

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial

**Rediseño en el Proceso de Producción del Positioner en la
línea de producción Stents en Boston Scientific.**

AUTOR

Oliver Eduardo Arrieta Artavia

TUTOR

Ing. Luis Quirós González

LECTOR

Ing. Jorge Navarrete Picado

San José, diciembre, 2024

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a Dios, por darme la inteligencia, capacidad, confianza y serenidad para cumplir este objetivo.

A mis abuelos, Aida y Olivier.

A mis hermanos Felipe, a mi ángel Norlan, -quien desde el Cielo siempre me daba fuerzas-, y a Benjamín.

A mi madre Verónica y a mi tío Brandol, quienes han sido mi mayor soporte para poder finalizar esta etapa.

A mi tía Wendy Artavia Solís, quien, además de ser mi mayor ejemplo, fue la razón por cual hoy estoy finalizando este proyecto y siguiendo sus pasos los cuales me formaron como ingeniero y persona.

También, a mi amada Amanda Alvarado, quien me ha apoyado incondicionalmente durante mi proceso de formación académica y profesional. Te amo y espero que este sea uno de los muchos logros que alcancemos juntos.

Agradecimientos

Quiero agradecer primero a Dios, por darme la fortuna de esta vida, tan llena de oportunidades y enseñanzas y por ir caminando conmigo en todos mis momentos felices y triunfantes, así como en todos mis momentos de dificultades.

A Boston Scientific que me facilitó trabajar en esta investigación, espero ser capaz de retribuirles algún día todo lo que me han dado.

Gracias infinitas a todos mis profesores, por enseñarme todo lo que necesitaba para ser el ingeniero que en el presente soy.

A todos mis compañeros de la universidad, por hacer de este proceso aún más enriquecedor, si Dios quiere la Universidad no solo me deja un título, me dejó colegas y amigos para toda la vida.

Finalmente, le agradezco a mi tutor Luis Quirós González, por la paciencia, la retroalimentación y el interés que demostraste en que este proyecto reflejara un buen trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se plantea como objetivo rediseñar el proceso de producción de Stents en la empresa Boston Scientific, con un enfoque en la optimización del proceso de corte, marcado y grabado mediante la implementación de la nueva máquina SigmaLáser-2024. El análisis inicial identificó áreas críticas de ineficiencia, destacando un desperdicio del 25.2% en el material utilizado, lo cual impacta de manera negativa en los costos de producción y la capacidad operativa.

Para abordar estos problemas, se propone la incorporación de la SigmaLáser-2024, una máquina láser de doble cabezal capaz de procesar ambos lados del stent simultáneamente. Este equipo permite reducir significativamente el tiempo de ciclo de producción de 20.5 a 18.5 segundos por pieza, lo que representa una mejora del 11% en la productividad. Además, el sistema automático de calibración y el control continuo de calidad aseguran una mayor precisión y una reducción del desperdicio de material, que se estima disminuirá en un 20%.

El análisis financiero proyecta un Valor Actual Neto (VAN) de \$1,865,000 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 45%, superando el 25% establecido por la empresa. El periodo de recuperación de la inversión es de 1.8 años, ello respalda la viabilidad económica del proyecto.

En términos operativos, la instalación de la SigmaLáser-2024, no solo incrementa la capacidad de producción, alcanzando 194 piezas por hora, sino que también fortalece la competitividad de la empresa en el mercado de dispositivos médicos, mejorando tanto la calidad del producto final como los tiempos de entrega.

Finalmente, el rediseño del proceso de producción, junto con la nueva disposición del equipo en la planta, optimizará el flujo de trabajo y permitirá que Boston Scientific mantenga su liderazgo en innovación y eficiencia en la industria de dispositivos médicos.

CONTENIDO

Dedicatoria	1
Agradecimientos.....	2
DECLARACIÓN JURADA	Error! Bookmark not defined.
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR.....	4
CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	5
CARTA REVISIÓN FILOLÓGICA.....	6
CARTA TUTOR CERTIFICANDO LA INCORPORACIÓN DE LAS MODIFICACIONES AL TFG	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
TABLAS	13
FIGURAS.....	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	16
Generalidades de la empresa	17
Misión.....	17
Visión.....	18
Organización.....	18
Historia	19
Planteamiento del problema	19
Objetivos	20
Objetivo General.....	20
Objetivo Específico	20
Justificación.....	20
Antecedentes	21
Tesis.....	21
Artículos Científicos:.....	23

	10
Proyecciones.....	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
Conceptos Generales	25
Definiciones relacionadas con el tema TFG.....	25
Rediseño de procesos de producción:.....	25
Tecnología Avanzada:	25
Eficiencia Operativa:	26
Estadística Descriptiva e Inferencial	26
Conceptos propios de la industria	26
Stent:.....	26
Láser Dual:	27
Automatización de procesos:.....	27
Herramientas para la recolección de datos.....	27
Herramientas para describir el problema	28
Diagrama Ishikawa	28
Análisis FODA	30
Diagramas de Flujo.....	31
Diagrama de Pareto	32
Herramientas para analizar las causas.....	35
Análisis de Causa Raíz	36
Gráficos de Control:	37
Herramientas para el rediseño	37
SMED (Single-Minute Exchange of Die):	38
Gráfico de líneas	38
Herramientas para el control de la implementación del rediseño	39
Diagrama de Gantt.....	40
Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM):.....	41
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	43
Enfoque	43

Alcance.....	45
Estudios Exploratorios:.....	45
Estudios Descriptivos:	46
Estudios Correlacionales:	46
Estudios Explicativos:	46
Diseño.....	47
Diseño Experimental:	47
Diseño No Experimental:	47
Diseño Transaccional:	48
Diseño Longitudinal:	48
Variables.....	49
Muestra.....	51
Instrumentos	52
Recolección de datos	53
Método de análisis.....	54
Cronograma.....	56
Diagrama EDT.....	56
Diagrama de Gantt.....	57
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN	58
Descripción del problema.....	58
Medición de las consecuencias	69
Análisis de las causas	74
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
Conclusiones	77
Recomendaciones.....	77
CAPÍTULO VI PROPUESTA	79
Propuesta.....	79

Análisis Económico.....	93
Plan de Implementación	96
APENDICES	98
REFERENCIAS	103

TABLAS

Tabla 1 Variables	49
Tabla 2 Muestra.....	51
Tabla 3 Instrumentos.....	52
Tabla 4 Recolección de datos.....	53
Tabla 5 Método de análisis.....	55
Tabla 6 Porcentaje de desperdicio y desempeño de producción en el período de enero 2023 a julio 2024.....	62
Tabla 7 Principales causas de desperdicio de material en el proceso de corte con máquinas láser (enero 2023 - julio 2024).....	64
Tabla 8 Análisis de costos de desperdicio.....	70
Tabla 9 Hoja de observación del tiempo de ciclo de la máquina.....	71
Tabla 10 Tiempo promedio del ciclo de la máquina.....	72
Tabla 11 Tabla de tiempos de ciclo con el rediseño del proceso	80
Tabla 12 Nuevos tiempos standard máquina SigmaLáser-2024.....	81
Tabla 13 Porcentaje de desperdicio.....	82
Tabla 14 Porcentaje de desperdicio con la inclusión de la máquina SigmaLáser-2024	83
Tabla 15 Matriz de selección de alternativas	91
Tabla 16 Cuadro de resumen de estudio financiero	93

FIGURAS

FIGURA 1. Organigrama de la Planta Boston Scientific Costa Rica.	18
FIGURA 2 Diagrama de Ishikawa	29
FIGURA 3 Análisis FODA	30
FIGURA 4 Diagrama de Flujo	32
<i>FIGURA 5 Diagrama de Pareto</i>	33
FIGURA 6 Diagrama de Gantt.....	41
FIGURA 7 Proceso cualitativo	44
FIGURA 8 Diagrama EDT	57
FIGURA 9 Diagrama de Gantt.....	57
FIGURA 10 Plano de Planta Área de Stents.....	58
FIGURA 11 Diagrama de procesos	59
FIGURA 12 Diagrama de Dispersión	63
FIGURA 13 Diagrama de Pareto	65
FIGURA 14 Diagrama de SIPOC	66
FIGURA 15 Análisis FODA	68
FIGURA 16 Gráfico análisis de costos de desperdicio.....	70
FIGURA 17 Distribución de tiempos de ciclo por elemento del proceso.....	72
FIGURA 18 Diagrama de Ishikawa	74
FIGURA 19 Porcentaje de desperdicio antes de la implementación	85
FIGURA 20 Porcentaje de desperdicio después de la implementación.....	85
FIGURA 21 Plano actualizado del Área de Stents	86
FIGURA 22 Máquina Láser máquina SigmaLáser-2024.....	87
FIGURA 23 Diagrama de Gantt en la implementación del proyecto	96

FIGURA 24 Ficha Técnica Láser.....	98
FIGURA 25 Comportamientos de métricas de desperdicio con implementación de la SigmaLáser-2024.....	99
FIGURA 26 Comportamientos de la producción con la implementación de la máquina SigmaLáser-2024.....	100
FIGURA 27 Comportamientos de la eficiencia con la implementación de la máquina SigmaLáser-2024.....	101
FIGURA 28 Factura de Máquina Láser	102

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Este proyecto se enfoca en la implementación de tecnología avanzada para rediseñar el proceso de producción del positioner en Boston Scientific. Se realiza desde la línea de investigación del diseño, desarrollo o mejoramiento de sistemas productivos o de servicios. La iniciativa se propone como objetivo reducir el desperdicio de material y aumentar la eficiencia en el proceso de fabricación, elementos críticos para la competitividad y sostenibilidad de la empresa en el mercado.

La viabilidad y la importancia de este proyecto para Boston Scientific son evidentes. Por un lado, la reducción del desperdicio de material conlleva ahorros significativos en costos de producción y materiales, lo cual se traduce en una mejora directa en la competitividad y en la capacidad de respuesta de la empresa ante la demanda fluctuante. Por otro lado, la implementación de tecnologías avanzadas, como el sistema de láser, refuerza la imagen de Boston como una empresa innovadora y comprometida con la eficiencia y la productividad.

Este proyecto abarca varios aspectos clave. La automatización de los procesos para elaborar productos es un área crucial. La introducción de la tecnología de láser dual implica una mayor automatización en el proceso de corte de los stents, lo cual, no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce la probabilidad de errores humanos y aumenta la precisión del cortar, marcar o grabar. Esta automatización es esencial para mantener la competitividad en la producción y asegurar la calidad de los productos.

Otro aspecto importante consiste en la planificación, control y ejecución de proyectos. Este proyecto requiere una cuidadosa planificación y ejecución para garantizar su éxito. Desde la selección y adquisición de la tecnología láser hasta su integración dentro de la línea de producción existente, cada paso debe ser coordinado y controlado para cumplir con los objetivos establecidos. La correcta ejecución de estos pasos asegura que la implementación sea fluida y efectiva, minimizando interrupciones en la producción.

Además, la evaluación de procesos mediante el desarrollo y medición de indicadores de gestión es fundamental para este proyecto. La evaluación del impacto de la implementación del sistema de láser dual se llevará a cabo mediante la medición de indicadores clave de rendimiento, como el porcentaje de desperdicio, el rendimiento de la producción y los costos asociados. Estos indicadores proporcionarán información valiosa para evaluar la eficacia de la solución propuesta y realizar ajustes si es necesario.

El contenido de los capítulos de este trabajo se estructurará de la siguiente manera:

Capítulo 1: Introducción abordará el objetivo del proyecto, que es rediseñar el proceso de producción del positioner en Boston Scientific, y la importancia de este proyecto en términos de reducción de costos y aumento de la eficiencia. Además, se describirá la estructura del trabajo y los capítulos siguientes.

Capítulo 2: Revisión de la Literatura presentará un análisis detallado de la tecnología avanzada en la producción, su historia y evolución, los beneficios y desafíos de la automatización en la fabricación, y los tipos y métodos de medición de indicadores de gestión en la producción.

Capítulo 3: Metodología describirá el diseño del estudio, el enfoque y alcance del proyecto, las herramientas de análisis utilizadas, y el plan de implementación, incluyendo los pasos y el cronograma del proyecto.

Capítulo 4: Desarrollo del proyecto se enfocará en la selección de la tecnología láser, describiendo los criterios y el proceso de selección, la integración en la línea de producción con una descripción detallada de la instalación y configuración, y la capacitación del personal, incluyendo los programas y resultados esperados.

Capítulo 5: Evaluación de la implementación detallará los indicadores clave de rendimiento seleccionados y definidos, los resultados preliminares obtenidos a partir de los datos iniciales y su análisis, y los ajustes y mejoras realizados basados en estos resultados.

Finalmente, el capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones resumirá el impacto del proyecto, los resultados y beneficios obtenidos, y las lecciones aprendidas durante el proceso, proporcionando recomendaciones para futuras implementaciones y mejoras continuas.

Generalidades de la empresa

En este capítulo introductorio, se presenta una visión general del proyecto que aborda el rediseño en el Proceso de Producción del Positioner en la línea de producción stents en Boston Scientific.

Misión

Boston Scientific se compromete a transformar la vida de los pacientes, a través de soluciones médicas innovadoras que mejoran la salud global.

Visión

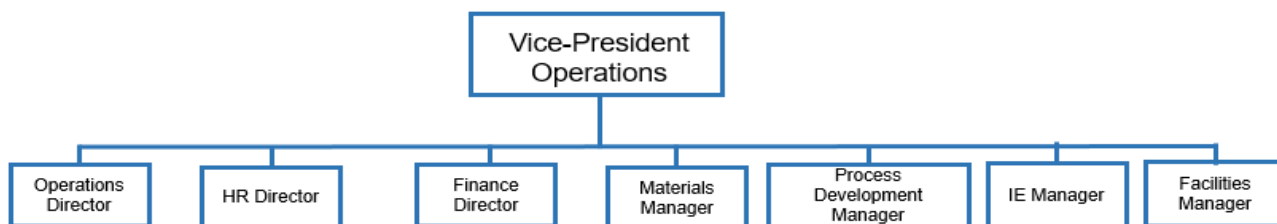
Ser líder mundial en el desarrollo, fabricación y comercialización de dispositivos médicos innovadores que aborden las necesidades médicas no satisfechas, mejorando la salud de los pacientes en todo el mundo.

Organización

Boston Scientific es una empresa multinacional con una estructura organizativa que refleja su enfoque en la innovación y el desarrollo de productos médicos. La empresa opera en diversas divisiones que se centran en áreas específicas de la salud, como cardiología, neurología, gastroenterología, urología, entre otras. Cada división cuenta con equipos dedicados de investigación y desarrollo, fabricación, ventas y marketing, así como funciones de apoyo administrativo.

A continuación, en la figura 1 se presenta el Organigrama de Boston Scientific.

FIGURA 1. Organigrama de la Planta Boston Scientific Costa Rica.



Nota: Boston Scientific Web.

Descripción: En la Figura 1 se muestra el organigrama de la empresa Boston Scientific, el cual está constituido por las siguientes posiciones clave: Vicepresidente, Director de Operaciones, Director de Recursos Humanos, Director de Finanzas, Director de Materiales, Gerente de Desarrollo de Procesos, Gerente de Ingeniería Industrial y Gerente de Instalaciones, este organigrama de Boston Scientific refleja la estructura jerárquica y las responsabilidades funcionales dentro de la empresa. Al comprender los roles clave y sus interrelaciones, es posible obtener una visión más profunda de cómo funciona la organización y cómo se logran sus objetivos.

Historia

Boston Scientific fue fundada en 1979 en Marlborough, Massachusetts, Estados Unidos. Desde sus humildes comienzos como una pequeña empresa de fabricación de balones cardíacos, ha experimentado un crecimiento significativo y se ha expandido globalmente a lo largo de los años.

Hoy en día, Boston Scientific es reconocida mundialmente por su liderazgo en tecnología médica, su dedicación a la investigación y desarrollo de vanguardia, y su compromiso con la mejora continua en la atención médica global. La empresa sigue avanzando en su misión de proporcionar soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de los pacientes en todo el mundo.

Planteamiento del Problema

En la actualidad, las empresas enfrentan constantes desafíos para rediseñar su eficiencia operativa y mantenerse competitivas en un entorno empresarial en constante evolución. En el caso específico de Boston Scientific, una empresa líder en la industria de dispositivos médicos, la línea de producción de stents se encuentra ante una serie de problemas que obstaculizan su rendimiento y su capacidad para satisfacer las demandas del mercado.

