8000	90%	8028	8000		
	69	Laser	8479	8701	103%	8701		100%	39
		Cutter	8979	9038	101%	9077	9038		
		Visual	8929	9287	104%	9307	9287		
	74	Laser	8479	10000	118%	10000		100%	79
		Cutter	8979	10000	111%	10079	10000		
		Visual	8929	10000	112%	10012	10000		
	85	Laser	8479	12149	143%	12149		100%	29
		Cutter	8979	11958	133%	11987	11958		
		Visual	8929	11674	131%	11675	11674		
	86	Laser	8479	7043	83%	7043		99%	105
		Cutter	8979	8177	91%	8282	8177		
		Visual	8929	8193	92%	8223	8193		
	87	Laser	8479	10299	121%	10299		98%	130
		Cutter	8979	7474	83%	7604	7474		
		Visual	8929	8000	90%	8139	8000		
	93	Laser	8479	11500	136%	11500		100%	29
		Cutter	8979	11000	123%	11029	11000		
		Visual	8929	11000	123%	11025	11000		
68	Laser		7500	0%	7500		100%	9	
	Cutter		9650	0%	9659	9650			
	Visual		9000	0%	9023	9000			
	75	Laser	8479	9771	115%	9771		100%	74
		Cutter	8979	10257	114%	10331	10257		
		Visual	8929	10000	112%	10021	10000		
	79	Laser	8479	9460	112%	9460		100%	70
		Cutter	8979	9441	105%	9511	9441		
		Visual	8929	9500	106%	9511	9500		
	81	Laser	8479	10171	120%	10171		98%	355
		Cutter	8979	8976	100%	9331	8976		
		Visual	8929	8640	97%	8642	8640		
	82	Laser	8479	0	0%			#DIV/0!	0
		Cutter	8979	0	0%				
		Visual	8929	0	0%				
	84	Laser	8479	9500	112%	9500		99%	107
		Cutter	8979	10004	111%	10111	10004		
		Visual	8929	8000	90%	8035	8000		
	88	Laser	8479	10928	129%	10928		99%	88
		Cutter	8979	9839	110%	9927	9839		
		Visual	8929	9000	101%	9027	9000		
	92	Laser	8479	10100	119%	10100		99%	35
		Cutter	8979	10100	112%	10135	10100		
		Visual	8929	11500	129%	11575	11500		
	80	Laser		10000	0%	10000		99%	158
		Cutter		10842	0%	11000	10842		
		Visual		10500	0%	10551	10500		

Fuente: Propia, 2023.

En la imagen anterior se muestran por turno los resultados obtenidos según el proceso, de manera más detallada y ordenada en la inspección realizada.

A continuación, se aprecian en forma resumen los resultados obtenidos de la figura anterior:

Figura 5.6: Excel utilizado para la entrega de turnos

Cumplimiento diario						Yield Diario DEXCOM							
Producto	Real	Meta	%Cumpl.	Acumulado Diario	Acumulado Semanal	Operacion	Total	Buenas	Malas	YIELD	Rejects	YIELD GENERAL	Goal
GEN 6	61243	145152	42%	-83909	-30219	Lasere	69817				4653	93.3%	98.5%
						Cutter	71208	70504	704	99.0%			
						Visual	65192	61243	3949	93.9%			
GEN 7	73300	133440	55%	-60140	-4373	Lasere	73178				991	98.6%	98.5%
						Cutter	78864	78714	150	99.8%			
						Visual	74141	73300	841	98.9%			
DEXCOM	134543	278592	48%	-144049	-34592	Lasere	142995				5644	96.1%	98.5%
						Cutter	150072	149218	854	99.4%			
						Visual	139333	134543	4790	96.6%			

Fuente: Propia, 2023.

En la tabla anterior, se observa en el cumplimiento diario:

- **Producto:** El tipo de generación que se está produciendo y al final la suma total de las dos generaciones.
- **Real:** La cantidad de sensores producidos hasta el final del turno para el cumplimiento de la meta semanal.
- **Meta:** La cantidad de sensores que se deberían de llevar producidos para el cumplimiento de la meta semanal.
- **Porcentaje acumulado:** La cantidad de cumplimiento en porcentaje que se lleva para lograr la meta semanal.
- **Acumulado diario:** En esta sección se refleja si el cumplimiento de la meta en el momento del corte va en positivo o negativo según lo esperado en el día.

- **Acumulado semanal:** La cantidad de cumplimiento de la meta en el momento del corte va en positivo o negativo según lo esperado en la semana.

En la sección del *yield*:

- **Operación:** La operación de donde se extrae la información reflejada.
- **Total:** El total de unidades producidas en la operación, contando las buenas y malas.
- **Buenas:** Cantidad de piezas aceptables en la operación.
- **Malas:** Cantidad de piezas rechazadas en la operación.
- **Yield:** El porcentaje de *yield* presente en la operación.
- **Rejects:** Cantidad total de piezas rechazadas en las operaciones.
- **Yield general:** La sumatoria de todos los *yield* reportados por operaciones.
- **Goal:** El *yield* meta para cada generación y el sumatorio de las generaciones.

5.1.2 Alternativa de solución 2: Automatización del cálculo del yield

En la actualidad los operarios son los responsables de establecer si el rendimiento de las máquinas es el adecuado o no para solicitar soporte técnico, esto lo llevan a cabo calculando el *yield* de las máquinas cada hora. Lo anterior principalmente impacta el proceso Láser debido a que aquí es donde se origina el defecto relacionado al estudio, pero las unidades en realidad impactan el proceso siguiente de Corte ya que aquí es donde el sistema de visión determina que el sensor tiene Marca Láser y es rechazado,

pero no solo rechaza un sensor, son rechazados dos sensores porque al venir unidos el equipo no puede determinar si el sensor dañado es el anterior o el posterior.

Con esta alternativa se aprovecharon los sistemas Andon propios de la máquina (torre de luces y sistema de sonar), para programar en el *software* el cálculo automático del *yield* en el proceso Láser que ayude al operario en todo momento y no cada hora a calcular el rendimiento de la máquina y determinar de un manera más precisa y confiable la necesidad de soporte técnico.

A partir de la implementación de esta alternativa, se solventaron las siguientes falencias:

- **Causa #3: Las máquinas son más rápidas y sacan más defectos por hora.**
- **Causa #2: Por descuido de los operarios.**
- **Causa #10: Mala distribución de las líneas (*layout*).**
- **Causa #9: Personas de otras líneas llegan a distraer a quienes están inspeccionando.**
- **Causa #8: Las máquinas son inestables.**
- **Causa #4: Cuando se hacen cambios de generación.**

Esta alternativa solventó de manera directa e indirecta las debilidades antes encontradas, debido a que la máquina por sí sola calcula el *yield* del material procesado sin importar si el colaborador no está atento o se encuentra lejos de la línea de producción. También puede detenerse si está inestable por el deterioro de algún componente o un cambio de generación. Así, por medio de la **automatización del cálculo del *yield***, se eliminó el factor humano para determinar el rendimiento, evitando que el equipo continúe si el *yield* es inferior a 97 %.