Uno de los principales problemas es el alto índice de desperdicio de material en el proceso de cortar, marcar o grabar en el stents, lo que resulta en un alto índice de desperdicio generando pérdidas significativas de materia prima y recursos. Además, la falta de eficiencia en el proceso de fabricación dificulta la capacidad de Boston Scientific para satisfacer las demandas del mercado de manera oportuna y satisfactoria. Este desperdicio de material y falta de eficiencia impactan negativamente en los costos de producción y la rentabilidad de la empresa. Asimismo, la incapacidad para cumplir con la demanda del mercado de manera eficiente y oportuna puede resultar en la pérdida de clientes y oportunidades de negocio para Boston Scientific.

Dado el impacto negativo en los costos de producción y la rentabilidad, nos lleva a plantear la siguiente pregunta: ¿Cómo rediseñar el proceso de producción del Positioner en la línea de producción de stents en Boston Scientific para minimizar el desperdicio de material, optimizar la eficiencia y reducir los costos, mejorando así su capacidad de respuesta a las demandas del mercado y su competitividad en la industria de dispositivos médicos?

Objetivos

A continuación, se mencionarán los objetivos tanto general como específicos que se desarrollarán en la presente investigación:

Objetivo General

Rediseñar el proceso operativo de producción del stent minimizando el desperdicio de material y aumentando la eficiencia operativa.

Objetivo Específico

1. Describir el nivel de desperdicio de material en el proceso de corte y formado del stent
2. Medir la afectación del desperdicio de material en el proceso de corte y formado del stent.
3. Analizar las causas en el desperdicio de material en el proceso de corte y formado para establecer las oportunidades de mejora.
4. Definir un rediseño proceso de producción para la reducción del desperdicio de material en el proceso de corte y formado del stent.
5. Determinar propuestas de control de las mejoras planteada en el proceso de corte y formado del stent.

Justificación

El proyecto de optimización de la línea de producción de stents en Boston Scientific se fundamenta en la necesidad de abordar desafíos técnicos, financieros y estratégicos que afectan la eficiencia operativa y la competitividad de la empresa en el mercado de dispositivos médicos.

Desde el punto de vista técnico, se ha identificado un alto índice de desperdicio de material y una falta de eficiencia en el proceso de fabricación de stents. Estos problemas impactan negativamente en los costos operativos y en la capacidad de respuesta de la empresa ante las fluctuaciones del mercado.

En términos financieros, la ineficiencia operativa y el desperdicio de material tienen un impacto directo en los costos de producción y la rentabilidad de la empresa. La implementación de mejoras significativas en la línea de producción reducirá los costos asociados y optimizará el uso de los recursos, mejorando así la rentabilidad a largo plazo.

Además, el proyecto fortalecerá la competitividad de Boston Scientific al rediseñar la calidad, precisión y consistencia de sus productos. Ello es fundamental para mantener y expandir la cuota de mercado, así como para asegurar la satisfacción de los clientes al ofrecer productos de alta calidad de manera más eficiente y rentable.

La elección de este tema dentro de la organización se basó en un análisis exhaustivo de las necesidades y prioridades actuales de Boston Scientific. Evaluaciones técnicas y financieras detalladas han identificado áreas específicas de mejora en la producción de stents, resaltando el potencial impacto positivo en términos de eficiencia operativa, rentabilidad y competitividad. Además, el proyecto se alinea estrechamente con los objetivos estratégicos de la empresa, reforzando su compromiso con la innovación continua y la excelencia operativa en la industria de dispositivos médicos.

Antecedentes

En esta sección se examinan investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional, relacionadas con el rediseño en el proceso de producción del positioner en la línea de producción de stents en Boston Scientific. Los antecedentes se dividirán en artículos científico, libros y tesis, como se muestra a continuación:

Tesis

González (2017) El objetivo principal de esta investigación es mejorar el sistema de distribución en la cadena de suministro de los Mini Súper Musmanni. Para analizar la situación, se utilizaron herramientas como el Análisis ABC, el Análisis FODA y estudios de tiempos y movimientos. La propuesta de mejora incluyó manuales de procedimientos, control permanente con estudios de tiempos y movimientos, y la incorporación del análisis FODA como parte de la cultura organizacional (p.134).

Estrada y Luna (2017) aducen:

El objetivo de esta investigación es proponer mejoras y estandarizar el proceso de ingresos y salidas en las bodegas de materias primas de una panadería. Se utilizaron herramientas como cuestionarios al personal, coeficientes de Pearson para el análisis de datos y el coeficiente Alpha de Cronbach. La propuesta de mejora incluyó capacitaciones para el personal de producción, documentación de los procesos y

registros de entradas y salidas, así como la estandarización física de la planta de producción para optimizar la línea de producción. (p.145).

Alvarado (2017), en su tesis titulada propuesta para el rediseño del sistema integrado de programación y control de las cirugías del Hospital San Rafael de Alajuela: para el cálculo de la demanda real, se utilizó como base la información de treinta y seis meses, abarcando desde el mes de enero de 2014 hasta el mes de diciembre de 2016. Esta información sirve de insumo para procesarse en los diferentes modelos matemáticos de proyección. Para la demanda del Hospital, se utilizaron cuatro métodos de proyección, los cuales fueron: la suavización exponencial simple, suavización exponencial doble, método Winter y el método de descomposición. Lo importante al analizar los diferentes métodos de proyección es elegir aquel que tenga un mejor ajuste al comportamiento histórico que presentó la demanda. Para esto, existen pruebas estadísticas que determinan el error que presentan los datos obtenidos. Se eligieron las proyecciones obtenidas con el método Winters, ya que presenta un error porcentual medio absoluto más bajo respecto a los otros métodos utilizados.

Para Gongora (2023):

Esta investigación tiene como objetivo rediseñar el proceso de facturación de materiales de empaque de la producción. El estudio incluye el análisis del flujo de trabajo actual, la identificación de ineficiencias y la implementación de mejoras para optimizar el proceso de facturación. La propuesta de mejora se centra en la automatización de tareas, la capacitación del personal y la estandarización de procedimientos para asegurar la precisión y eficiencia en la facturación de materiales de empaque. (p.105).

De acuerdo con, González (2023): “Esta investigación tiene como objetivo diseñar el proceso de alisto y preparación de fórmulas utilizadas en la producción de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L” (s.p.). Para lograr esto, se llevaron a cabo análisis de flujo de trabajo, estudios de tiempos y movimientos, y se aplicaron principios de eficiencia productiva. La propuesta de mejora incluye la implementación de procedimientos estandarizados y capacitación del personal para asegurar la consistencia y calidad en la preparación de fórmulas, optimizando así la producción y reduciendo desperdicios.

Artículos Científicos:

Rafoso y Artiles (2017) En el artículo Reingeniería de procesos, conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones: se puede llegar a la conclusión que, para que tenga éxito la reingeniería de procesos, la gestión del conocimiento es un eslabón fundamental para echar andar el motor, no se puede llevar a cabo la implantación de una reingeniería cuando los trabajadores de la organización tienen conflictos internos, en cuanto a brindar el conocimiento tácito que poseen, por desconfianza y poca cultura de intercambio de información para lograr un objetivo a fin a la organización.

Kumar y Patel (2019) En su artículo titulado "Lean manufacturing principles and their application in medical device manufacturing", publicado en la revista Procedia CIRP, investigan cómo los principios de Lean Manufacturing pueden aplicarse en la producción de dispositivos médicos. Utilizan herramientas como 5S, Kaizen y Just-In-Time para optimizar una línea de producción, logrando una reducción significativa de desperdicios y una mejora en la eficiencia. Concluyen que la metodología Lean puede reducir los costos y mejorar la calidad de los dispositivos médicos.

González y Ramírez (2020), en su artículo publicado en la revista Journal of Medical Device Technology, analizan los beneficios y desafíos de la automatización en la fabricación de dispositivos médicos. Implementaron tecnologías avanzadas en una línea de producción y midieron su impacto en la reducción de errores y aumento de la eficiencia. Concluyen que la adopción de estas tecnologías puede mejorar significativamente la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

Nguyen, Liu, y Zhang (2021), en su artículo titulado: "Optimization of smart manufacturing systems with advanced technology integration:", publicado en la revista International Journal of Advanced Manufacturing Technology, investigan la optimización de sistemas de manufactura inteligentes mediante la integración de tecnologías avanzadas. A través de un estudio de caso en la producción de dispositivos médicos, demostraron cómo la integración tecnológica puede mejorar el rendimiento de la producción y reducir los costos operativos. Concluyen que la optimización de sistemas inteligentes es crucial para mantener la competitividad en la industria de dispositivos médicos.

Miller y Harris (2022), en su artículo: "Implementing advanced manufacturing technologies in medical device production", publicado en la revista Journal of Manufacturing Systems, discuten la implementación de tecnologías avanzadas en la producción de dispositivos médicos. Realizaron un

estudio sobre la integración de sistemas tecnológicos en la fabricación de dispositivos médicos, logrando mejoras en la precisión y reducción de desperdicios. Concluyen que estas tecnologías pueden mejorar significativamente la competitividad y la capacidad de respuesta de la empresa.

Proyecciones

Dentro de las proyecciones planteadas para el éxito de este proyecto de rediseño de la línea se fundamentará en varios factores clave, entre los cuales se destacan:

- La implementación de un rediseño de procesos que aproveche la eficiencia de la tecnología de la máquina láser para mejorar la producción de los dispositivos.
- Cumplir con el objetivo de que la maquinaria cumpla con los requisitos internos de producción, lo que llevará a una reducción significativa del desperdicio. Se proyecta un ahorro estimado entre un 2% en costos asociados con desperdicios de material, lo cual se reflejará en un aumento de la capacidad operativa de la empresa.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se establecerá el marco teórico necesario para abordar el rediseño en el proceso de producción del Positioner. Este marco teórico se sustentará en conceptos generales, así como en herramientas específicas utilizadas para describir el problema, medir sus consecuencias, analizar sus causas, proponer soluciones y controlar su implementación. A través de este enfoque, se busca proporcionar una base sólida que sustente las propuestas de mejora y optimización del proceso productivo.

Conceptos Generales

Es fundamental establecer una base de conceptos esenciales que guíen el desarrollo y comprensión del estudio. Dichas nociones incluyen una serie de definiciones clave que proporcionan el marco teórico necesario para la investigación. A continuación, se presentan algunas definiciones relacionadas directamente con el tema del TFG:

Definiciones relacionadas con el tema TFG

La industria médica, también conocida como industria de dispositivos médicos, abarca una amplia gama de productos y servicios destinados a la prevención, diagnóstico, tratamiento y monitoreo de enfermedades y condiciones médicas. Esta industria es fundamental para el sistema de salud global, ya que proporciona tecnologías innovadoras y soluciones que mejoran la calidad de vida de los pacientes, los productos de esta industria son vitales para el funcionamiento efectivo de los servicios de salud, dentro de este amplio tema encontraremos las siguientes definiciones:

Rediseño de procesos de producción: El rediseño de procesos constituye una estrategia clave en la Ingeniería Industrial con la cual se pretende optimizar la eficiencia y la efectividad de los sistemas de producción. Según Teng, Grover y Fiedler (2021): “El rediseño implica la revisión y mejora significativa de los procesos existentes, con el objetivo de reducir costos, mejorar la calidad y aumentar la satisfacción del cliente” (pp. 3-27).

Tecnología Avanzada: En el ámbito de la manufactura, la implementación de tecnologías avanzadas juega un papel fundamental en la mejora de los procesos productivos. Acorde con el contexto de González y Ramírez (2020): “La fabricación la tecnología avanzada se refiere al uso de tecnologías modernas y sofisticadas, como la automatización, robótica, y sistemas de control avanzados, para mejorar los procesos de producción” (p.45). Así pues, la implementación de estas

tecnologías permite alcanzar altos niveles de precisión y eficiencia, reduciendo el desperdicio de materiales y mejorando la calidad del producto

Eficiencia Operativa: Dentro del ámbito de la gestión empresarial, la eficiencia operativa se posiciona como un pilar crucial para el éxito y la sostenibilidad organizacional. Se define como la capacidad estratégica de una empresa para optimizar sus procesos y recursos, con el objetivo primordial de maximizar la producción y minimizar los costos asociados. Esta capacidad no solo implica una gestión efectiva de recursos humanos, financieros y materiales, sino también una adaptación ágil a las fluctuaciones del mercado y a los cambios, tanto internos como externos que puedan impactar la operación empresarial.

De acuerdo con Kumar y Patel (2019):

La eficiencia operativa es la capacidad de una empresa para maximizar su producción y minimizar los costos utilizando los recursos disponibles de manera óptima. Este concepto es fundamental para la competitividad empresarial, ya que una mayor eficiencia operativa puede llevar a una reducción significativa de costos y una mejor utilización de los recursos. (p.45)

Estadística descriptiva e inferencial

La estadística descriptiva se utiliza para representar y resumir los datos recolectados, mediante distribuciones de frecuencias, medidas de tendencia central (promedio, moda, mediana) y medidas de variabilidad (varianza, desviación estándar, rango). La estadística inferencial, por otro lado, se utiliza para estimar parámetros y realizar inferencias sobre una población a partir de una muestra. Esto incluye pruebas de hipótesis, coeficientes de correlación y análisis de varianza (ANOVA).

Según Johnson y Bhattachary (2016): “La estadística descriptiva y la inferencial son herramientas fundamentales en el análisis de datos, proporcionando tanto una descripción detallada de las características de los datos como inferencias sobre la población basadas en muestras” (p. 45).

La figura 8 consiste en una representación visual que ilustra la aplicación de estadística descriptiva e inferencial en el análisis de datos.

Conceptos propios de la industria

Stent: La definición de la Sociedad Española de Cardiología (SEC, s.f), un stent se define como un dispositivo médico en forma de pequeño tubo de malla metálica que se coloca en una arteria

estrecha para mantenerla abierta y permitir el flujo sanguíneo adecuado. Este tratamiento, conocido como angioplastia coronaria con colocación de stent, se utiliza para tratar la enfermedad arterial coronaria y prevenir complicaciones graves como el infarto de miocardio. La producción de stents requiere estándares estrictos de precisión y control de calidad debido a su aplicación crítica en procedimientos cardiovasculares.

Láser Dual: El láser es una tecnología de fabricación que utiliza un rayo láser para cortar, marcar o grabar materiales. Es conocido por su alta precisión, capacidad y detallado, lo que es especialmente útil en la fabricación de dispositivos médicos como los stents. Como menciona Miller y Harris (2022), “la adopción de corte láser en la producción puede mejorar significativamente la precisión y reducir el desperdicio de materiales” (pp.145-159).

Automatización de procesos: Dentro del contexto industrial, la automatización de procesos se define como la aplicación de sistemas y tecnologías automáticas para llevar a cabo tareas de producción sin intervención directa del ser humano. Esta práctica incluye el uso de robots industriales, sistemas avanzados de control de procesos y software especializado en gestión de producción. El objetivo primordial de la automatización es reducir los errores inherentes a la intervención humana, garantizar una mayor consistencia en la ejecución de tareas y mejorar la calidad general del producto manufacturado.

La implementación de la automatización en los procesos industriales no solo busca optimizar la eficiencia operativa, sino también mantener estándares elevados de producción de manera consistente y sostenible en el tiempo.

González y Ramírez, (2020). La automatización de procesos en la fabricación se refiere a la utilización de sistemas y tecnologías automáticas para realizar tareas de producción sin intervención humana directa. Esto puede incluir el uso de robots, sistemas de control de procesos y software de gestión de producción. La automatización puede reducir los errores humanos y aumentar la consistencia y calidad del producto. (p.34)

Herramientas para la recolección de datos

En este proyecto estará utilizando la hoja de observación y recolección de datos es una herramienta estructurada que se utiliza para registrar de manera sistemática y precisa las observaciones realizadas durante un proceso o actividad. Incluye campos específicos para anotar información

cuantitativa y cualitativa relevante, la hoja de observación es fundamental para monitorear y evaluar el desempeño de las nuevas tecnologías en tiempo real. Permite a los investigadores documentar aspectos específicos del proceso de producción, como tiempos de ciclo, incidencias de errores, y niveles de desperdicio de material. Según Smith y Jones (2020): “La aplicación de la hoja de observación en la recolección de datos proporciona una metodología estructurada para registrar variables críticas en la producción, facilitando así la evaluación precisa de los procesos y el rendimiento operativo” (p.75).