Implementación

- A. Reunión de análisis de factibilidad:** Se realizó una reunión de inicio del proyecto con el ingeniero de manufactura del proceso y el Departamento de Sistemas en Estados Unidos, responsables de la recreación del programa y programación del láser, con el objetivo de establecer si era posible la modificación del programa para que efectuara el cálculo automático del *yield*. Después de revisar y analizar el programa, el ingeniero de sistemas determinó qué automatización era factible. Se estableció usar el mismo porcentaje de *yield* utilizado actualmente en el proceso de 97 %.
- B. Programación y testeo del programa:** El ingeniero de sistemas fue el responsable de programar y testear las modificaciones del programa en las instalaciones de Investigación y Desarrollo (siglas en inglés, R&D, Research and Development) en Estados Unidos, para no interferir con el proceso normal de producción en Costa Rica.
- C. Reunión de presentación del nuevo programa y plan de implementación:** El Ingeniero de Manufactura del proceso hizo una reunión para la revisión del programa con el Departamento de Sistemas, el Departamento de Planeación y el Ingeniero de Calidad del proceso, para determinar si estos cambios ameritaban una revalidación del *software*. Por medio de esta reunión, se presentó una corrida en seco (*Dry Run*), para demostrar que el cambio en el sistema sí funcionaba; a su vez, se llegó a la conclusión de que los cambios realizados en el programa no afectarán de ninguna manera el acabado estético y dimensional del sensor por lo cual una revalidación del programa no será necesaria. Con ayuda del personal de planeamiento, se llegó al acuerdo de implementar el cambio en tres máquinas cada día con una duración de paro de una hora en cada una.

D. Entrenamiento para la implementación del cálculo automático del *yield*: El ingeniero de manufactura del proceso programó un entrenamiento virtual con el Departamento de Sistemas para llevar a cabo los cambios necesarios en el programa de las máquinas láser.

E. Implementación: El ingeniero de manufactura del proceso fue el responsable de ejecutar los cambios necesarios en el programa de todas las máquinas láser.

F. Entrenamiento: Se aprovecharon las reuniones diarias de inicio de turno para explicar en forma general a los operarios, líderes y supervisores de producción el cambio en el sistema, a su vez mostrar una foto de la ventana emergente que verán cuando la máquina esté con un *yield* menor a 97 %.

Por medio de las actividades anteriores, se garantizó la implementación y puesta en marcha de la **automatización del cálculo del *yield***. A continuación, se muestra el costo total de la implementación:

Tabla 5.3: Detalle del costo de la implementación de la automatización del cálculo del *yield* en 18 líneas de producción

Actividad	Costo (\$)
Reunión de análisis de factibilidad	\$ 44.44
Programación y testeo del programa	\$ 3,000.00
Reunión de presentación de nuevo programa y plan de implementación:	\$ 161.09
Entrenamiento para implementación de cálculo automático del <i>yield</i>	\$ 44.44
Implementación	\$ 19,333.32
Total	\$ 22,583.29

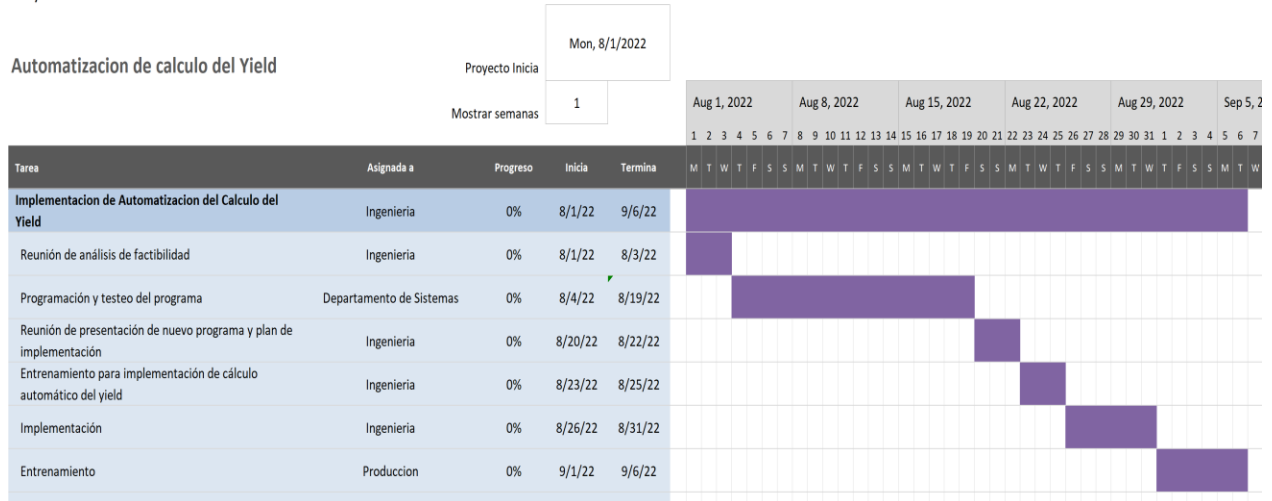
Fuente: Propia, 2023.

La tabla anterior indica el costo total de la implementación de la automatización del cálculo del *yield* en todas las líneas de producción de la empresa MicroLaser.

Seguidamente, se aprecia el diagrama de Gantt para la implementación e instalación de la automatización del cálculo del *yield*:

Figura 5.7: Diagrama de Gantt para la implementación de la automatización del cálculo del yield

Proyecto:



Fuente: Propia, 2023.

5.1.2.1 Implementación de la automatización del cálculo del yield

Se solicitaron al Departamento de Planeamiento tres máquinas por día, una hora cada día, para realizar el cambio en la programación. La programación se encuentra en el sistema de lenguaje llamado “NotePadC++”, el cual permitió modificar ciertas líneas en el archivo llamado “5960 InitializationFile” y el “5960_OPER_PROGS”, donde se encuentran los parámetros y condiciones del programa.

El archivo “5960_OPER_PROGS” controla las variables del sistema y toma decisiones con base en la retroalimentación y las condiciones de dichas variables. A continuación, se observan las líneas modificadas donde se colocaron las condiciones que debe ejecutar el programa, la frecuencia del cálculo del *yield* y la fórmula para el cálculo de este:

Figura 5.8: Selección modificada del "5960_OPER_PROGS"

```

DFS LogInfo
$RunCounter = $RunCounter - 1
$RunSeconds = INT($RunTime/1000) ;Convert to seconds
$RunHours = INT($RunSeconds/3600) ;Convert to hours
$RunSeconds = $RunSeconds - ($RunHours * 3600) ;Remove hours from total time
$RunMinutes = INT($RunSeconds/60) ;Convert to minutes
$RunSeconds = $RunSeconds - ($RunMinutes * 60) ;Remove minutes from total time
IF($RunHours LT 10) THEN
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" "0",$RunHours,":"
ELSE
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" $RunHours,":"
ENDIF
IF($RunMinutes LT 10) THEN
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" StrRunTime,"0",$RunMinutes,":"
ELSE
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" StrRunTime,$RunMinutes,":"
ENDIF
IF($RunSeconds LT 10) THEN
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" StrRunTime,"0",$RunSeconds
ELSE
    StrRunTime = MAKESTRING "{#D}" StrRunTime,$RunSeconds
ENDIF
$GPMminute = $PassCount/((($RunTime/1000)/60)
IF($RunCounter GT 0) THEN
    $Yield = ($PassCount/$RunCounter)*100
ELSE
    $Yield = 0
ENDIF
FILEWRITENOTERM RunLogFile "#DT,#TS,"
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D}" $RunID,",",StartTime,","
FILEWRITENOTERM RunLogFile EndTime,",",StrRunTime,","
FILEWRITENOTERM RunLogFile ManufLotNum,",",MaterialLotNum,"," ;DEX CIT 14-015
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D#D#D}" $RunCounter,",",$PassCount,",",$FailCount,","
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#F2#F2#D}" $Yield,",",$GPMminute,",",$MasterCount,","
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D#D}"$BgnInSpoolCount,",",$InSpoolCount,","
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D#D}"$BgnOutSpoolCount,",",$OutSpoolCount,",";Modified for DEX CIT 14-012
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D#D}"$EPDFail18,",",$EPDFail19,",";TC DEX CIT 14-012
FILEWRITENOTERM RunLogFile "{#D#D}"$EPDFail20,",",$EPDFail21,","
FILEWRITE RunLogFile "{#D}"$EPDFail22
ENDDFS

```

Fuente: Propia, 2023.

En el archivo "5960 InitializationFile", se ubicaron los parámetros de las variables definidas en el "5960_OPER_PROGS", en esta sección se agregaron las líneas donde se colocaron los valores deseados del *yield*.

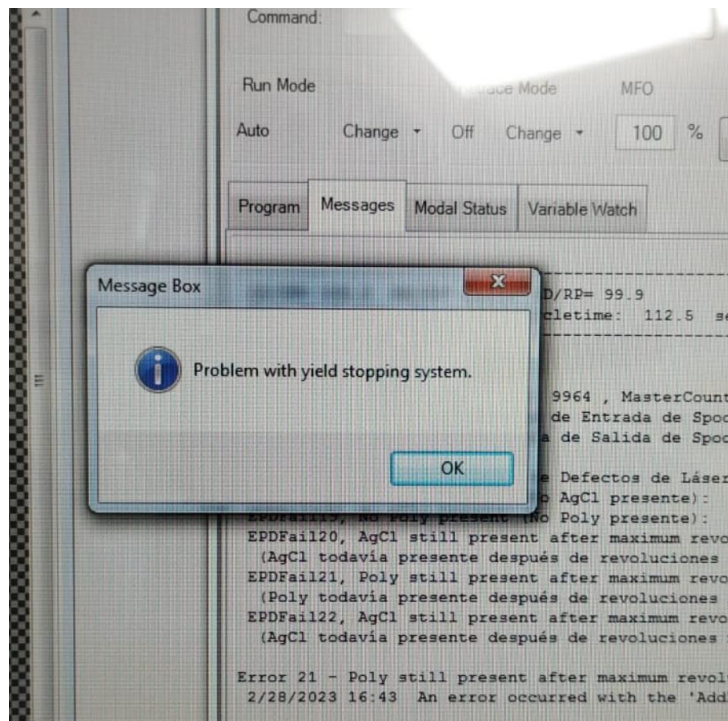
Figura 5.9: Selección modificada del “5960 InitializationFile”

```
MAX_PARTS_IN_VIAL=500
;Vial 1 Counter (Program controls increments, operator resets via software) - Con
VIAL1_PART_COUNT=500.000000
;Vial 2 Counter (Program controls increments, operator resets via software) - Con
VIAL2_PART_COUNT=494.000000
; - Cantidad Maxima de Partes por Contenedor de Scrap
MAX_PARTS_IN_DUMP=1000
;Dump 1 Vial Counter (Program controls increments, operator resets via software)
DUMP1_COUNT=6.000000
;Current vial number (increments automatically when current vial is full, operato
VIAL_INDEX=2.000000
;Sample frequency - Frecuencia para muestreo
SAMPLE_FREQ=100
;Part log frequency - Frecuencia para registrar informacion en Part Log
LOG_FREQ=25;10
;Maximum number of continuous failed parts - Cantidad Maxima de Partes Scrap segu
MAX_CONT_FAILED_PARTS =3
;Yield Low Limit Fault level (%), Acts on Running Yield (Last 100 units) - Yield
YIELD_LOW_LIMIT=97
;Runtime Fail Counters
FAIL1_COUNT=5.000000 - Contador de Partes por Error 1
FAIL2_COUNT=0.000000 - Contador de Partes por Error 2
FAIL3_COUNT=1.000000 - Contador de Partes por Error 3
FAIL4_COUNT=0.000000 - Contador de Partes por Error 4
FAIL5_COUNT=0.000000 - Contador de Partes por Error 5
```

Fuente: Propia, 2023.

Al final estas modificaciones dieron como resultado la ventana emergente con la que interactuaría el operario del equipo.

Figura 5.10: Selección modificada del “5960 InitializationFile”



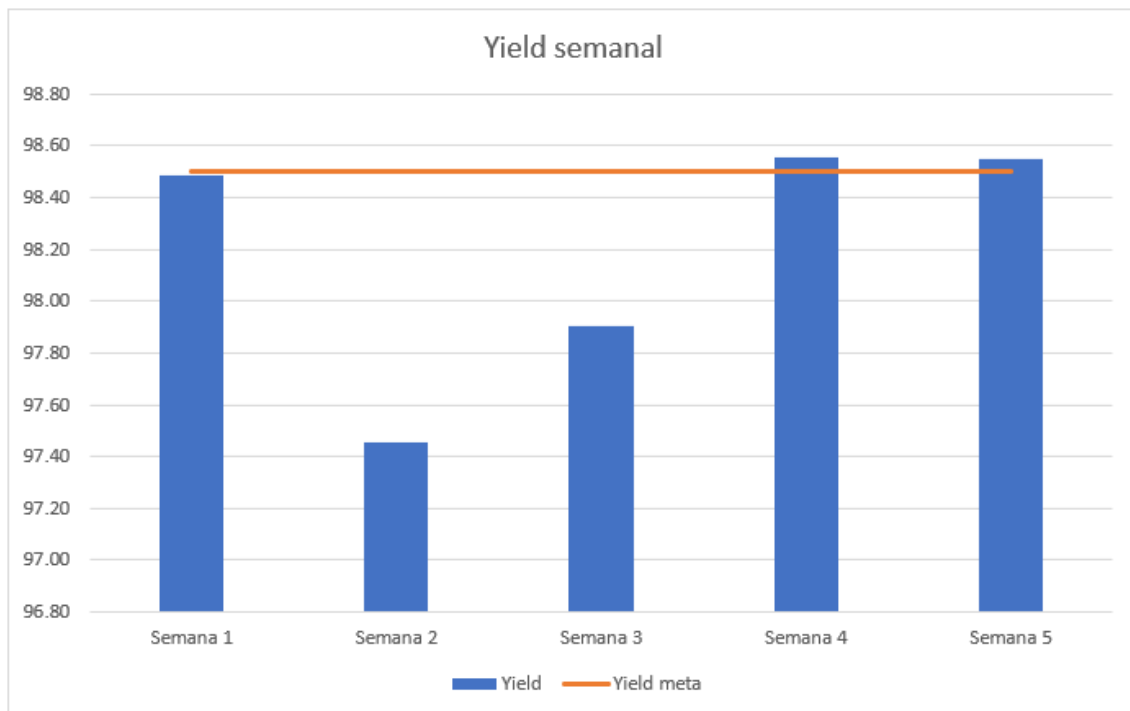
Fuente: Propia, 2023.