Herramientas para describir el problema

Para describir el problema en el proceso de producción, se pueden utilizar varias herramientas analíticas que permiten identificar y analizar las causas de los problemas y mejorar la eficiencia del proceso. Algunas de las herramientas más comunes incluyen:

Diagrama Ishikawa

También conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta que ayuda a identificar, explorar y representar gráficamente las causas principales y secundarias de un problema. Carneiro (2018) menciona que “esta herramienta permite identificar, explorar y representar gráficamente las causas principales y secundarias de un problema” (p.26).

El autor anterior menciona los pasos para elaborar un Diagrama Ishikawa:

1. **Definir el problema central:** Identificar claramente el problema principal que se desea abordar en el proceso de producción.
2. **Identificar las categorías principales (las 6 M's):**
 - **Materias primas:** Evaluar la calidad y características de los materiales utilizados en el proceso.
 - **Maquinaria:** Revisar el estado y las capacidades de las máquinas involucradas en la producción.
 - **Métodos de trabajo:** Analizar los procedimientos y prácticas actuales utilizadas en el proceso.
 - **Mano de obra:** Evaluar las habilidades, competencias y capacitación del personal que opera en el proceso.

- **Medio ambiente:** Considerar las condiciones ambientales y de trabajo que pueden afectar el proceso.
- **Medición:** Fundamental para procesos donde la precisión y el control de los datos son esenciales, como es el caso de la fabricación de dispositivos médicos.

3. Crear el diagrama:

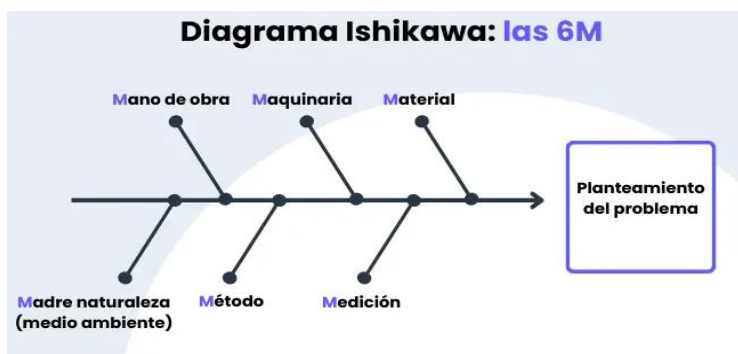
- Dibujar una línea horizontal que represente el problema central.
- Dibujar líneas perpendiculares (espinas) que salgan de la línea central, representando cada una de las categorías principales (las 6 M's).
- Listar las posibles causas dentro de cada categoría que podrían estar contribuyendo al problema central.

4. **Analizar las causas:** Profundizar en cada causa identificada para entender cómo contribuye al problema. Utilizar herramientas adicionales como el análisis de causa raíz para explorar las causas fundamentales.

5. **Priorizar y planificar acciones:** Identificar las causas más significativas basadas en su impacto y probabilidad de ocurrencia. Desarrollar estrategias y acciones específicas para abordar y mitigar cada causa identificada, con el objetivo de mejorar la eficiencia y reducir los problemas en el proceso de producción. (Carneiro, 2018, p.27).

La Figura 2 muestra un ejemplo de un Diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado.

FIGURA 2 Diagrama de Ishikawa



Nota: Se obtiene información de justificación de los requisitos de la Norma UNE - EN ISO 9001:2000.

Análisis FODA

Este análisis evalúa las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de una organización. Con base en Morrison (2017) ,“facilita una comprensión integral del entorno interno y externo de la organización” (pp.5-15). El análisis se organiza en una matriz de cuatro cuadrantes.

El autor anterior menciona los pasos para elaborar un Análisis FODA:

1. Se debe identificar las oportunidades y amenazas, así como las fortalezas y debilidades a través del estudio del micro y macro entorno y de un concienzudo análisis interno.
2. Justo después hay que cumplimentar la matriz FODA o DAFO.
3. Realizaríamos el análisis CAME, herramienta para corregir las debilidades, afrontar las amenazas, mantener las fortalezas y explotar las oportunidades anteriormente identificadas.
4. Luego seleccionaríamos la estrategia de la compañía. Por último, definiríamos y planificaríamos las acciones a implementar. (Morrison, 2017, p.19).

La Figura 3 es una representación clara y completa de cómo se puede utilizar el análisis FODA.

FIGURA 3 Análisis FODA



Nota: Se obtiene de información de hubspot.

Diagramas de Flujo






Son representaciones gráficas que muestran la secuencia de pasos en un proceso. Son útiles para visualizar el flujo de trabajo y detectar posibles ineficiencias o áreas de mejora. Damelio (2016) afirma que: “Los diagramas de flujo son fundamentales para documentar y analizar procesos, proporcionando una representación visual clara y concisa de cómo funciona un proceso” (pp. 25-30).

Continuando con el autor anterior menciona cuáles son los pasos por seguir para la construcción de los diagramas de flujo:

1. Conformar un grupo de trabajo donde participen aquellos que son responsables de la ejecución y el desarrollo de los procedimientos que se encuentran debidamente interrelacionados y que constituyen un proceso.
2. Establecer el objetivo que se persigue con el diseño de los diagramas y la identificación de quién lo empleará, ya que esto permitirá definir el grado de detalle y tipo de diagrama a utilizar.
3. Definir los límites de cada procedimiento mediante la identificación del primer y último paso que lo conforman, considerando que en los procedimientos que están interrelacionados el comienzo de uno es la conclusión del proceso previo y su término significa el inicio del proceso siguiente.
4. Una vez que se han delimitado los procedimientos, se procede a la identificación de los pasos que están incluidos dentro de los límites de cada procedimiento y su orden cronológico.
5. Al realizar la ubicación de los pasos, se deben identificar los puntos de decisión y desarrollarlos en forma de pregunta, las presentaciones de las dos ramas posibles correspondientes se identifican con los términos SÍ/NO.
6. Al tener identificados y ubicados los pasos en orden cronológico, se recomienda realizar una revisión del procedimiento, con el fin de corroborar que este se encuentra completo y ordenado, previendo así la omisión de pasos relevantes.
7. Construir el diagrama respetando la secuencia cronológica y asignando los correspondientes símbolos. (Damelio, 2016, p.30).

La Figura 4 es una ilustración efectiva de cómo se puede utilizar un diagrama de flujo para documentar y analizar un proceso, proporcionando una herramienta visual valiosa para la mejora continua y la gestión de procesos.

FIGURA 4 Diagrama de Flujo

	Símbolo	Función
Líneas de flujo		Conectan los pasos, etapas, decisiones y otros elementos que intervienen en los diagramas
Decisión		Se usan para indicar las elecciones y decisiones realizadas.
Datos		Ofrecen información nueva, de interés o de gran valor para el desarrollo del proceso representado.
Actividad		Indican las acciones que se transforman en datos que dan continuidad al proceso.
Inicio / final		Se utiliza cada vez que se indica el problema/ solución en el diagrama de flujo marcando el inicio y cierre de mismo.

Nota: Se obtiene de información de GCFGlobal.

Diagrama de Pareto

Esta herramienta se utiliza para identificar y priorizar los problemas más significativos en un proceso. El gráfico de Pareto muestra la frecuencia o el impacto de los problemas y ayuda a focalizar los esfuerzos de mejora en los aspectos más críticos. Pareto (2014) determina que, “un diagrama de Pareto es una gráfica que representa en forma ordenada en cuanto a importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas de un problema” (p.19).

Continuando con el autor anterior, describe los pasos a seguir para elaborar el Gráfico de Pareto:

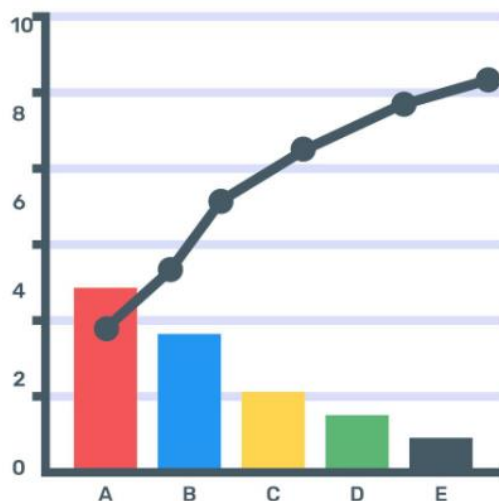
1. Determine el tipo de pérdida/problema el cual desea investigar.
2. Especifique el aspecto de interés del tipo de pérdida que desea investigar.
3. Organice una hoja de verificación con las categorías del aspecto que usted ha decidido investigar.
4. Llene la hoja de verificación.

5. Haga las cuentas, organice las categorías en orden decreciente de frecuencia, agrupe aquellas que ocurren con baja frecuencia bajo denominación “otros” y calcule el total.

6. Calcule las frecuencias relativas y las frecuencias acumuladas. (Pareto, 2014, p.20).

La Figura 5 muestra un ejemplo de un Diagrama de Pareto, una herramienta que se utiliza para identificar y priorizar las causas principales de un problema basándose en el principio de Pareto, que establece que aproximadamente el 80% de los problemas son causados por el 20% de las causas.

FIGURA 5 Diagrama de Pareto



Nota: Se obtiene de información de Diagrama de Pareto de la revista conciencia tecnológicas.

Herramientas para medir las consecuencias

En la gestión empresarial, es crucial evaluar y comprender las consecuencias financieras y operativas de diversas decisiones y procesos. Este análisis proporciona una visión clara de cómo las acciones afectan tanto la rentabilidad financiera como la eficiencia operativa de una organización.

Análisis de Demanda

El análisis de demanda resulta fundamental para entender las necesidades y preferencias de los clientes, proporcionando una base sólida para la planificación estratégica y la gestión de inventarios. Según Kumar y Shah (2016): “El análisis de demanda permite a las empresas ajustar sus estrategias de producción y marketing para satisfacer de manera efectiva las necesidades cambiantes del mercado” (p.45).

Los mismos Kumar y Shah (2016), indican cuáles son los pasos para realizar un análisis de demanda:

1. **Recopilación de datos:** Recolecta datos históricos de ventas y otros datos relevantes como precios, promociones, competencia.
2. **Segmentación de mercado:** Divide el mercado en segmentos basados en características demográficas, geográficas, psicográficas y conductuales.
3. **Estimación de la demanda total:** Utiliza métodos estadísticos o cualitativos para estimar la demanda total del mercado para tu producto o servicio.
4. **Análisis de tendencias:** Examina las tendencias históricas y futuras del mercado, considerando factores económicos, sociales y tecnológicos.
5. **Previsión de la demanda:** Proyecta la demanda futura utilizando modelos de series temporales, encuestas de intención de compra u otros métodos de previsión.
6. **Análisis de sensibilidad:** Evalúa cómo varía la demanda ante cambios en variables clave como el precio, la calidad del producto, la disponibilidad.
7. **Determinación de estrategias:** Ajusta las estrategias de producción, marketing y gestión de inventarios para satisfacer eficazmente las necesidades cambiantes del mercado.
8. **Monitoreo y ajuste continuo:** Monitorea regularmente los cambios en la demanda y ajusta tus estrategias según sea necesario para mantener la relevancia y competitividad. (Kumar y Shah, 2016, p.47).

Análisis de capacidad

El análisis de capacidad evalúa la capacidad productiva de una organización para asegurar que pueda cumplir con la demanda del mercado sin comprometer la calidad del producto o servicio.

Acorde con Sánchez et al. (2015), “el análisis de capacidad ayuda a determinar los niveles óptimos de producción y a identificar cuellos de botella que podrían limitar la eficiencia operativa” (p. 92).

El autor anterior menciona los pasos para realizar el análisis de capacidad:

1. **Definición del objetivo:** Establece el propósito del análisis para evaluar la capacidad de producción actual o futura de la empresa.
2. **Identificación de recursos y actividades:** Enumera y evalúa todos los recursos disponibles, como equipos, mano de obra y materiales, así como las actividades del proceso productivo.
3. **Medición de la capacidad actual:** Calcula la capacidad actual usando métricas como unidades producidas por tiempo, horas máquinas utilizadas.
4. **Estimación de la capacidad futura:** Proyecta la capacidad futura considerando inversiones en tecnología, expansión de instalaciones y contratación de personal.
5. **Análisis de cuellos de botella:** Identifica y evalúa cualquier limitación en el proceso que pueda afectar la capacidad total de producción
6. **Comparación con la demanda:** Evalúa si la capacidad calculada puede satisfacer la demanda esperada del mercado o si se requieren ajustes.
7. **Desarrollo de estrategias de mejora:** Propone y planifica estrategias para mejorar la capacidad, como optimización de procesos y adopción de tecnología avanzada.
8. **Implementación y monitoreo:** Implementa las estrategias seleccionadas y monitorea continuamente el desempeño para asegurar que la capacidad se mantenga alineada con las necesidades del mercado. (Sánchez et al., 2015, p.93)

Herramientas para analizar las causas

Para identificar y clasificar las causas de los problemas en el proceso de producción, se emplean diversas herramientas analíticas. Estas herramientas ayudan a comprender las razones subyacentes de las desviaciones y a formular estrategias para corregirlas.

Análisis de Causa Raíz. Se trata de un método sistemático para identificar la causa principal o causas que contribuyen a un problema.

Rodríguez y Martínez (2018), señalan al respecto que:

El análisis de causa raíz permite una comprensión profunda de los problemas subyacentes en los procesos productivos. A través de técnicas como el diagrama de Ishikawa y el método de los '5 Porqués', se puede desglosar un problema en sus componentes esenciales, permitiendo a los equipos de trabajo desarrollar soluciones efectivas y sostenibles. Este enfoque no solo resuelve problemas inmediatos, sino que también previene la recurrencia de los mismos al abordar las causas fundamentales. (p.122).

Los mismos Rodríguez y Martínez (2018), mencionan los pasos para realizar un análisis de causa raíz:

- **Definición del problema:** Identificar claramente el problema que se desea analizar y su impacto en el proceso o producto.
- **Recopilación de datos:** Recolectar datos relevantes y específicos sobre el problema. Esto puede incluir datos cuantitativos y cualitativos.
- **Análisis Preliminar:** Utilizar herramientas como el Diagrama de Ishikawa (Causa y Efecto) para identificar posibles causas del problema.
- **Método de los '5 orqués':** Profundizar en las causas raíz utilizando la técnica de los '5 Porqués'. Esto implica preguntar repetidamente "¿Por qué?" para identificar la causa principal detrás de cada respuesta inicial.
- **Validación:** Verificar las causas raíz identificadas utilizando datos y evidencias. Confirmar que las causas identificadas sean las verdaderas causas del problema.
- **Desarrollo de soluciones:** Generar soluciones efectivas y sostenibles para abordar las causas raíz identificadas.
- **Implementación y monitoreo:** Implementar las soluciones propuestas y monitorear continuamente el proceso para asegurar que las causas raíz hayan sido eliminadas o mitigadas. (Rodríguez y Martínez, 2018, p. 123).

Gráficos de Control: Utilizados para monitorear la estabilidad y el desempeño de un proceso a lo largo del tiempo. De acuerdo con Jones et al. (2018), “los gráficos de control son cruciales para detectar variaciones anómalas en un proceso y tomar acciones correctivas de manera oportuna” (p. 33).

El autor supracitado, indica los pasos para crear y utilizar gráficos de control:

- **Seleccionar la variable por controlar:** Definir la variable de interés que se desea monitorear, como la calidad de un producto o el tiempo de ciclo de un proceso.
- **Recopilación de datos:** Recolectar datos de manera regular y sistemática. Los datos deben ser representativos del proceso en estudio.
- **Establecer límites de control:** Calcular los límites de control superior e inferior utilizando métodos estadísticos como la desviación estándar o el rango. Estos límites ayudan a identificar variaciones normales y anómalas en el proceso.
- **Construcción del gráfico:** Graficar los datos recopilados sobre un eje de tiempo (eje horizontal) versus la variable medida (eje vertical). Incluir líneas de control para los límites superior e inferior.
- **Análisis de los resultados:** Interpretar el gráfico de control para identificar patrones o tendencias que indiquen variaciones anómalas o problemas en el proceso.
- **Acciones Correctivas:** Tomar acciones correctivas cuando se detecten puntos fuera de los límites de control o patrones anómalos. Esto puede incluir investigaciones adicionales, ajustes al proceso o mejoras en la calidad.
- **Continuo Monitoreo:** Mantener el monitoreo continuo del proceso utilizando gráficos de control para asegurar la estabilidad y calidad a largo plazo. (Jones et al., 2018, p.34).