Esta ventana emergente le indica al operario que hay problemas con el *yield* y no le permite continuar con la operación, obligando así a una asistencia por parte del operador, donde se verifica que el producto está bien colocado, o bien, se busca soporte técnico para una intervención más invasiva.

5.1.3 Análisis de los datos después de la implementación de las alternativas

Para medir el impacto de la actualización del *software* en las líneas de producción, se tomaron como referencias cinco semanas después de esta actividad, siendo este el punto de partida donde el *yield* se empezó a ver afectado y aumentó considerablemente el defecto denominado Marca Láser. Luego de la implementación de las alternativas, se tomaron cinco semanas de recolección de datos para ser analizados y cuantificar los resultados por medio de análisis estadísticos.

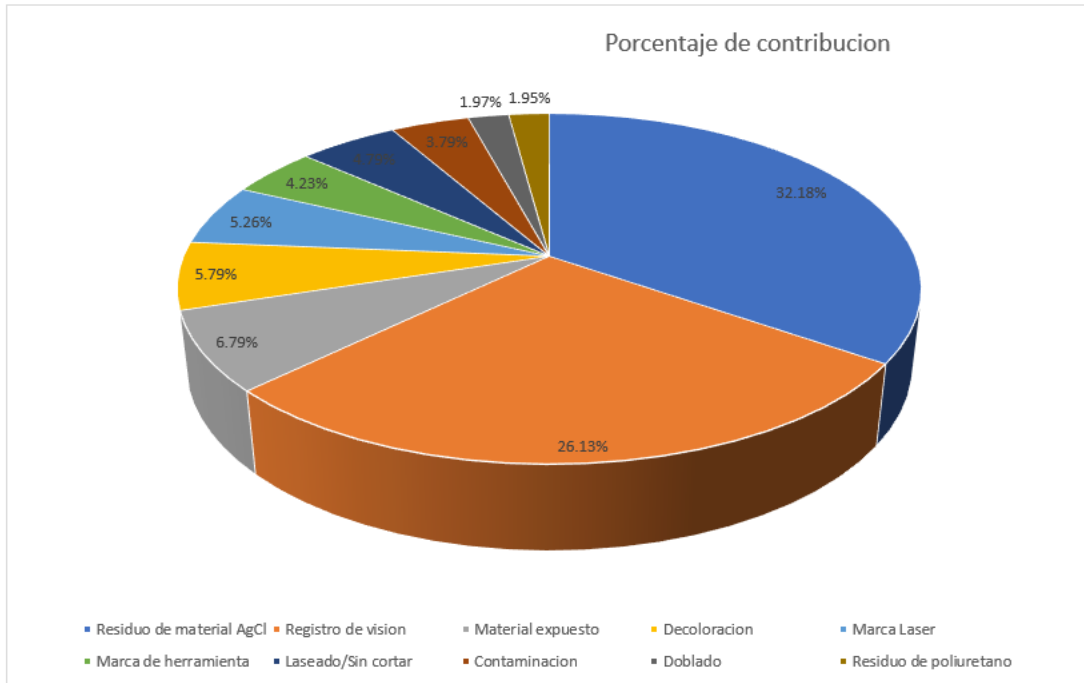
Figura 5.11: Gráfico del comportamiento del yield después de implementadas las mejoras



Fuente: Propia, 2023.

Se obtuvo una mejora en el proceso, exceptuando un par de semanas donde fue afectado por condiciones anómalas de rechazos por problemas con la materia prima; aun así, en las otras tres semanas analizadas el *yield* alcanzó la meta de 98.5 %.

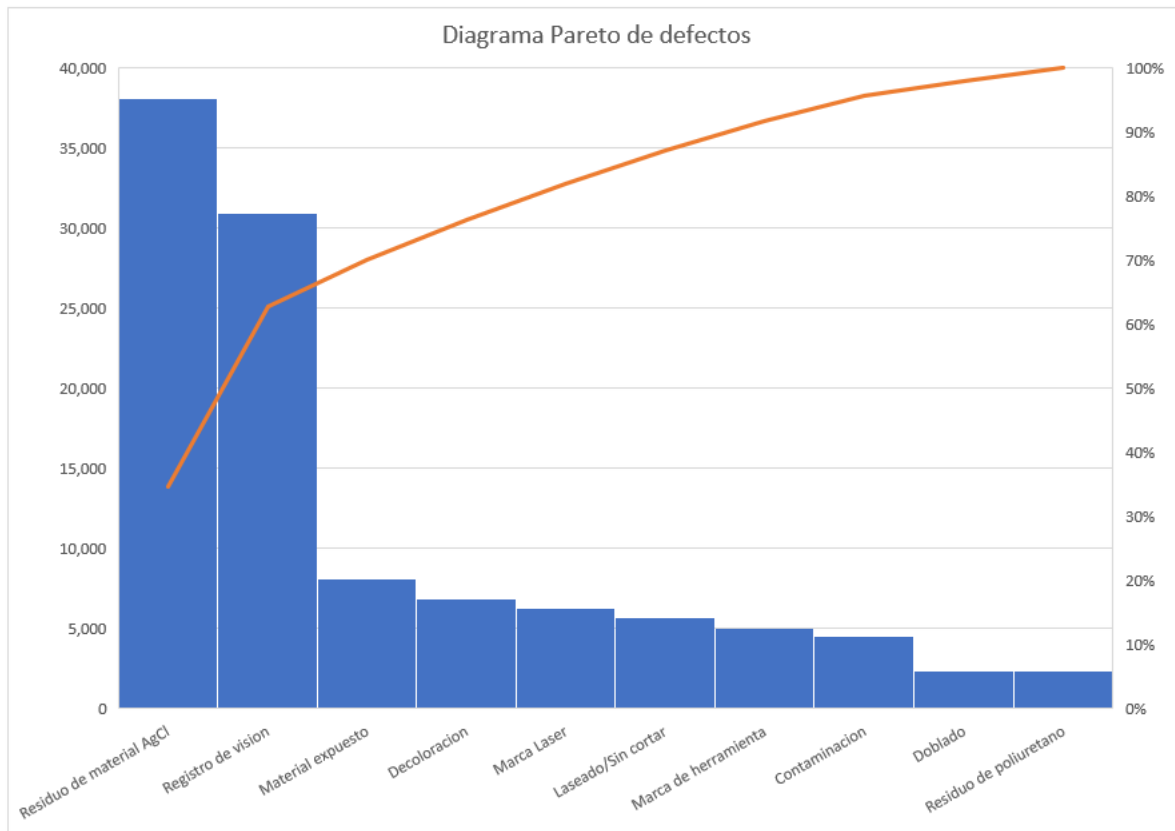
Figura 5.12: Porcentaje de contribución de cada defecto



Fuente: Propia, 2023.