Herramientas para el rediseño

El rediseño de procesos y productos es esencial para mantener la competitividad y eficiencia en las organizaciones modernas. Utilizar herramientas adecuadas facilita este proceso, permitiendo a las

empresas adaptarse rápidamente a cambios en el mercado y mejorar continuamente sus operaciones.

SMED (Single-Minute Exchange of Die): Método para reducir el tiempo de cambio de herramientas en procesos de fabricación. Shingo (2018) destaca que, “SMED es crucial para mejorar la flexibilidad y eficiencia en la producción mediante la reducción del tiempo de cambio de herramientas” (p. 25).

Aunado a lo anterior, el mismo autor detalla los pasos para implementar SMED:

1. **Identificación de actividades internas y externas:** Distinguir entre actividades que solo pueden realizarse cuando la máquina está detenida (internas) y aquellas que pueden ejecutarse mientras la máquina sigue funcionando (externas).
2. **Convertir actividades internas en externas:** Revisar y modificar las actividades internas para convertirlas en externas siempre que sea posible, reduciendo así el tiempo total de cambio de herramientas.
3. **Establecimiento de estándares:** Desarrollar y documentar estándares para las nuevas prácticas de cambio de herramientas optimizadas.
4. **Formación y capacitación:** Capacitar al personal en los nuevos procedimientos para asegurar una implementación efectiva y consistente del SMED.
5. **Implementación y evaluación continua:** Implementar los nuevos métodos y monitorear continuamente los tiempos de cambio de herramientas para realizar ajustes según sea necesario. (Shingo, 2018, p.26).

Gráfico de líneas: Son gráficos que facilitan la visualización de tendencias y cambios en datos continuos. Para Johnson (2018): “Son para mostrar tendencias a lo largo del tiempo. Es útil cuando quieres visualizar cambios y patrones en datos continuos a lo largo de períodos específicos” (p. 52).

Asimismo, Johnson (2018), detalla los pasos para implementar los gráficos de línea:

1. **Definición del propósito:** Identifica el objetivo del gráfico, como mostrar la evolución de ventas, la tendencia de precios, o el crecimiento de usuarios, a lo largo de un período determinado.

2. **Recopilación de datos:** Recolecta los datos relevantes que representen la variable continua y el período de tiempo correspondiente.
3. **Organización y formato de datos:** Organiza los datos en pares de valores (tiempo, valor) y asegúrate de que estén correctamente estructurados para la representación temporal.
4. **Selección del software o herramienta:** Elige el software o herramienta adecuada para crear el gráfico de líneas, como Excel, Google Sheets, R, Python (Matplotlib).
5. **Diseño del gráfico:**
 - Eje X (horizontal):** Representa el tiempo o los períodos en el eje horizontal. Puede ser días, meses, años, u otros intervalos.
 - Eje Y (vertical):** Representa la variable continua que se está analizando, como ventas, ingresos, temperatura.
6. **Línea de tendencia:** Dibuja la línea que conecta los puntos de datos a lo largo del eje X, mostrando la evolución y tendencia de la variable a través del tiempo
7. **Análisis e interpretación de resultados:** Analiza los patrones y tendencias que emergen del gráfico de líneas. Identifica picos, valles, cambios abruptos o tendencias estables a lo largo del tiempo. (Johnson, 2018, p.54).

Herramientas para el control de la implementación del rediseño

El éxito de cualquier proceso de rediseño radica en su efectiva implementación y control. Utilizar herramientas adecuadas para monitorear y evaluar el avance y la conformidad con los objetivos establecidos es fundamental para garantizar resultados.

Estas herramientas permiten realizar un seguimiento continuo del progreso del proyecto, identificar desviaciones temprano y ajustar el curso según sea necesario. Además, facilitan la medición precisa de los resultados obtenidos, lo cual es crucial para evaluar el impacto del rediseño en términos de eficiencia y calidad. Comunicar de manera clara y transparente sobre el estado del proyecto es igualmente importante para mantener informados a todos los involucrados y asegurar una gestión eficiente del proceso.

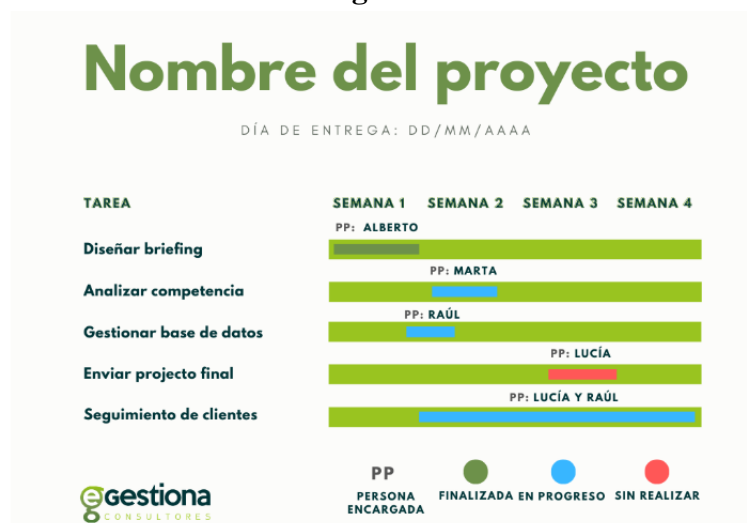
Diagrama de Gantt: Permite visualizar y gestionar las actividades en función del tiempo, identificando dependencias y tiempos de ejecución. Según Meredith y Mantel (2014): “El Diagrama de Gantt es una herramienta esencial en la gestión de proyectos, ya que proporciona una visión clara de las tareas programadas y sus relaciones temporales, facilitando la coordinación y el seguimiento del progreso del proyecto” (p. 92).

Continuando con el autor precitado, se detallan los pasos para realizar un Diagrama de Gantt:

1. **Identificación de Tareas y Actividades:** Enumerar todas las tareas y actividades necesarias para completar el proyecto.
2. **Establecimiento de Dependencias:** Definir las dependencias entre las diferentes tareas, es decir, qué tareas deben completarse antes de que otras puedan comenzar.
3. **Asignación de recursos y duraciones:** Asignar recursos (personas, materiales) a cada tarea y estimar la duración de cada una.
4. **Construcción del Diagrama de Gantt:** Crear el diagrama de Gantt utilizando software especializado o herramientas en línea, colocando las tareas en el eje horizontal (cronograma) y la duración en el eje vertical.
5. **Seguimiento y actualización:** Actualizar regularmente el Diagrama de Gantt con el progreso real de las tareas y ajustar el cronograma, según sea necesario. (Meredith y Mantel, 2014, p.94).

La Figura 6 muestra un ejemplo de un Diagrama de Gantt, una herramienta fundamental en la gestión de proyectos.

FIGURA 6 Diagrama de Gantt



Nota: Se obtiene de información de Diagrama de gestionaconsultores.

Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM): Es una metodología que integra el desempeño técnico, cronograma y costos del proyecto para evaluar el rendimiento en términos de valor ganado frente a lo planificado.

Con base en Fleming y Koppelman (2016):

La gestión del valor ganado es una técnica de gestión de proyectos que proporciona indicadores precisos y objetivos para evaluar el rendimiento del proyecto en relación con el costo y el cronograma, permitiendo la identificación temprana de problemas potenciales y la toma de decisiones correctivas (p.48).

Continuando con el autor anterior detalla los pasos para realizar un EVM:

1. **Definición de objetivos y alcance:** Establecer claramente los objetivos del proyecto y definir el alcance detallado de las actividades planificadas.
2. **Medición del desempeño técnico:** Evaluar el progreso real del proyecto comparado con el plan inicial, utilizando mediciones como la cantidad de trabajo completado y la calidad alcanzada.
3. **Evaluación de los costos:** Comparar los costos reales con los presupuestados para determinar la eficiencia del uso de los recursos financieros.

4. **Cálculo de indicadores de desempeño:** Calcular indicadores clave como el Valor Ganado (EV), el Costo Real (AC) y el Valor Planeado (PV) para evaluar la salud general del proyecto.
5. **Análisis y toma de decisiones:** Analizar los resultados obtenidos del EVM para identificar desviaciones, tendencias y problemas potenciales, tomando decisiones proactivas para corregir el rumbo del proyecto si es necesario. (Fleming y Koppelman , 2016, p.49).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico se distingue del marco teórico al enfocarse en los procedimientos concretos necesarios para llevar a cabo una investigación. No solo describe los pasos esenciales para abordar el problema de manera efectiva, sino que también evalúa la idoneidad de las herramientas y métodos seleccionados para resolverlo de manera práctica y eficiente. Este marco guía la aplicación sistemática de técnicas de investigación que aseguran la calidad y la relevancia de los resultados obtenidos, facilitando así la obtención de conclusiones válidas y significativas

Enfoque

En la investigación científica, existen tres enfoques principales que guían el proceso de recolección y análisis de datos. Estos enfoques son el cuantitativo, el cualitativo y el mixto.

Rodríguez y Martínez (2018), consideran que:

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección de datos que pueden ser medidos y cuantificados. Este enfoque utiliza métodos estadísticos para analizar los datos y obtener resultados generalizables a una población más amplia. Las características principales del enfoque cuantitativo incluyen la objetividad, la utilización de instrumentos de medición estandarizados, el análisis estadístico y la posibilidad de generalización de los resultados obtenidos. (pp. 151-153).

Los mismos autores señalan que:

El enfoque cualitativo también se basa en áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, a diferencia de los estudios cuantitativos donde la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis precede a la recolección y análisis de datos, en los estudios cualitativos las preguntas e hipótesis pueden desarrollarse antes, durante o después de dichas etapas. Estas actividades a menudo sirven para descubrir las preguntas de investigación más relevantes y luego refinarlas y responderlas. El proceso de investigación cualitativa se mueve de manera dinámica entre los hechos y su interpretación, y se caracteriza por ser más bien "circular", donde la secuencia no es siempre la misma, sino que varía en cada estudio. (p. 5).

De igual forma, adicionan Rodríguez y Martínez (2018):

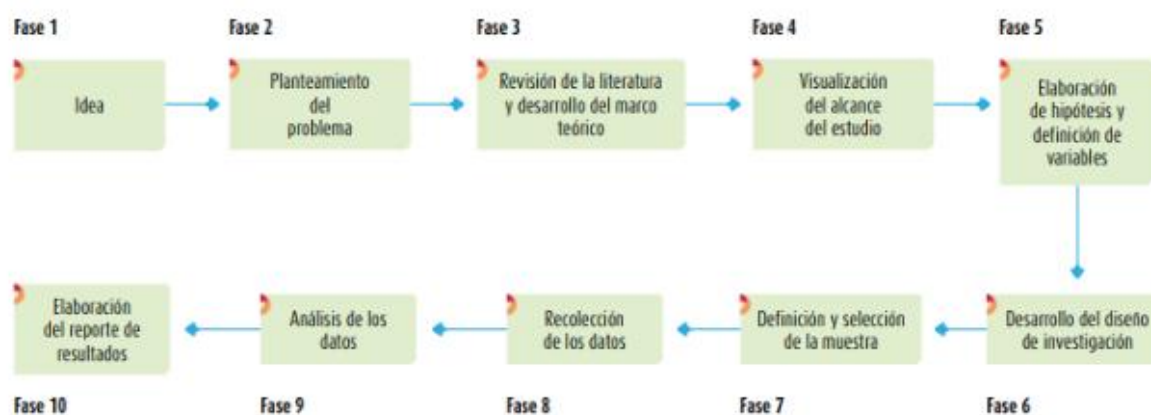
El enfoque cualitativo se centra en la comprensión de fenómenos complejos desde una perspectiva holística. Este enfoque se basa en la recolección de datos no cuantificables, como entrevistas, observaciones y análisis de contenido. Las características principales del enfoque cualitativo incluyen la subjetividad, la exploración del contexto y las experiencias de los participantes, la flexibilidad para adaptarse a circunstancias cambiantes durante el proceso de investigación y la búsqueda de una comprensión profunda de los fenómenos estudiados. (pp.151-153)

Asimismo, para Rodríguez y Martínez (2018), “el enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (p. 7).

Además, de acuerdo con el enfoque cualitativo, según los mismo Rodríguez y Martínez (2018), “las interrogantes, se establecen hipótesis y se determinan las variables. Se elabora un plan para ponerlas a prueba (diseño), se miden las variables en un contexto específico y se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos”. (p.9)

Finalmente, se extraen conclusiones en relación con las hipótesis planteadas. Este proceso se ilustra en la figura 7.

FIGURA 7 Proceso cualitativo



Nota: Se obtiene de información de Metodología de la investigación, (Hernández-Sampieri, 2014, p. 5).

Hernández et al. (2014) mencionan que, “el enfoque mixto combina elementos de los enfoques cuantitativo y cualitativo, aprovechando las fortalezas de ambos para obtener una visión más

completa del objeto de estudio. Este enfoque permite la recolección y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, ofreciendo una mayor robustez y profundidad en los resultados de la investigación” (pp.151-153).

Hernández et al. (2014), refieren que:

La integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno, y señala que éstos pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales (“forma pura de los métodos mixtos”); o bien, que dichos métodos pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio (“forma modificada de los métodos mixtos”). (pp. 6-7).

A partir de todo lo supraindicado, para el presente proyecto de graduación, se ha optado por utilizar el enfoque cuantitativo. Esta elección se basa en la necesidad de medir y analizar de manera precisa variables específicas relacionadas con los procesos industriales. La objetividad y la posibilidad de generalización que ofrece el enfoque cuantitativo resultan fundamentales para lograr resultados confiables y aplicables a un contexto más amplio. Además, el uso de técnicas estadísticas permitirá identificar patrones y relaciones entre variables, contribuyendo así a la mejora y optimización de procesos dentro del ámbito de la Ingeniería Industrial.

Alcance

El alcance de una investigación se refiere al nivel de profundidad con que se aborda el fenómeno de estudio. Existen cuatro tipos de alcances que pueden tener las investigaciones: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo.

Estudios Exploratorios: Hernández et al. (2014) consideran que:

Tienen como objetivo familiarizarse con un fenómeno poco estudiado o novedoso. Se utilizan cuando el tema de investigación es nuevo o poco conocido, y se busca obtener una primera aproximación a la problemática. Los estudios exploratorios proporcionan información inicial que puede ser utilizada para formular hipótesis más precisas en investigaciones posteriores. (p. 89).

Continuando con Hernández et al. (2014): “Los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes” (p. 91).

Estudios Descriptivos: Para Hernández et al. (2014), “el estudio descriptivo busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (p. 92).

De acuerdo con los mismos Hernández et al. (2014):

Se centran en describir características, propiedades y perfiles de personas, eventos o situaciones. Este tipo de estudios pretende detallar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno específico. Los estudios descriptivos no buscan explicar relaciones causales sino simplemente describir la realidad observada. (p.92).

Estudios Correlacionales: Hernández et al. (2014) consideran que:

Tienen como propósito medir el grado de relación existente entre dos o más variables. Estos estudios buscan identificar asociaciones o relaciones estadísticas entre variables, sin asumir una relación de causa y efecto. Los estudios correlacionales son útiles para detectar patrones y tendencias en los datos recolectados. (p. 93).

Adicional a lo anterior, los estudios correlacionales se plantean como objetivo principal conocer la relación o grado de asociación existente entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto específico. Al respecto, Hernández et al. (2014), indican lo siguiente:

En ocasiones, se analiza únicamente la relación entre dos variables, pero con frecuencia se exploran vínculos entre tres, cuatro o más variables en el estudio. Para evaluar el grado de asociación entre estas variables, en los estudios correlacionales se realiza primero la medición de cada una de ellas, luego se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones correspondientes. Estas correlaciones se basan en hipótesis que son sometidas a prueba. (p. 96).

Estudios explicativos: Para Hernández et al. (2014), pretenden identificar las causas y efectos de un fenómeno. Estos estudios van más allá de la descripción y la correlación para intentar explicar

por qué y cómo ocurre un fenómeno. Los estudios explicativos buscan establecer relaciones de causalidad entre las variables analizadas” (p.94).

Aunado a lo anterior, según Hernández et al. (2014), “los estudios explicativos pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian” (p. 95).

Para el presente proyecto de graduación, se ha optado por utilizar un **alcance explicativo**, ya que se debe de determinar los procesos actuales de la empresa y conocer las causas de sus problemas para poder realizar su rediseño. El enfoque permitirá detectar patrones y asociaciones que pueden contribuir el rediseño de dichos procesos.

Diseño

El diseño de la investigación se refiere a la estrategia general que se adopta para integrar de manera coherente los diferentes componentes del estudio y abordar de manera efectiva el problema de investigación. Los diseños de investigación se pueden clasificar en cuatro categorías principales: experimental, no experimental, transaccional y longitudinal.