Como lo muestra la gráfica anterior, el porcentaje de contribución del defecto Marca Láser cambió de tener un 23.79 % de contribución de *scrap* a un 5.26 % con una caída de un 77.89 % en comparación a después de que se actualizaron los *softwares* en las máquinas para ser más rápidas.

Figura 5.13: Gráfico de Pareto de los defectos después de las mejoras



Fuente: Propia, 2023.

Como se puede observar, el defecto denominado Marca Láser ya no se encuentra en primer lugar y está lejos de ser entre los defectos más contribuyentes en las cinco semanas analizadas.

Cuando se realizó el análisis, en las cinco semanas posteriores a la actualización del *software* que ocasionó el aumento de la velocidad, la cantidad de *scrap* por este defecto era de 43 885 unidades, pero después de las mejoras en ese mismo periodo de tiempo la cantidad de *scrap* por Marca Láser cayó a 6 230 unidades.

5.2 CONTROLAR

Esta es la última etapa del DMAIC que ayuda a verificar y sostener las mejoras encontradas en las etapas mencionadas. De este modo, en la fase de control, se creó el

plan de supervisión y revisión para reevaluar continuamente los procesos mejorados, así como el impacto que tuvieron.

5.2.1 Reuniones semanales

Se propuso una reunión semanal con los responsables del área productiva de MicroLaser, el ingeniero de manufactura, el ingeniero de calidad y los supervisores de producción y planeamiento; el fin de esta reunión será evaluar el rendimiento de las líneas de producción cada ocho días para poder determinar de una manera más predictiva y menos correctiva las inconsistencias en el proceso. En esta reunión se revisarán las siguientes métricas:

- El ingeniero de manufactura revisará los equipos semanalmente utilizando su conocimiento técnico para determinar si el rendimiento a nivel de funcionamiento es óptimo, a su vez anotará recomendaciones, revisiones o tareas extras en los mantenimientos para mejorar el estado de estos. También será el encargo de llevar la minuta de la reunión y compartirla con los miembros del equipo. A continuación, se indica la tabla de propuesta inicial para documentar las revisiones semanales:

Tabla 5.4: Tabla de revisión semanal de los equipos láser para las líneas de producción de MicroLaser

Prioridad	LASER									CRYO				Detalles	Comentarios	Recomendacion	Indicacion
	WS	Generacion	KV	Cant de Fills 1 mes	Hi efectivos?	Energia ultimo Fill	Shots	Presion Del Fill	Presion Actual	Numero	Fecha instalacion de filtro	Proximo PM	Ya tiene valvula interior para el pump out?				

Fuente: Propia, 2023.

- El ingeniero de calidad llevará los KPI referentes al *yield* del proceso, así como las tendencias de este y un Pareto con los defectos más recurrentes para ser analizados en grupo. Estos serán sustraídos del sistema interno de gestión de procesos Epicor.
- El supervisor de producción, al estar más tiempo en las líneas del proceso que los demás integrantes del grupo, en la reunión tomará el papel de vínculo entre las sensaciones y opiniones de los operarios que son los expertos en el proceso y aportará detalles claves de la información brindada por los departamentos de Calidad e Ingeniería.
- El personal de planeamiento ayudará a los demás miembros a crear intervenciones programadas que no afecten la producción semanal del cliente, de ser necesario.

5.2.2 Caminatas Gemba

Para continuar con la mejora continua en el área, se propuso realizar una caminata Gemba una vez al mes con los departamentos de Ingeniería, Calidad, Producción, Planeamiento y algunos miembros de la Gerencia. La idea con esta caminata es ir donde se está realizando el proceso, ya que es la mejor oportunidad para tomar nota de buenas ideas, comentarios, quejas y problemas en el lugar de trabajo, así como de mantener proactivos a los colaboradores y lograr un mayor acercamiento de los diferentes departamentos al proceso. Al respecto, se propuso el siguiente formato para la caminata Gemba:

Figura 5.14: Lista de chequeo de la caminata Gemba para las líneas de producción de la empresa MicroLaser

Lista de Chequeo Caminata Gemba	
Nombre del Colaborador:	
Puesto que desempeña:	
En el momento de la caminata que parte del proceso estaba realizando?	
Conoce el numero de procedimiento para la actividad que esta realizando?	Si, es:
	No
Esta realizando el trabajo segun el procedimiento?	Si, que dice el procedimiento:
	No
Tiene alguna dificultad o dolor para realizar el proceso?	Si, Cual:
	No
Que cree usted que le podria ayudar a eliminar ese dolor o dificultad para realizar el proceso?	
Conoce usted el programa de ideas con el que cuenta el departamento de RH?	Si
	No
Alguna idea que tenga sobre alguna otra area o parte del proceso que no sea el que esta realizando es este momento?	
Comentarios	
Firma y fecha del entrevistador	

Fuente: Propia, 2023.

El fin de esta serie de preguntas es conocer qué tanto sabe el colaborador del trabajo que realiza diariamente y solicitar ayuda en cuanto a la generación de datos para la mejora continua del área donde se lleva a cabo la caminata Gemba.

5.2.3 Auditorías internas

La empresa MicroLaser no cuenta con un programa de auditorías internas como tal, por eso se propuso el siguiente formato para realizar las auditorías, estas pretenden estar al tanto del estado actual de los conocimientos de los colaboradores:

Figura 5.15: Lista de verificación para las auditorías de las líneas de producción de la empresa
MicroLaser

Evaluación		MICROLASER		Escala de Evaluación				
				5	4	3	2	1
Areas de Producción				Excede fuertemente las expectativas				
				Supera las expectativas				
				Cumple las expectativas				
				Por debajo de las expectativas				
				Muy por debajo de las expectativas				
Preguntas	Sí	No	Puntaje					
Conoce usted como abrir la herramienta interna donde se manejan todos los documentos de proceso y calidad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce usted cual es el numero de proceso de para la Laser?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce usted cual es el numero de proceso de para la Cortadora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce usted cual es el numero de proceso de Inspeccion Visual?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce usted el numero de plano para la generacion que esta procesando?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Sabe como abrir Epicor? Evaluar el conocimiento de Epicor del auditado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce como se realiza el calculo del yield?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Conoce el sistema de Stop and Fix que utiliza la compañía?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
Resultado Final								

Fuente: Propia, 2023.