Diseño Experimental: Hernández et al. (2014) consideran que:

Este diseño se caracteriza por la manipulación intencional de una o más variables independientes para observar los efectos que esta manipulación tiene sobre una o más variables dependientes. Los estudios experimentales permiten establecer relaciones de causalidad entre las variables y se llevan a cabo en condiciones controladas para minimizar la influencia de variables extrañas. (p.128).

Los mismos Hernández et al. (2014) adicionan que, “la esencia de concepción de experimento 64 es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados” (p. 129).

Diseño No Experimental: Hernández et al. (2014) aducen que:

En este tipo de diseño, no se manipulan deliberadamente las variables independientes. Se basa en la observación de fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. Los estudios no experimentales pueden ser descriptivos o correlacionales, dependiendo del objetivo del estudio y de la relación que se desea explorar entre las variables. (p.129).

Sumado a lo precitado, Hernández et al. (2014) mencionan que, los estudios no experimentales “se realizan sin la manipulación deliberada de variables en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente para analizarlos” (p 129).

Diseño Transaccional: Hernández et al. (2014) consideran que:

También conocido como diseño transversal, se refiere a los estudios que recolectan datos en un solo momento o en un período corto de tiempo. Este diseño es útil para describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Asimismo, este tipo de diseño permite a las investigaciones recopilar datos en un momento único. (p 154).

Diseño Longitudinal: Hernández et al. (2014) mencionan que:

Este diseño implica la recolección de datos a lo largo del tiempo para observar los cambios y desarrollos en las variables de estudio. Los estudios longitudinales pueden ser de tendencia, de evolución de grupo o de panel, dependiendo de cómo se seleccionen y sigan los sujetos a lo largo del tiempo. (p.154)

Los diseños longitudinales recolectan datos en diferentes momentos o periodos para realizar inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano. Con base en Hernández et al. (2014), “los diseños longitudinales se dividen en tres tipos: diseños de tendencia, diseños de análisis evolutivo de grupos (cohorte) y diseños panel” (p.155).

- Longitudinales de Tendencia: Los diseños de tendencia son aquellos que analizan cambios al paso del tiempo en categorías, conceptos, variables o sus relaciones de alguna población en general. Su característica distintiva es que la atención se centra en la población o universo.
- Longitudinales de Evolución de grupo: Con los diseños de evolución de grupo se examinan cambios a través del tiempo en subpoblaciones o grupos específicos. Su atención son las 52 cohortes o grupos de individuos vinculados de alguna manera o identificados por una característica común, generalmente la edad o la época o la región geográfica. (Bell, 2009; Hsieh, 2007 y Glenn, 1977).

- Longitudinales Panel: Hernández et al. (2014), señalan que, “los diseños panel son similares a las dos clases de diseños vistas anteriormente, sólo que los mismos casos o participantes son medidos u observados en todos los tiempos o momentos” (pp. 154-156).

Para el presente proyecto de graduación, se ha optado por utilizar un el diseño que se aplicará es el no experimental transaccional, debido a que la recolección de datos va a realizar en un tiempo y espacio previamente definido. Es por un período corto y se obtendrán los datos por medio de tomas de tiempo y observaciones en tiempo real y en el espacio de trabajo de los colaboradores, lo cual facilita la identificación y cuantificación de los factores que contribuyen a la eficiencia operativa y la reducción de residuos materiales, permitiendo obtener resultados replicables y válidos.

Variables

Para el desarrollo de esta investigación, se determinan a continuación las variables a estudiar, éstas según los objetivos que comprende el proyecto. En el Departamento de Formulaciones se identifican diferentes condiciones o características que pueden generar alguna variación, estas pueden medirse u observarse con el fin de identificar las posibles causas y efectos. En este punto, según Hernández et al. (2014) afirman que, “una variable es una propiedad o característica de fenómenos, entidades físicas, hechos, personas que pueden fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse” (p. 82).

Seguidamente se desarrollan en la tabla 1, las variables evaluadas en este proyecto:

Tabla 1 Variables

Objetivos	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Describir el nivel de desperdicio de material en el proceso de corte y formado del Stent.	Nivel de desperdicio de material.	“La cantidad de materia prima o recursos utilizados en un proceso de producción que no se convierten en productos finales utilizables” (Smith, 2020, p. 45).	% de material desperdiciado.	Reportes de Ingenieros de manufactura, entrevistas y herramientas de Ingeniería Industrial.

Medir la afectación del desperdicio de material en el proceso de corte y formado del Stent.	Mudas.	“Significa despilfarro, desperdicio; es decir, cualquier actividad en un proceso que consume recursos y que no agrega valor al producto o servicio”(Ingrande, 2018).	Cantidad de producto perdido/producción mensual.	Hojas de observación y herramientas de Ingeniería Industrial.
Analizar las causas en el desperdicio de material en el proceso de corte y formado para establecer las oportunidades de mejora.	Las causas en el desperdicio de material.	“Las causas de los problemas de producción pueden incluir factores internos como técnicas de fabricación y gestión de materiales, y factores externos como la calidad de los insumos y la capacidad tecnológica” (Slack y Brandon-Jones, 2018, p.110).	Número de horas trabajadas/número de horas planificadas	Informes, reportes y entrevistas y herramientas de Ingeniería Industrial.
Definir un rediseño proceso de producción para la reducción del desperdicio de material en el proceso de corte y formado del Stent.	Propuesta de solución para la reducción del desperdicio de material.	“Un rediseño de procesos implica la reestructuración de los métodos y prácticas actuales para mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio” (Davenport, 2018, p.36).	% de reducción de desperdicio de material.	Diseño de nuevos procesos, implementación de nuevas tecnologías, formación de personal, simulaciones de producción, pruebas piloto.
Determinar propuestas de control de las mejoras planteada en el	Mecanismos de Control	Los mecanismos de control son métodos y procedimientos utilizados para	Tasa de cumplimiento de los objetivos de implementación.	Implementación de sistemas de control de calidad, auditorías periódicas,

proceso de corte y formado del Stent.		asegurar que los procesos se realicen de acuerdo con los estándares y objetivos establecidos (Merchant y Van der Stede, 2017, p.155).		revisiones de desempeño, análisis de datos en tiempo real.
---------------------------------------	--	---	--	--

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Muestra

La muestra en un estudio cuantitativo es un “subgrupo del universo o población del cual se recolectan datos y que debe ser representativo de ésta” (Hernández et al. 2014, p 173).

En la Tabla 2 del proyecto se detallan las muestras identificadas para cada uno de los indicadores en desarrollo. Cada indicador ha sido asociado con muestras específicas que representan diversas características o aspectos relevantes para el estudio en cuestión.

Tabla 2 Muestra

Indicador	Tipo de muestra	Unidad de muestreo	Fórmula
% de material desperdiciado.	Probabilística: Aleatoria simple.	Unidades.	Cantidad de producto perdido / producción mensual.
Cantidad de producto perdido/producción mensual.	No probabilística: Conveniencia.	Unidades de producto.	Desperdicio inicial / producción mensual.
Número de horas trabajadas/número de horas planificadas.	Probabilística: Aleatoria sistemática.	Horas.	$k = N / n$; donde k es el intervalo de selección, N es el tamaño de la población, y n es el tamaño de la muestra.
% de reducción de desperdicio de material.	No probabilística: Conveniencia.	Porcentaje (%).	(Desperdicio inicial - Desperdicio después del rediseño) / Desperdicio inicial * 100.
Tasa de cumplimiento de los objetivos de implementación.	No probabilística: Conveniencia.	Porcentaje (%).	(Número de objetivos cumplidos / Número total de objetivos) * 100.

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Instrumentos

Acorde con Hernández et al. (2014), un instrumento de medición es un “recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente” (p.199). Además, este debe cumplir con tres requisitos: que sea confiable, objetivo y válido.

A continuación, en la Tabla 3 se detallan los instrumentos utilizados a lo largo de la investigación para conocer, entender y analizar los procesos y cumplimiento de los requerimientos del proceso de alisto y preparación, tomando en cuenta su validez, confiabilidad y objetividad para cumplir el objetivo propuesto.

Tabla 3 Instrumentos

Indicador	Instrumento	Recursos requeridos
Capacidad horas hombre/tiempo de fabricación	Estudio de tiempos.	Se necesita un cronómetro y hojas de recolección de datos, además, el uso de un sistema informático para su registro e interpretación
Cantidad de producto perdido/producción mensual	Hojas de observación y herramientas de Ingeniería Industrial.	Se requieren hojas para la recolección de datos y diferentes herramientas para su determinación
Número de horas trabajadas/número de horas planificadas	Informes, reportes y entrevistas.	Precisa obtener información mediante informes y entrevistas dirigidas a los operarios y jefe de planta.
Reducción porcentual en el desperdicio de material y aumento porcentual en la eficiencia de producción.	Análisis de datos históricos y estudios comparativos.	Datos históricos, estudios comparativos, herramientas de Ingeniería Industrial como análisis de valor y simulación de procesos.
Tasa de cumplimiento de los objetivos de implementación.	Revisiones de cumplimiento y análisis de informes de implementación.	Análisis de informes de implementación, herramientas de seguimiento de proyectos y control de calidad en la Ingeniería Industrial.

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Recolección de datos

El proceso de recolección de datos en el desarrollo de la investigación se da por medio de los siguientes pasos, según Hernández et al. (2018):

- a. Validar las variables del estudio.
- b. Definir el tipo de variable.
- c. Identificar indicadores de las variables.
- d. Determinar cómo evaluar los indicadores.
- e. Establecer cómo codificar la información.
- f. Probar los instrumentos seleccionados.
- g. Codificar la información.
- h. Aplicar instrumentos para obtención de datos.
- i. Organizar los datos y prepararlos para el análisis. (p. 146).

A continuación, en la Tabla 4 se detalla el proceso de recolección de los datos de la investigación

Tabla 4 Recolección de Datos

Indicador	Fuente de los datos	Método de recolección de datos	Beneficios esperados
Capacidad horas hombre/tiempo de fabricación.	Registros de producción, entrevistas con operarios y supervisores.	Observación directa, durante un período de seis semanas, se realizará un registro continuo de incidencias en el proceso de producción Se realizará diariamente durante un mes, registrando cualquier incidencia detectada en el proceso de producción. Se llevarán a cabo semanalmente con operarios y supervisores clave, con una duración promedio de treinta minutos por entrevista.	Producir los productos de acuerdo con la capacidad real de producción para cumplir con la demanda.
Cantidad de producto perdi-	Informes financieros, registros de producción	Análisis financiero, Evaluación mensual de	Se espera mejorar los costos y lograr ser más

do/producción mensual.		informes financieros para analizar variaciones en costos y eficiencia. Mensualmente durante un período de tres semanas, se analizarán los informes financieros para cuantificar los cambios en costos y eficiencia	competitivos dando eficacia al proceso productivo.
Número de horas trabajadas/número de horas planificadas	Registros de producción, revisión de procesos	Análisis cualitativo y cuantitativo de datos, entrevistas semiestructuradas, se estará haciendo una revisión mensual de registros de producción durante dos semanas para categorizar y analizar causas identificadas.	Evitar los tiempos de parada no deseados para aumentar la producción y disminuir los costos asociados
Reducción porcentual en el desperdicio de material y aumento porcentual en la eficiencia de producción.	Resultados de simulaciones de producción, análisis de pruebas piloto.	Durante 2 semanas, se implementará un nuevo proceso piloto con monitoreo diario de resultados y mensualmente, se utilizará análisis estadístico para evaluar la eficiencia y el desperdicio reducido.	Desarrollo de soluciones efectivas basadas en resultados medibles y validados.
Tasa de cumplimiento de los objetivos de implementación.	Informes de auditoría, revisiones de desempeño.	Trimestralmente durante 1 semana, auditorías para evaluar implementación de soluciones. Revisiones periódicas: Mensualmente de agosto a noviembre, revisión de indicadores clave de rendimiento.	Mantenimiento de estándares de calidad y rendimiento a lo largo del tiempo.

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Método de análisis

Según Hernández et al. (2014) “El análisis cuantitativo de los datos se lleva a cabo por computadora u ordenador. Ya casi nadie lo hace de forma manual ni aplicando fórmulas, en especial si hay un volumen considerable de datos” (p. 272).

Toda la información recolectada se examina y se tabulada según el área de donde provenga, utilizando la herramienta de Excel para procesar los datos obtenidos y las facilidades que este programa ofrezca para manejo de la información, pues Excel cuenta con una serie de características para el manejo de datos numéricos, generación de gráficas y diagramas requeridos para el análisis.

A continuación, en la Tabla 5 se sintetiza la información mencionada anteriormente

Tabla 5 Método de análisis

Indicador	Análisis por realizar	Programa	Uso
Capacidad horas hombre/tiempo de fabricación.	Durante el desarrollo del proyecto se estarán utilizando Gráficos de barras y diagramas de dispersión. Análisis de series temporales para identificar patrones a lo largo del tiempo. Y frecuencias relativas también los porcentajes.	Excel, minitab.	Mejorar la eficiencia operativa mediante la identificación y mitigación de incidencias frecuentes.
Cantidad de producto perdido/producción mensual.	Se estará aplicando un análisis para comparar diferencias entre grupos de costos y eficiencia. También la Regresión lineal para identificar relaciones entre variables financieras y de eficiencia. Se aplicará el cálculo de varianza y coeficientes de correlación. Presentando así informes y gráficos de tendencias.	Excel, minitab.	Ajustes en estrategias financieras y operativas basadas en los resultados para mejorar la competitividad y la eficiencia.
Número de horas trabajadas/número de horas planificadas.	Análisis factorial para identificar causas principales. Se aplicará entrevistas para complementar análisis con percepciones del personal. Se aplicará un análisis de frecuencias y porcentajes. Presentando matrices de correlación y diagramas de causa-efecto.	Excel.	Implementación de soluciones específicas dirigidas a mitigar causas identificadas de incidencias en el proceso.

Reducción porcentual en el desperdicio de material y aumento porcentual en la eficiencia de producción.	Comparación registros antes y después para evaluar impacto de nuevas prácticas. Aplicar un análisis de tendencias, gráficos de control para monitorear mejoras en el tiempo y el cálculo de la eficiencia de producción y reducción porcentual de desperdicio. Se estarán visualizando gráficos de barras y líneas.	Excel.	Implementación de soluciones específicas dirigidas a mitigar causas identificadas de incidencias en el proceso.
Tasa de cumplimiento de los objetivos de implementación.	Aplicando una evaluación de indicadores clave, realizando una comparación de resultados técnicos de benchmarking para mejoras continuas aplicando Índices de desviación y comparación de estándares, se estarán presentando Informes de auditoría y gráficos de desempeño.	Excel.	Asegurar la conformidad continua con estándares de calidad y realizar mejoras continuas según las auditorías y revisiones periódicas.

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Cronograma

Para el avance y desarrollo de la presente investigación, se ha preparado un diagrama EDT y un diagrama de Gantt que se visualiza a continuación:

Diagrama EDT

En la figura 8, que se muestra en seguida, se detalla el diagrama de estructura del trabajo que se estará desarrollando en la implementación del presente estudio.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN

En este capítulo, se realiza la descripción general de la situación actual en el Área de Stents, al dividirla en tres etapas: descripción del problema, medición de las consecuencias y análisis de las causas. Ello permitirá establecer el rediseño y cómo controlar y dar solución al problema planteado, se emplearán diversas herramientas de la Ingeniería Industrial.

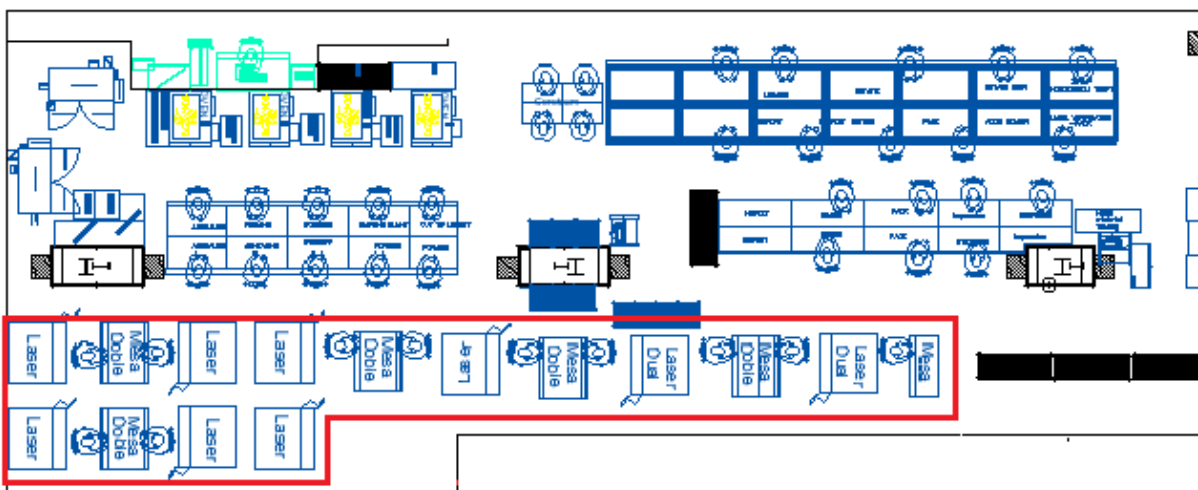
Boston Scientific, una empresa líder en la fabricación de dispositivos médicos, organiza su planta de producción en áreas especializadas, cada una desempeñando un rol crucial en la fabricación del stents.

Descripción del problema

La fase de láser, donde esta tecnología se emplea para cortar, marcar o grabar el material con alta precisión, es de especial interés en este análisis debido a su impacto directo en la calidad del producto final.

A continuación, en la Figura 10, se presentará un mapa de la empresa que ilustra el área en la que se llevará a cabo este proyecto. Este mapa ofrece una visión detallada de la ubicación específica dentro de la planta, permitiendo una comprensión clara del entorno y facilitando la planificación y ejecución de las actividades del proyecto.

FIGURA 10 Plano de planta Área de Stents



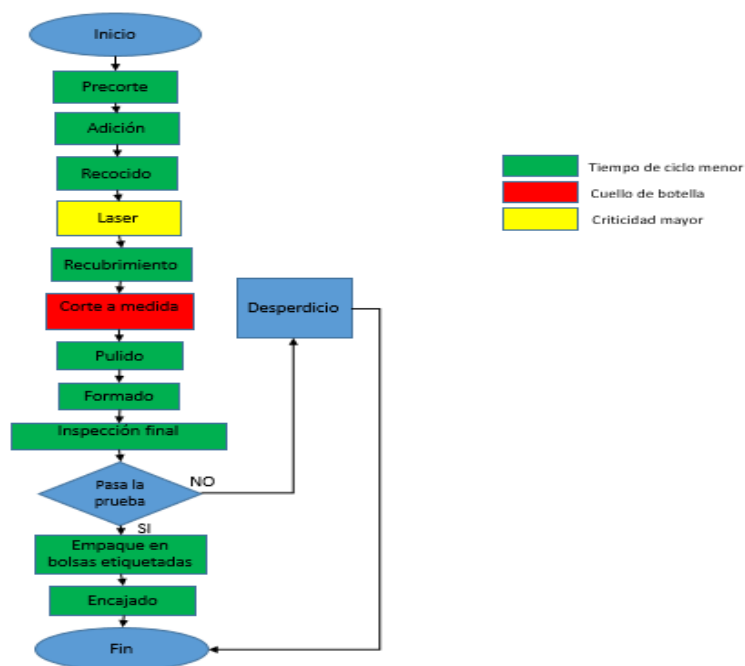
Nota: Boston Scientific.

Se opta por utilizar la herramienta de diagramas de procesos para explicar de manera clara y sencilla las etapas involucradas en la fabricación del stent. Esta herramienta facilita la visualización del flujo de trabajo y las interacciones entre las distintas fases del proceso, permitiendo una comprensión más profunda del procedimiento completo.

Al desglosar cada etapa del proceso productivo, resulta posible identificar áreas específicas que requieren mejoras y optimizaciones. Además, la representación gráfica ayuda a detectar posibles cuellos de botella y eficiencias en el flujo de trabajo, lo cual contribuye a la implementación de estrategias que mejoren la calidad y la eficiencia del producto final.

En la Figura 11, Diagrama de procesos, se describe la secuencia detallada de actividades que componen el proceso objeto de análisis, identificando los puntos críticos donde se produce el mayor impacto en la eficiencia y calidad. Este diagrama permite visualizar de manera clara y estructurada cómo fluye el trabajo a través de las distintas etapas del proceso de fabricación, desde la preparación inicial del material hasta la finalización del producto. Cada fase del proceso está representada en el diagrama, lo cual facilita la comprensión de las interacciones entre las distintas áreas de producción.

FIGURA 11 Diagrama de procesos



Nota: Oliver Arrieta Artavia

A continuación, se describe cada una de las actividades del diagrama de procesos.

1. El pre-corte constituye la fase inicial en la que se realizan cortes preliminares o ajustes en el material antes de proceder con las etapas principales del proceso. Este paso puede involucrar el corte del material a una longitud aproximada o a un tamaño que facilite su manejo en las siguientes fases de producción. Su propósito es preparar el material para los procesos posteriores, garantizando que esté en las dimensiones adecuadas para ser procesado eficientemente.
2. El proceso de Adición (tipping) puede referirse a la adición de una pequeña cantidad de material o al ajuste de una característica específica del producto, dependiendo del contexto en el que se utilice. En algunos casos, este término se asocia con la aplicación de una capa final o un acabado en un componente, esto permite mejorar o modificar las propiedades del producto según las especificaciones requeridas.
3. El proceso de recocido (annealing) implica un tratamiento térmico en el que el material, se calienta a una temperatura específica y luego se enfría lentamente. Este procedimiento busca mejorar la ductilidad del material y reducir su dureza, facilitando su posterior trabajo y manipulación. El recocido es crucial para ajustar las propiedades del material para cumplir con los requisitos del proceso de fabricación.
4. En el contexto del uso de láser, esta tecnología se emplea para cortar, marcar o grabar el material con alta precisión. Los sistemas de láser permiten realizar cortes finos y detallados, así como aplicar grabados en superficies de diversos materiales. Su capacidad para proporcionar un acabado preciso y definido hace que el láser sea una herramienta valiosa en muchas aplicaciones industriales.
5. El recubrimiento (coating) se refiere a la aplicación de una capa protectora o decorativa sobre el material. Este recubrimiento puede ofrecer resistencia a la corrosión, rediseñar la apariencia del producto o proporcionar características funcionales adicionales, como propiedades antiadherentes. La aplicación adecuada del recubrimiento es esencial para garantizar la durabilidad y funcionalidad del producto final.
6. El proceso conocido como corte a medida (cut to length) consiste en ajustar el material a una longitud específica de acuerdo con los requisitos del cliente o las especificaciones del

producto final. Esta etapa es fundamental para asegurar que el material tenga las dimensiones precisas necesarias para los pasos siguientes en el proceso de producción.

7. El pulido (buffing) es el procedimiento mediante el cual se abrillanta una superficie para mejorar su acabado y darle un aspecto uniforme y brillante. Este proceso se utiliza para eliminar imperfecciones y proporcionar un acabado de alta calidad, contribuyendo a la estética y a la funcionalidad del producto final.
8. En la etapa de formado (forming) el material se moldea o se da forma mediante técnicas como el estampado, el doblado o el conformado. El objetivo de este proceso es adaptar el material a la forma deseada para el producto final, garantizando que cumpla con los requisitos de diseño y funcionalidad.
9. El empaque en bolsas etiquetadas implica colocar los productos en bolsas que luego se etiquetan con información relevante, como el nombre del producto, la fecha de fabricación y otros detalles importantes. Esta actividad es crucial para la organización, identificación y seguimiento de los productos durante la distribución y venta.
10. Finalmente, el encajado se refiere al proceso de colocar las bolsas o productos empaquetados en cajas o contenedores adecuados para su almacenamiento y transporte. Este paso asegura que los productos se manejen de manera segura y eficiente, facilitando su distribución y evitando posibles daños durante el tránsito.

Durante el período comprendido entre enero de 2023 y julio de 2024, los registros de producción revelaron un índice elevado de desperdicio de material en las máquinas láser, alcanzando un 25.2%. Este nivel de desperdicio impacta negativamente tanto en los costos de producción como en la eficiencia operativa y en la capacidad de la planta para satisfacer la demanda del mercado. Para abordar esta problemática, se empleó un diagrama de Pareto, herramienta que facilitó la identificación y cuantificación de las causas del desperdicio. Esta metodología permitió enfocar los esfuerzos de mejora en las áreas con mayor impacto en el desperdicio, optimizando la gestión de recursos y mejorando el rendimiento general del proceso de producción.

El análisis detallado de los datos permite identificar no solo los meses en los que se superaron los niveles esperados de desperdicio sino también aquellos períodos en los que se logró una mayor eficiencia en la producción. Este enfoque minucioso facilita la detección de patrones y anomalías,

ofreciendo una visión integral de las fluctuaciones en el rendimiento y posibilitando ajustes precisos en los procesos.

En la Tabla 6 se presenta el porcentaje desperdicio y desempeño de producción en la máquina láser reportado durante el período de enero de 2023 a julio de 2024. Este análisis es fundamental para comprender las variaciones en el desempeño de la producción a lo largo del periodo y para identificar las áreas críticas que requieren atención.

Tabla 6 Porcentaje de desperdicio y desempeño de producción en el período de enero 2023 a julio 2024

Mes-Año	Volumen de demanda	Volumen producido	Volumen de desperdicio	Porcentaje desperdicio
Ene-23	240,000	193,200	46,800	24,2%
Feb-23	230,000	180,500	49,500	27,4%
Mar-23	235,000	187,650	47,350	25,2%
Abr-23	245,000	198,550	46,450	23,3%
May-23	240,000	190,800	49,200	25,7%
Jun-23	215,000	171,850	43,150	25,1%
Jul-23	230,000	184,000	46,000	25,0%
Ago-23	225,000	178,200	46,800	26,2%
Sep-23	220,000	176,000	44,000	25,0%
Oct-23	230,000	184,600	45,400	24,5%
Nov-23	225,000	179,550	45,450	25,3%
Dic-23	240,000	190,800	49,200	25,7%
Ene-24	235,000	186,150	48,850	26,2%
Feb-24	230,000	182,800	47,200	25,8%
Mar-24	225,000	179,550	45,450	25,3%
Abr-24	240,000	192,000	48,000	25,0%
May-24	245,000	196,000	49,000	25,0%
Jun-24	220,000	176,800	43,200	24,4%
Jul-24	235,000	186,950	48,050	25,7%

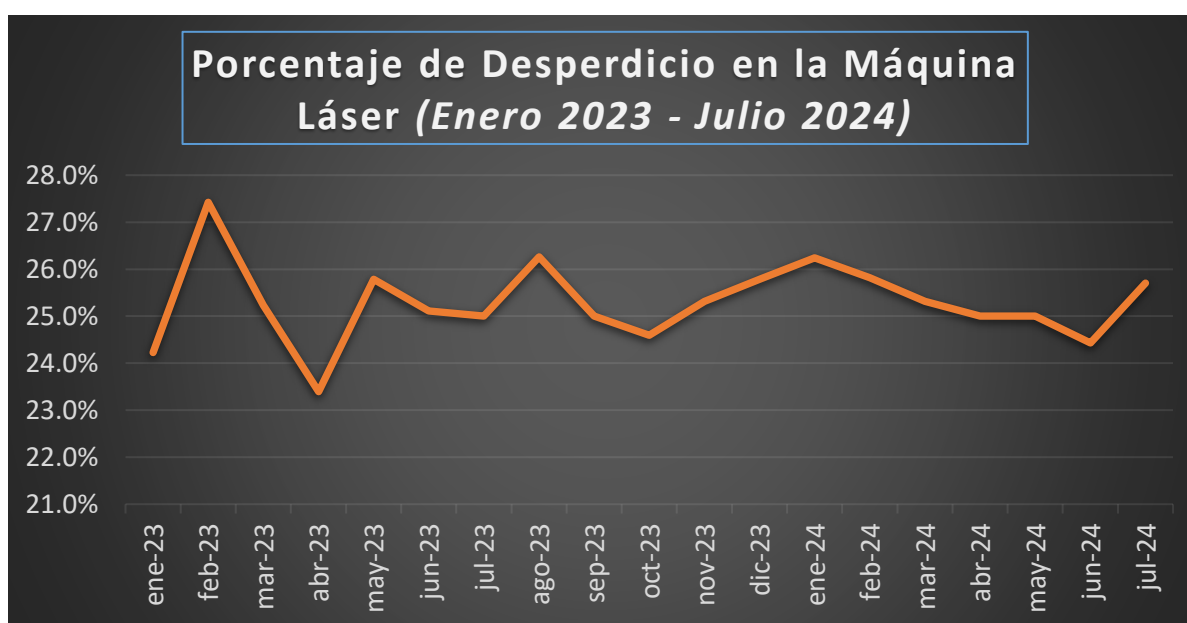
Nota: Boston Scientific.

A pesar de las fluctuaciones mensuales en el porcentaje de desperdicio, el promedio acumulado al final del período es del **25.2%**. Este valor es un indicador clave del rendimiento general de la fase de producción bajo análisis.

El análisis detallado de los datos permite identificar los meses en los que se superaron los niveles esperados de desperdicio, así como aquellos en los que se logró una mayor eficiencia. Por ejemplo, en febrero de 2023 se reportó un porcentaje de desperdicio del 27,4%, lo que sugiere la necesidad de investigar posibles causas de ineficiencia durante ese mes. En contraste, abril de 2023 mostró un porcentaje de desperdicio más bajo, del 23,3%, lo que podría indicar mejoras en el proceso o una mayor estabilidad en las operaciones.

A continuación, en la Figura 26, se presenta un gráfico de dispersión que ilustra el comportamiento del porcentaje de desperdicio a lo largo del periodo en análisis. Este gráfico permite visualizar las fluctuaciones mensuales en relación con los datos proporcionados en la Tabla 6, facilitando la identificación de patrones y tendencias en el rendimiento de la producción.

FIGURA 12 Diagrama de Dispersión



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

El análisis del gráfico de dispersión revela una tendencia significativa en las fluctuaciones del porcentaje de desperdicio a lo largo del período de estudio. Para entender mejor las causas subyacentes del desperdicio de material, es fundamental examinar las fuentes específicas de

ineficiencia en el proceso de corte con máquinas láser. Las fluctuaciones observadas sugieren que hay problemas recurrentes que contribuyen al alto nivel de desperdicio. Identificar estas causas permitirá tomar medidas correctivas más efectivas para reducir el desperdicio y rediseñar el rendimiento general.

A continuación, en la Tabla 7, se detalla la información sobre las principales causas de desperdicio de material durante el período comprendido entre enero de 2023 y julio de 2024.

Tabla 7 principales causas de desperdicio de material en el proceso de corte con máquinas láser (enero 2023 - julio 2024)

Causa de desperdicio	Frecuencia	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Patrón de láser incorrecto	200	27.40	27.40%
Patrón de láser ilegible	150	20.55	47.95%
Patrón láser derretido o quemado	100	13.70	61.65%
Patrón láser en posición incorrecta	70	9.59	71.23%
Grosor incorrecto	50	6.85	78.08%
Marca láser incompleta	40	5.48	83.56%
Configuración incorrecta de parámetros	30	4.11	87.67%
Rasguños y cortes	25	3.42	91.10%
Piezas caídas al piso en el proceso	15	2.05	93.15%

Nota: Boston Scientific.

Esta tabla desglosa el desperdicio en términos de frecuencia y porcentaje acumulado, proporcionando una visión clara de las áreas críticas que afectan el proceso. Las causas predominantes incluyen patrones de láser incorrectos e ilegibles, así como problemas relacionados con el grosor del material y la configuración de parámetros. Estas causas combinadas representan una parte significativa del desperdicio total; ello indica que concentrar los esfuerzos de mejora en estas áreas podría tener un impacto considerable en la reducción del desperdicio y la optimización de la eficiencia operativa.