Estas auditorías se ejecutarán cada trimestre y serán dirigidas por un equipo multidisciplinario con el fin de poder detectar las falencias existentes en el conocimiento o seguimiento de los procedimientos en el área de producción, y de esta manera trabajar en ellos de forma temprana y expedita.

5.2.4 Cuantificación de los beneficios

En esta sección se analizó el impacto económico de las mejoras realizadas en el proceso y se comparó con el análisis previo a estas. Así, en la siguiente tabla se observan los costos y las ganancias de la compañía después del aumento de velocidad en las máquinas:

Tabla 5.5: Costo por el defecto Marca Láser después del aumento de la velocidad en las líneas de producción de la empresa MicroLaser

Semana	Unidades rechaza	Costo de producción	Costo oportunidad de venta	Ganancias totales
Semana 1	7,259	\$ 5,807.20	\$ 12,195.12	\$ 6,387.92
Semana 2	9043	\$ 7,234.40	\$ 15,192.24	\$ 7,957.84
Semana 3	9,582	\$ 7,665.60	\$ 16,097.76	\$ 8,432.16
Semana 4	10560	\$ 8,448.00	\$ 17,740.80	\$ 9,292.80
Semana 5	7441	\$ 5,952.80	\$ 12,500.88	\$ 6,548.08
Total	43,885	\$ 35,108.00	\$ 73,726.80	\$ 38,618.80

Fuente: Propia, 2023.

En la primer columna, se tiene la semana donde se tomaron los datos; en la segunda, la cantidad del defecto; en la tercera, el costo por producir el sensor hasta ese punto del proceso, el cual es de \$ 0.8 por unidad; en la siguiente columna, se encuentra la pérdida referente a la oportunidad de compra, es decir, la cantidad que pierde la compañía por no entregar ese sensor a su cliente final, en cuanto a esto el precio de venta de cada sensor para el cliente es de \$ 1.68 por unidad; por último, se ubica la cantidad de dinero que la empresa dejó de percibir descontando los gastos de producción.

Tabla 5.6: Costo por el defecto Marca Láser después de la implementación de las alternativas de mejora

Semana	Unidades rechaza	Costo de producción	Costo oportunidad de venta	Ganancias totales
Semana 1	1,553	\$ 1,242.40	\$ 2,609.04	\$ 1,366.64
Semana 2	1,182	\$ 945.60	\$ 1,985.76	\$ 1,040.16
Semana 3	1,367	\$ 1,093.60	\$ 2,296.56	\$ 1,202.96
Semana 4	981	\$ 784.80	\$ 1,648.08	\$ 863.28
Semana 5	1,147	\$ 917.60	\$ 1,926.96	\$ 1,009.36
Total	6,230	\$ 4,984.00	\$ 10,466.40	\$ 5,482.40

Fuente: Propia, 2023.

Las pérdidas por rendimiento en este intervalo de tiempo estudiado fueron por \$ 5 482.40 en ganancias. En el análisis realizado en la etapa de “medir”, las pérdidas en este mismo rango de tiempo eran de \$ 33 136.40; en comparación, se logró una disminución del 83.5 % que cuando se implementó el *software* con el aumento de la velocidad en las líneas de producción.

5.2.5 Retorno de la inversión

Según el análisis de los costos de las actividades relacionadas con la implementación de la pizarra de estandarización del trabajo, estas sumaron \$ 4 713 y las actividades para la automatización del cálculo del *yield* sumaron \$ 22 583.29, dando esto un total de \$ 27 296.29 para la implementación de ambas mejoras. Las pérdidas antes de la implementación de las alternativas eran de \$ 32 070.72 por mes y luego de las implementaciones descendieron a \$ 4 473.68, obteniendo una ganancia de \$ 27 597.68.

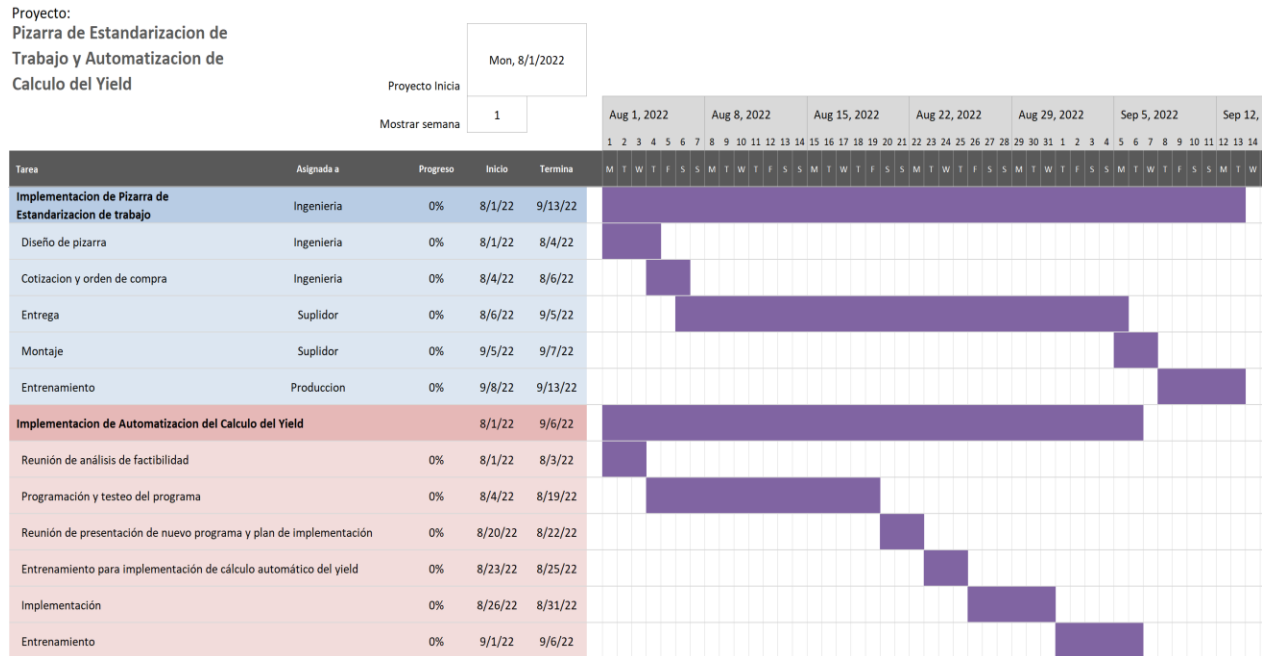
$$\text{ROI} = \frac{\text{Costo Implementacion}}{\text{Ahorros obtenidos}} =$$

$$\text{ROI} = \frac{\$4,713.00 + \$22,583.29}{\$27,597.68} = 0.99 \text{ meses}$$

La inversión por la implementación de las propuestas se recuperará en 0.99 meses, lo cual es aproximadamente 30 días.

A continuación, se presenta el diagrama Gantt para la implementación de ambos proyectos:

Figura 5.16: Diagrama de Gantt para la implementación de las alternativas de mejora en las líneas de producción de la empresa MicroLaser



Fuente: Propia, 2023.

Con base en el diagrama de Gantt mostrado, se contempló que el tiempo de duración para la implementación de la alternativa número 1, implementación de la pizarra de estandarización del trabajo, tomará un tiempo de 44 días para ser completada y para la alternativa número 2, automatización del cálculo del *yield*, se estimaron 36 días.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

Conclusiones

- En la etapa inicial del proyecto, se determinó que la problemática radicaba en un aumento en los rechazos por el defecto Marca Láser en las máquinas de Corte, debido a que algunos colaboradores no realizaban los cálculos del *yield* a tiempo o del todo no los llevaban a cabo, sumado a la actualización del *software* de las máquinas láser para que fueran un 70 % más rápidas, provocando que el impacto por descuido de los operarios afectara más el *yield*. En cuanto a los sensores rechazados en el proceso Láser y descartados por el proceso de Corte, al venir el material en un solo cable, no se es capaz de establecer si el sensor dañado es el que está inspeccionado o si es el siguiente, por lo cual se descartan los dos, duplicando los rechazos en el proceso anterior de Láser.
- Mediante el levantamiento de datos, cálculos estadísticos y estudios cuantitativos del antes y el después de la actualización del *software* en las líneas de producción de la empresa MicroLaser, se determinó el impacto por el incremento del defecto Marca Láser, tanto a nivel de sus indicadores de calidad como financiero, para la compañía.
- Se utilizó la herramienta lluvia de ideas para establecer las posibles causas del incremento en el defecto Marca Láser; a partir del uso de esta técnica, surgieron once posibles contribuyentes, los cuales se analizaron empleando otras herramientas ingenieriles como el diagrama de Ishikawa, el multivoto y el diagrama de Pareto. De este modo, se determinaron finalmente siete causas como las más relevantes: el personal no está sacando el *yield* cada hora, las máquinas son más rápidas y sacan más defectos por hora, el descuido de los operarios, entre otras, que representaron el 85 % de las razones del incremento.

- Una vez identificadas las posibles causas, se trabajó en posibles alternativas de mejora para solventarlas y, de esta manera, solucionar la problemática de la investigación. La primera alternativa fue la implementación de una pizarra para la estandarización del trabajo, de este modo todos los operarios realizan sus funciones de la misma forma y en los tiempos estipulados; también funciona como una herramienta visual de rápido entendimiento que ayuda a cualquier miembro de la empresa a saber el estado de las líneas de producción con solo un vistazo. La segunda alternativa consistió en modificar el programa de la máquina cortadora para que automáticamente calcule el *yield* del proceso y se detenga si este es menor a 97 %; así, se elimina el factor uno y obliga al colaborador a buscar asistencia técnica para el equipo.
- Luego de implementar las alternativas de mejora, se analizaron los datos de cinco semanas después de los cambios para compararlos con los registrados anteriormente en la etapa de “medir” y se obtuvo que posterior a la implementación, los rechazos por el defecto Marca Láser disminuyeron en un 85.80 %. Por lo tanto, se cumplió con el objetivo general de esta investigación, a saber, lograr una reducción del 70 % de rechazos.
- Después se realizaron los cálculos de cuantificación de los beneficios y retorno de la inversión, donde los beneficios financieros obtenidos son de \$ 27 597.68 al mes y el cálculo del retorno de inversión es de 30 días.
- Por último, con el fin de mantener los cambios hechos, se definió una serie de actividades que deben ejecutar los miembros de la empresa, como auditorías internas, caminatas Gemba y reuniones semanales para revisar el estado de los equipos y los indicadores de calidad.

Recomendaciones

- En futuros cambios en los equipos, realizar pruebas piloto en pocas líneas de producción para determinar el impacto que conlleva el cambio o mejora por implementar.
- Efectuar un análisis de costo beneficio para mejorar la distribución de las líneas de producción, ya que por el rápido crecimiento de la empresa estas carecen de una estructura que beneficie a los colaboradores en sus funciones diarias.
- Llevar a cabo una reunión con los departamentos de Planeamiento, Ingeniería, Calidad y Producción para realizar el plan semanal de producción, con el propósito de originar una estrategia que reduzca los cambios de generación en las máquinas y, así, mantener una mayor estabilidad en el proceso.
- Por medio del equipo multidisciplinario, buscar la posibilidad de un segundo proveedor de materia prima para garantizar la calidad del producto y el suministro de este para la producción.
- Implementar la metodología de clasificación de inventarios ABC, mínimos y máximos y puntos de reorden para los repuestos de la máquina, con el objetivo de evitar los tiempos de paro por falta de repuestos y enfrentar de una mejor manera la problemática que afecta a la empresa, relacionada al aumento de los tiempos de entrega por la guerra.

REFERENCIAS

Libros

Barrantes, R. (2014). *Investigación: un camino al conocimiento. Un enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto*. EUNED.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodologías de la investigación*, (6° ed.). McGraw Hill.

Molina, Z. (1997). *Planeamiento didáctico: fundamentos, principios, estrategias y procedimientos para su desarrollo*. EUNED.

Sánchez, D. (2020). *Análisis FODA o DAFO: el mejor y más completo estudio con 9 ejemplos prácticos*. Bubok Publishing.
<https://elibro.net/es/ereader/ucentral/189293?page=16>

Socconini, L. (2020). *Lean six sigma green belt*. Marge Books.
<https://elibro.net/es/ereader/ucentral/172850?page=19>

Socconini, L. (2021). *Cinturón amarillo Lean Six Sigma*. Marge Books.
<https://elibro.net/es/ereader/ucentral/188715?page=140>

Proyectos de investigación

Altuna, L. y Alva, I. (2018). *Lead time y su influencia en el nivel de servicio de las empresas de servicio de entrega rápida para las importaciones de Estados Unidos*. (Trabajo de graduación para optar por el título de Negocios Internacionales). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú.

Blandón, J. (2017). *Disminución del tiempo de ensamble del cuello de botella en las líneas de producción de fórceps*. (Trabajo de graduación de Ingeniería Industrial). Universidad Central. Costa Rica.