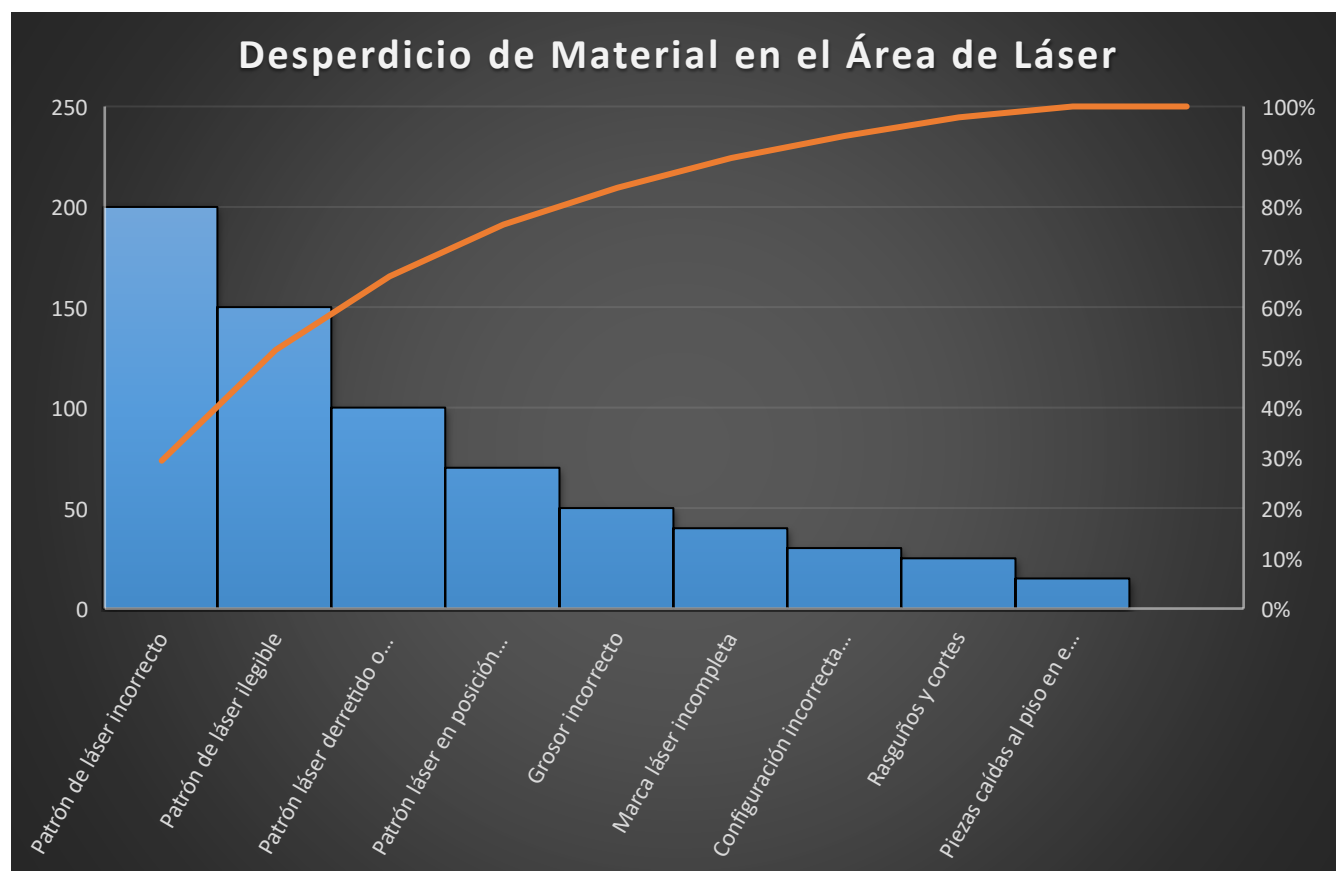
El análisis detallado realizado con el diagrama de Pareto ha proporcionado una visión clara sobre las principales fuentes de ineficiencia en el proceso de producción. Este enfoque ha permitido

identificar y clasificar las causas de desperdicio en función de su impacto relativo, facilitando la priorización de las áreas que requieren atención urgente. Al centrar los esfuerzos en las causas más significativas, se pueden implementar estrategias específicas para abordar estos problemas de manera efectiva.

Tales estrategias podrían incluir la optimización de los procedimientos y la mejora de los controles de calidad. La aplicación de estas medidas no solo busca reducir el desperdicio, sino también aumentar la rentabilidad de la operación al rediseñar la eficiencia general del proceso y minimizar los costos asociados con el desperdicio.

A continuación, en la Figura 13, se presenta el diagrama de Pareto que ilustra la distribución de las causas de desperdicio. Este diagrama proporciona una representación visual de las causas identificadas y su impacto relativo, facilitando la comprensión de cuáles son las áreas prioritarias para la implementación de mejoras.

FIGURA 13 Diagrama de Pareto

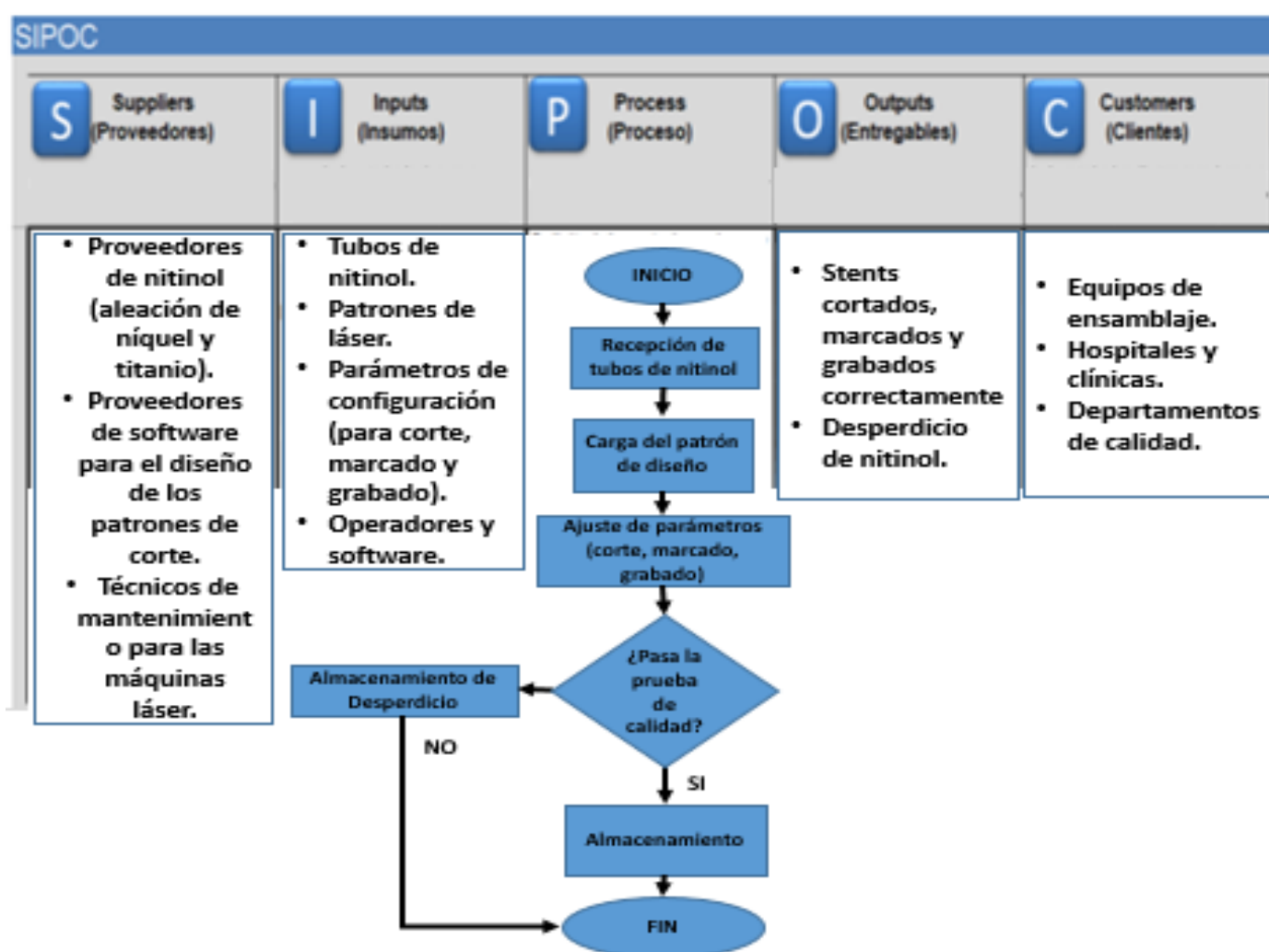


Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Diagrama SIPOC

En la Figura 14, Diagrama SIPOC, se presenta un esquema que detalla de manera clara y estructurada los cinco elementos fundamentales del proceso: proveedores (Suppliers), entradas (Inputs), procesos (Processes), salidas (Outputs) y clientes (Customers). Este diagrama permite identificar de forma precisa las relaciones y dependencias entre cada uno de estos componentes, facilitando una visión integral del flujo de trabajo. Además, brinda una comprensión más profunda de cómo las entradas proporcionadas por los proveedores influyen en los procesos internos, y cómo las salidas impactan directamente a los clientes finales.

FIGURA 14 Diagrama de SIPOC



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

El proceso descrito en el diagrama SIPOC ofrece una visión macro de los pasos clave que lleva a cabo el departamento, desde la recepción de las materias primas o insumos hasta la entrega final del producto al cliente. Este análisis ayuda a entender cómo interactúan las diferentes áreas involucradas y cuáles son los insumos, procesos y entregables que conforman la operación. En el caso particular de la producción de stents, se identifican claramente los proveedores de nitinol, los técnicos de mantenimiento y los operadores, así como los patrones de diseño y las configuraciones del software necesarias para el corte, marcado y grabado del stent.

Cada una de las fases del proceso ha sido detallada en el SIPOC, facilitando la identificación de las responsabilidades de cada área. Al identificar estas responsabilidades, es posible detectar cuellos de botella o redundancias en el flujo de trabajo. Por ejemplo, la fase de ajuste de parámetros para el corte, marcado y grabado es un área crítica donde los operadores necesitan realizar pruebas para garantizar que el producto cumple con los estándares de calidad.

Este enfoque permite a la empresa optimizar el flujo de trabajo, asegurando que las etapas del proceso estén correctamente sincronizadas y alineadas con los objetivos de eficiencia. Además, este análisis proporciona una base sólida para implementar iniciativas de mejora continua, un aspecto esencial en un entorno de manufactura de dispositivos médicos como los stents, donde la precisión y la calidad son fundamentales.

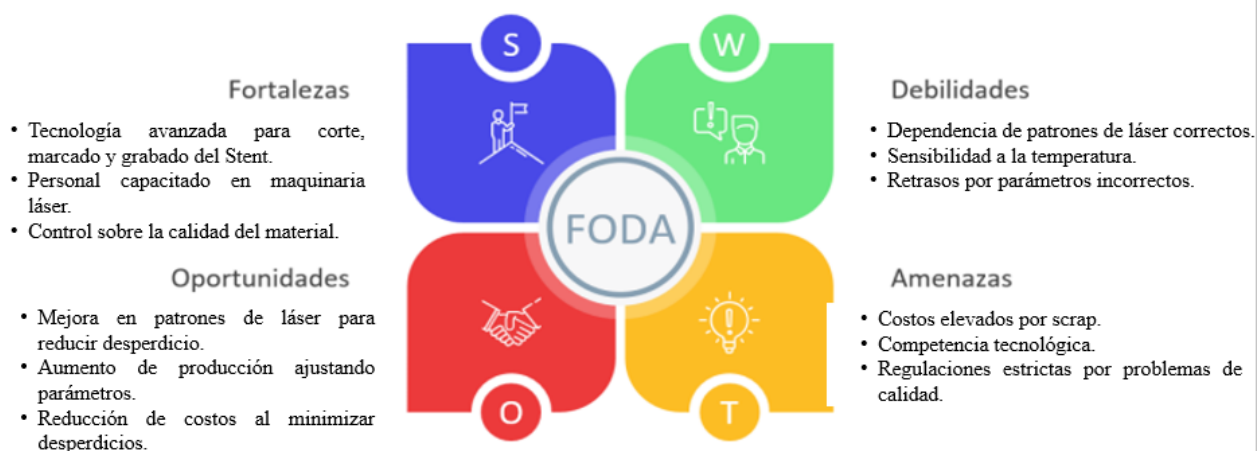
Finalmente, el diagrama SIPOC destaca la interdependencia entre las diferentes etapas del proceso, subrayando la importancia de una colaboración fluida entre proveedores, técnicos y operarios. La implementación del equipo SigmaLáser-2024 juega un papel clave en este contexto, mejorando los tiempos de ciclo y asegurando que el proceso de fabricación cumpla con los estándares requeridos.

Análisis FODA

Para complementar la descripción de la situación actual, se realiza el análisis FODA, en el cual se mencionan las fortalezas y debilidades del proceso, según se presenta en este momento, así como las oportunidades y amenazas que se pueden presentar, eventualmente.

A continuación, en la Figura 15, se presenta un análisis FODA que resume de manera visual y concisa los principales aspectos internos y externos que afectan al proceso, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas y la implementación de mejoras orientadas a maximizar el rendimiento del sistema.

FIGURA 15 Análisis FODA



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

El proceso de corte, marcado y grabado del stent cuenta con varias fortalezas notables. La utilización de tecnología avanzada en maquinaria láser garantiza una alta precisión y eficiencia en la producción. El personal capacitado en el manejo de esta maquinaria asegura un control riguroso sobre la calidad del material, lo cual permite la mejora de los patrones de láser. Esto no solo reduce el desperdicio, sino que también ajusta los parámetros para incrementar la producción. Además, la minimización de desperdicios durante el proceso contribuye a la disminución de costos operativos.

Entre las debilidades se encuentra la dependencia de patrones de láser correctos, que es crítica para mantener la calidad del producto final. La sensibilidad de la maquinaria a las variaciones de temperatura puede introducir inconsistencias en el proceso. Asimismo, los retrasos derivados de parámetros incorrectos afectan la eficiencia general y los tiempos de entrega, creando posibles cuellos de botella en la producción.

Las oportunidades en este proceso incluyen la mejora continua en los patrones de láser, que ofrece el potencial para reducir aún más el desperdicio y rediseñar la calidad del producto. El avance en la tecnología y la capacidad de ajustar los parámetros de producción pueden facilitar un aumento en la producción y una mayor eficiencia. Además, la reducción adicional en los costos operativos puede contribuir a mejorar la rentabilidad.

Las amenazas enfrentadas por el proceso incluyen los costos elevados asociados al desperdicio, que pueden afectar negativamente la rentabilidad. La competencia tecnológica representa un riesgo, ya que la innovación constante en el sector puede superar las capacidades actuales. Las regulaciones estrictas relacionadas con problemas de calidad también representan una amenaza significativa, ya que el incumplimiento puede llevar a sanciones y a la necesidad de ajustar procesos para cumplir con los estándares.

El análisis del proceso de producción en la línea de stents ha revelado un problema significativo relacionado con el elevado porcentaje de desperdicio, especialmente en la fase de corte con láser, donde se ha registrado un promedio de 25.2% de material desperdiciado durante el periodo de estudio. Esta tasa de desperdicio no solo afecta los costos de producción, incrementando el uso innecesario de recursos, sino que también disminuye la capacidad operativa de la planta y compromete la eficiencia general del sistema.

Además de las deficiencias en la calidad del patrón de láser y los errores en la configuración de la maquinaria, otro factor crítico es el tiempo de máquina disponible. La baja eficiencia en el uso del equipo láser ha resultado en tiempos de inactividad excesivos, lo que restringe la capacidad de la planta para aumentar su producción de manera significativa. Para optimizar este tiempo de máquina y rediseñar la eficiencia global, se propone una serie de ajustes en los parámetros de configuración, junto con un aumento progresivo en la producción. Estas medidas no solo buscan reducir el desperdicio, sino también maximizar el tiempo operativo del equipo, permitiendo que la planta alcance sus objetivos de producción de manera más eficiente y con menores costos operativos.

Medición de las consecuencias

En el proceso de corte, marcado y grabado del stent, la gestión eficiente del material es crucial para mantener la rentabilidad y la calidad del producto. La identificación de las causas de desperdicio, como patrones de láser incorrectos, patrón de láser ilegible y patrón láser derretido o quemado, ha revelado áreas significativas donde se presentan pérdidas económicas. Para abordar estos desafíos de manera efectiva, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de las consecuencias del desperdicio.

El análisis de costos del desperdicio resulta crucial para entender el impacto económico en el proceso de corte, marcado y grabado del stent. El costo promedio del material desperdiciado es de \$75 por unidad, y se identifican doscientos casos de patrones de láser incorrectos, el costo total del

desperdicio ascendería a \$15,000. Además de estos costos directos, es necesario considerar los costos indirectos asociados, tales como tiempos de inactividad de la maquinaria y gastos adicionales de re trabajo. Estos costos indirectos pueden elevar el impacto económico total del desperdicio; de este modo, proporciona una visión completa del efecto financiero en la operación.