González, K., Murillo, O. y Sánchez, R. (2019). *Análisis del proceso de costeo de productos de la empresa 3M para el mejoramiento del indicador de tiempo de ciclo, utilizando la metodología Lean Manufacturing System (LMS) en el periodo enero 2016 a enero 2017*. (Trabajo para optar por el grado de Licenciatura en Logística Internacional). Universidad Técnica Nacional. <https://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/20.500.13077/201/Proceso%20de%20Costeo%20de%20Productos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ibáñez, C. (2018). *Diseño de propuestas de mejora para el área de producción en la empresa Puerto de Humos S. A.* (Trabajo para optar por el título de Ingeniero Civil Industrial). Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/bpmfcii.12d/doc/bpmfcii.12d.pdf>

López, R. (2019). *Reducción de defectos y mejora del yield en el área de WLCSP*. (Proyecto para optar por el grado de Maestría en Ingeniería e Innovación). Centro de Enseñanza Técnica y Superior. México. https://repositorio.cetys.mx/bitstream/60000/11111/1/RicardoLopez_ProyectoAplicacion.pdf

Murillo, L. D. (2004). *Automatización del control de calidad en empaque utilizando máquinas de visión*. (Trabajo para optar por el grado de Máster en Computación con Énfasis en Telemática). Instituto Tecnológico de Costa Rica. http://repositorio.conicit.go.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/216/InformeFinal_Maestr%C3%ADaDaComputaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Orozco, Y., Rodríguez, M. y Zamora, J. (2019). *Mejora del proceso de producción de cables de aluminio enfocada en la disminución de scrap en la compañía General*

Cable Conducen. (Trabajo para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial). Universidad de Costa Rica.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/8836/1/44162.pdf>

Ovalle, D. (2021). *Propuesta de mejora para la reducción de scrap en la producción de sacos de polipropileno mediante la aplicación de modelo DMAIC*. (Trabajo para obtener el título de Ingeniería Industrial). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20501/1/UPS-GT003276.pdf>

Pérez, C. (2011). *Mejoramiento de los procesos productivos de la empresa Acecol LTDA*. (Trabajo para obtener el título de Ingeniero Industrial). Universidad Industrial de Santander. Colombia.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/141057.pdf>

Rabanales, M. (2016). *Diseño de la investigación del desarrollo de un modelo de pronósticos por medio del método ABC para la reducción de merma por daño de productos cárnicos en un supermercado*. (Tesis para Ingeniería Mecánica Industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3334_IN.pdf

Salto, J. (2004). *Mejora continua en los procesos de fabricación de la funda daipa y de impresión en línea*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Guayaquil. Ecuador.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5289/1/3055.pdf>

Sánchez, K. (2018). *Establecimiento de mejoras en la gestión de la producción para reducir los retrasos en la entrega de pedidos de las familias de impresión en negro y color*. (Trabajo para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10310/establecimiento_de_

mejoras_en_la_gesti%C3%B3n_de_la_producci%C3%B3n_para_reducir_los_retasos_en_la_entrega_de_pedidos_de_las_familias_de_impresi%C3%B3n_en_negro_y_color.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Villalobos, E. (2017). *Aplicación de un plan de mejora que potencie el proceso productivo de la microempresa “Rancho Avellanas” a través de un diagnóstico de buenas prácticas de manufactura, mejora de una línea de producción, análisis sensorial del producto terminado y capacitación a sus colaboradores.* (Trabajo para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos). Universidad de Costa Rica.

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4348/1/41866.pdf>

Fuentes de Internet

Betancourt, D. (2016). *Diagrama de causa y efecto (Ishikawa) como herramienta de calidad.* www.ingenioempresa.com/diagrama-causa-efecto

Calidad y ADR. (2017). *Diagrama de Pareto.* <https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-pareto/>

Centro Virtual Cervantes. (2023). *Lluvia de ideas.* https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/diccio_ele/diccionario/lluviaideas.htm

CeroScrap. (2014). *¿Qué significa scrap industrial?* <http://ceroscrap.blogspot.com/2014/01/>

Condemarín, M. (s.f.). *Estrategias de enseñanza para activar los esquemas cognitivos de los estudiantes.* https://www.cpurjuliaca.org/pdf/estrategias_ensenanza.pdf

Delgado, M. y Solano, A. (2009). Estrategias didácticas creativas en entornos virtuales para el aprendizaje. *Actualidades Investigativas en Educación*, 9(2), 1-21. <https://www.redalyc.org/pdf/447/44713058027.pdf>

Diagrama de Ishikawa. (2013). http://www.academia.edu/download/45800691/Diagrama_de_Ishikawa.pdf

Escobedo, E. y Socconini, L. (2021). *Lean six sigma green belt: paso a paso*. Marge Books. <https://elibro.net/es/ereader/ucentral/172966?page=140>

Jiménez, F. (2019). *Estrategias DAFO: del análisis a la acción*. <https://www.ekon.es/blog/estrategias-dafo-analisis-accion/>

Lucidchart. (s.f.). *Qué es un organigrama*. <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-organigrama>

Manene, L. M. (2011). *Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones*. <https://luismiguelmanene.wordpress.com/2011/07/28/los-diagramas-de-flujo-su-definicion-objetivo-ventajas-elaboracion-fases-reglas-y-ejemplos-de-aplicaciones/>

Mano, M. (2009). *Organigramas*. El Cid Editor. <https://elibro.net/es/ereader/ucentral/28229?page=4>

Meardon, E. (s.f.). *What are Gantt charts?* <https://www.atlassian.com/agile/project-management/gantt-chart>

Minetto, B. (s.f.). *¿Qué es DMAIC?* <https://blogdelocalidad.com/que-es-dmaic/>

Miro. (2023). *Plantilla de diagrama SIPOC*. <https://miro.com/es/plantillas/diagrama-sipoc/>

Ocampo, J. y Pavón, A. (23-27 de julio de 2012). *Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la simulación de eventos discretos en Flexsim*. Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Panamá. <https://laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP147.pdf>

Teoría General del Sistema. (2010). *Diagramas causales*. <http://teoriageneralsistema.blogspot.com/2010/11/diagramas-causales-un-diagrama-causal.html>

Torres, I. (s.f.). *Diagrama de flujo, una herramienta infalible para visualizar, esquematizar y mejorar tus procesos*. <https://iveconsultores.com/diagrama-de-flujo/>

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

Scrap: En el contexto industrial, *scrap* se refiere a todos los desechos y/o residuos derivados del proceso industrial (CeroScrap, 2014). Por tanto, el *scrap* o residuo industrial posee un valor económico que genera gastos innecesarios y mala inversión del presupuesto de la empresa.

Yield: *Yield* es el nombre en inglés que expresa la rentabilidad de una sociedad en función del dividendo. Se obtiene como la razón entre el dividendo y la capitalización. También designa la rentabilidad por dividendo de una acción cotizada.

Láser: Dispositivo óptico que genera un haz luminoso de una sola frecuencia, monocromático, coherente y muy intenso, mediante la estimulación eléctrica o térmica de los átomos, moléculas o iones de un material.

Software: Es un programa informático, esto es, un conjunto de instrucciones, algoritmos y partes visuales que permiten interactuar con un dispositivo electrónico de una forma sencilla.

Micromaquinado láser: Los procesos de corte, grabado y perforado láser se usan para crear una pieza terminada con características microscópicas, sin usar herramientas mecánicas con cuchillas de corte convencionales.

Epicor software: Es una combinación visionaria de tecnología ágil y funcionalidad global para conectar e inspirar el crecimiento y las oportunidades en sus negocios.

SQDCT: Los gerentes de área comenzaron a rastrear y reportar el desempeño en un tablero SQDC (seguridad, calidad, entrega y costo), posteriormente registraron problemas específicos en tableros separados hora por hora.

NotepadC++: Es un editor de texto y de código fuente libre con soporte para varios lenguajes de programación y con soporte nativo para Microsoft Windows. Se parece al bloc de notas en cuanto al hecho de que puede editar texto sin formato y de forma simple.