A continuación, en la Tabla 8 se presentan los datos correspondientes al análisis de costos de desperdicio en el periodo enero 2023 - julio 2024.

Tabla 8 Análisis de Costos de desperdicio

Concepto	Frecuencia mensual de desperdicio	Costo por unidad	Material desperdiciado	Tiempo de inactividad	Re trabajo	Total
Patrones de láser incorrectos	200	\$75	\$15 000,00	\$800,00	\$5 000,00	\$20 800,00
Patrón de láser ilegible	150	\$ 75	\$11 250,00	\$450,00	\$2 000,00	\$13 700,00
Patrón láser derretido o quemado	100	\$ 75	\$7 500,00	\$350,00	\$1 500,00	\$9 350,00

Nota: Boston Scientific.

FIGURA 16 Gráfico análisis de costos de desperdicio

A continuación, en el gráfico 16 se muestra el impacto económico del desperdicio de material



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

La gráfica muestra los costos asociados con tres tipos de errores en los patrones de láser durante el mes. Para patrones de láser incorrectos, con doscientos incidentes, el costo total es de \$20,800, considerando el material desperdiciado, tiempo de inactividad y retrabajo. Los patrones de láser ilegibles, con ciento cincuenta casos, generan un costo de \$13,700. Finalmente, los patrones de láser derretidos o quemados, que ocurren en cien ocasiones, tienen un costo total de \$9,350. Estos datos destacan el impacto financiero significativo de cada tipo de error y ayudan a identificar áreas clave para rediseñar la eficiencia y reducir costos.

El análisis de eficiencia del proceso es fundamental para medir el impacto del desperdicio en la operación de corte, marcado y grabado del stent. Este análisis incluye la evaluación de indicadores clave como el tiempo de ciclo y la tasa de producción para identificar cuellos de botella y áreas de mejora, la máquina procesa quince piezas en 310.5 segundos, el tiempo de ciclo promedio por pieza es de aproximadamente 20.7 segundos.

A continuación, en la tabla se presenta el desglose detallado de los tiempos de ciclo en cada etapa del proceso. Este desglose permite identificar variaciones entre las observaciones y detectar oportunidades de mejora en el proceso en la máquina láser implementada en el piso de producción.

Tabla 9 Hoja de Observación del tiempo de ciclo de la máquina

#	Elemento	Observaciones realizadas (segundos)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Acomodar las piezas en el mandril	1,7	1,9	1,5	1,8	1,7	1,6	1,8	1,6	1,9	1,7	1,7	1,6	1,9	1,5	1,7
3	Carga de láser	1,5	1,6	1,7	1,4	1,7	1,5	1,7	1,4	1,6	1,7	1,7	1,4	1,6	1,3	1,7
4	Tiempo de máquina	9,8	9,9	10,0	9,8	9,7	9,8	9,8	9,9	9,1	9,9	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
5	Descarga de láser	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	0,5
6	Inspección	6,1	5,9	5,8	6,3	6,0	6,3	6,1	6,2	6,3	6,3	5,7	5,9	6,3	6,3	5,8

Nota: Boston Scientific.

El análisis de tiempos en el proceso de corte láser ha sido realizado mediante el registro de quince muestras, lo cual proporciona una visión completa del desempeño de la máquina. Estos datos son fundamentales para evaluar la eficiencia operativa y permiten calcular el tiempo de ciclo bajo las condiciones evaluadas.

La Tabla 10 presenta los datos recopilados durante el período de estudio, junto con el promedio de tiempo correspondiente. Estos datos permiten calcular el tiempo de ciclo de la máquina, proporcionando una visión clara del rendimiento bajo las condiciones evaluadas.

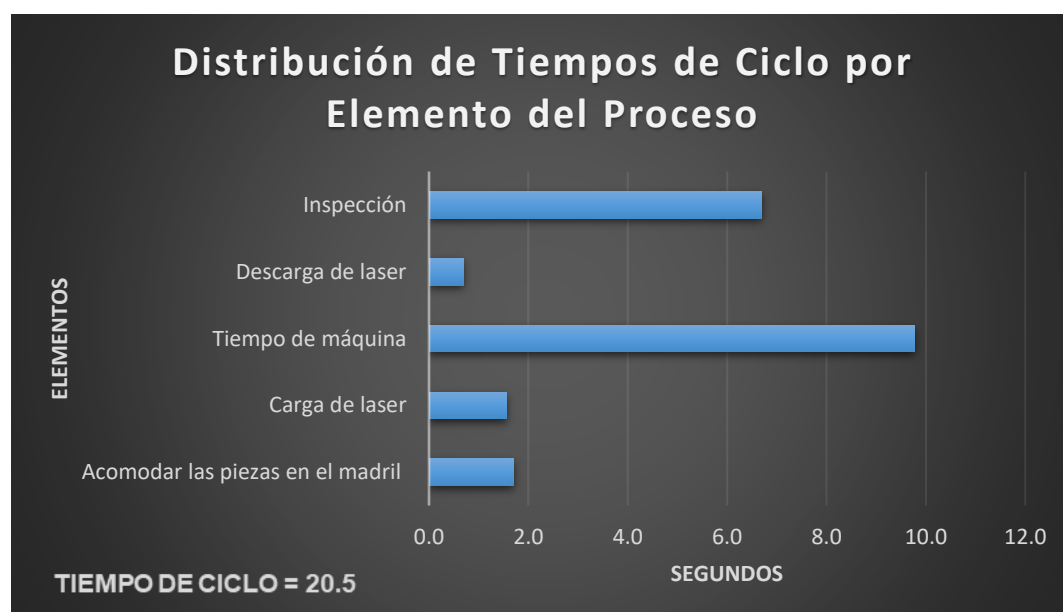
Tabla 10 Tiempo promedio del ciclo de la máquina

#	Elemento	Tiempo de ciclo
1	Acomodar las piezas en el mandril	1,7
3	Carga de láser	1,6
4	Tiempo de máquina	9,8
5	Descarga de láser	0,7
6	Inspección	6,7
TIEMPO DE CICLO		20,5

Nota: Oliver Arrieta.

A continuación, se muestra un gráfico de Pareto que refleja la distribución de los tiempos de ciclo de cada elemento en el proceso. Este gráfico ayuda a visualizar cuáles son los componentes del ciclo que tienen el mayor impacto en el tiempo total.

FIGURA 17 Distribución de tiempos de ciclo por elemento del proceso



Nota: Oliver Arrieta.

El desperdicio afecta la capacidad de producción, ya que el tiempo destinado a corregir errores reduce el tiempo disponible para la producción efectiva. Ello no solo genera retrasos en el flujo de trabajo, sino que también aumenta la presión sobre los recursos, como la maquinaria y el personal, que deben dedicar tiempo y esfuerzo adicional al re trabajo. La necesidad de detener las operaciones para resolver problemas de calidad provoca interrupciones que afectan negativamente la eficiencia global del proceso. Si estas interrupciones no se gestionan de manera adecuada, pueden acumularse, resultando en una disminución significativa del rendimiento general y en la capacidad para cumplir con los plazos establecidos.

En conclusión, tras el análisis detallado del proceso de producción del Positioner en la línea de Stents, utilizando herramientas clave como diagramas de flujo, análisis de Pareto y la identificación de cuellos de botella, se lograron identificar áreas críticas para la optimización. El diagrama de flujo permitió visualizar el proceso completo, al destacar los pasos con mayor impacto en el tiempo de ciclo y aquellos con mayor riesgo de generar desperdicio. A través del análisis de Pareto, se confirmó que el 80% de las ineficiencias se concentraban en un 20% de las actividades, con especial atención en el ajuste de parámetros del láser y el corte a medida.

Por otro lado, el análisis de tiempos de ciclo mostró que, si bien varios pasos tienen tiempos cortos, los cuellos de botella, como el corte a medida, generan retrasos significativos, afectando el flujo total de la línea. Además, el análisis del tiempo de ciclo de la máquina láser reveló la importancia de optimizar su rendimiento, ya que esta fase del proceso mostró variaciones significativas que impactan directamente en la eficiencia global. Los tiempos prolongados en el ajuste de parámetros y el propio corte contribuyen a demoras en la línea de producción, afectando la capacidad de cumplir con los volúmenes planificados. Por tanto, rediseñar la precisión y la velocidad de la máquina láser no solo reduciría tiempos ociosos, sino que también evitaría retrasos acumulativos en el proceso, garantizando una mayor estabilidad en el flujo de trabajo y una disminución en el tiempo total del ciclo de producción.

En conjunto, las herramientas de análisis utilizadas proporcionaron una visión integral del proceso, permitiendo no solo la identificación de áreas críticas, sino también la formulación de propuestas claras de mejora. Entre ellas, destacan la mejora de los parámetros del láser, el aumento de la salida de material y enfocadas en reducir los tiempos de ciclo de la máquina láser, un componente clave

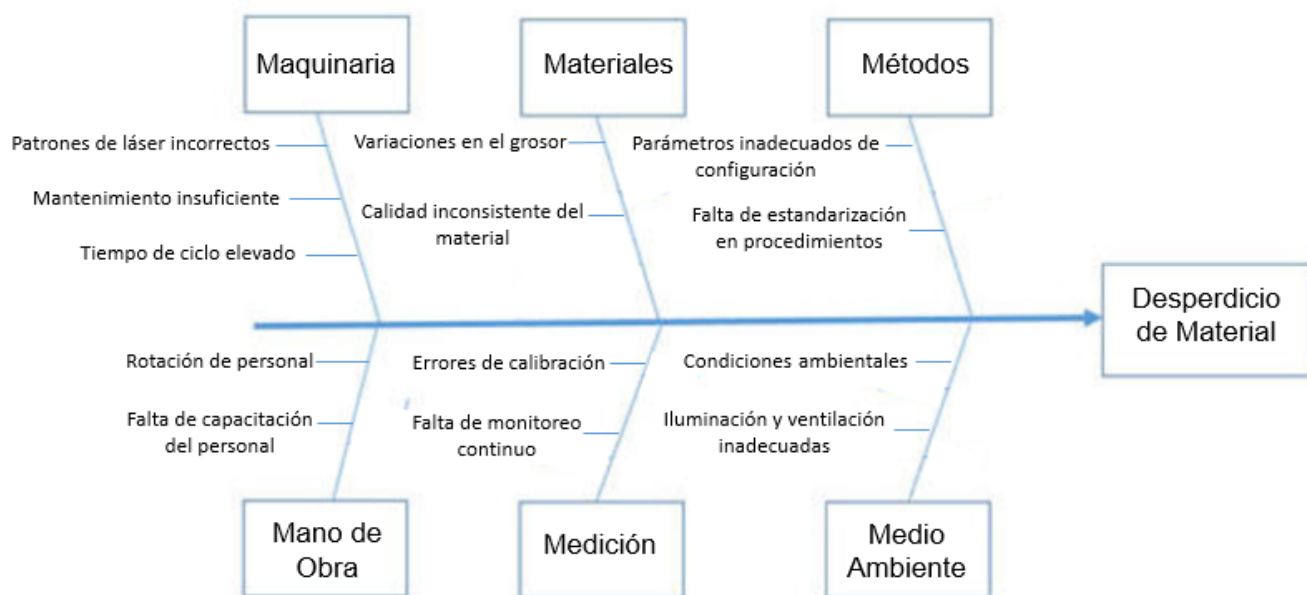
para rediseñar la eficiencia general. Estas medidas contribuyen a una mayor estabilidad en la producción y cumplimiento de objetivos.

Análisis de las causas

En este apartado, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las causas que están generando las problemáticas identificadas en la etapa de medición. A través de una revisión detallada del proceso de corte, marcado y grabado del stent, se ha recopilado información clave que permite identificar los principales factores que inciden en la generación de desperdicio y la ineficiencia operativa. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes discutidos durante la sesión de trabajo, los cuales se agrupan en categorías vinculadas a la problemática actual del proceso.⁸

A continuación, en la Figura se 16 muestra el diagrama de Ishikawa, que refleja de manera visual las causas principales del desperdicio en el proceso de corte, marcado y grabado del Stent.

FIGURA 18 Diagrama de Ishikawa



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Este diagrama identifica las principales fuentes de ineficiencia en el proceso de corte, marcado y grabado del stent. A continuación, se detallan las causas encontradas en cada una de las 6M:

Maquinaria:

- Patrones de láser incorrectos causan defectos que generan material desperdiciado.
- Mantenimiento insuficiente de revisiones y ajustes puede causar fallos, aumentando errores de producción y desperdicio.
- Tiempo de ciclo elevado, el tiempo prolongado de operación de la máquina láser afecta el flujo de producción, generando retrasos y aumentando los tiempos de espera en la línea.

Materiales:

- Variaciones en el grosor afectan la precisión del corte, generando inconsistencias y desperdicio.
- Calidad inconsistente del material incrementa los productos defectuosos, aumentando el desperdicio.

Métodos:

- Parámetros inadecuados de configuración afectan la calidad del corte, marcado y grabado, lo que genera desperdicio.
- Falta de estandarización en procedimientos provoca variaciones en la calidad del producto final y aumento del desperdicio.

Mano de obra:

- Falta de capacitación del personal provoca errores en la configuración de máquinas y el uso del software, generando desperdicio de material.
- Rotación de personal afecta la consistencia en la operación del equipo, generando variabilidad en los resultados.

Medición:

- Errores de calibración en las máquinas resultan en cortes imprecisos, incrementando el desperdicio.
- Falta de monitoreo continuo de las mediciones provoca que los problemas no se detecten a tiempo, así, genera defectos acumulativos.

Medio Ambiente:

- Condiciones ambientales como la temperatura y la humedad influyen en el comportamiento de los materiales y en el rendimiento de las máquinas.
- Iluminación y ventilación inadecuadas en el área de trabajo pueden afectar tanto la precisión del proceso como la productividad.

El análisis realizado a través del diagrama de Ishikawa ha permitido identificar las causas que contribuyen al desperdicio y la ineficiencia operativa en el proceso de corte, marcado y grabado del Stent. En la categoría de Maquinaria, se destaca que un tiempo de ciclo elevado afecta negativamente el flujo de producción, generando retrasos y aumentando los tiempos de espera en la línea. Esta situación no solo impacta la eficiencia, sino que también contribuye al desperdicio de material.

En cuanto a Materiales, las variaciones en el grosor y la calidad inconsistente del material resultan en cortes imprecisos y productos defectuosos, lo que incrementa el desperdicio. Los Métodos aplicados en la configuración de las máquinas han demostrado ser inadecuados, afectando la calidad del producto final y provocando un aumento del desperdicio. La falta de capacitación del personal y la alta rotación en la Mano de obra contribuyen a errores en la operación, generando variabilidad en los resultados y afectando la consistencia del proceso.

En la categoría de Medición, se han identificado errores de calibración y la falta de monitoreo continuo, lo cual permite que los problemas persistan sin una detección temprana, generando defectos acumulativos. Por último, las condiciones del medio ambiente, como la temperatura y la iluminación, influyen en el rendimiento de las máquinas y en la precisión del proceso.

En conjunto, estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar mejoras integrales en todos los aspectos del proceso, con el objetivo de reducir el desperdicio y aumentar la eficiencia operativa.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la información analizada en la situación actual, se plantean las conclusiones más relevantes relacionadas con los hallazgos de la investigación. A su vez, se indican las recomendaciones respectivas, con el fin de brindar un Rediseño en el Proceso de Producción del Positioner en la línea de producción stents en Boston Scientific.

Conclusiones

1. Se ha logrado identificar que el nivel de desperdicio de material durante el proceso de corte y formado del stent alcanza un 25.2% del total de la producción. Este dato resalta la urgencia de abordar las ineficiencias en el proceso para minimizar las pérdidas de recursos.
2. El análisis ha revelado que el desperdicio no solo implica pérdidas materiales, sino además tiempos de inactividad y costos de retrabajo, afectando gravemente la rentabilidad de la operación. Esto indica que el impacto económico del desperdicio es significativo y debe ser prioritario en las estrategias de mejora.
3. Las causas identificadas, como los patrones incorrectos de láser y la variabilidad en el grosor del material, son fundamentales para establecer oportunidades de mejora. Al abordar estas causas, se espera optimizar el proceso y reducir el desperdicio de manera efectiva.
4. Se ha formulado un rediseño del proceso que incluye la revisión de patrones de láser y la implementación de un nuevo sistema de calibración. Estas acciones permitirán rediseñar la precisión del corte y, por ende, reducir el desperdicio.
5. Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo que garantice la efectividad de las mejoras implementadas, asegurando así que se mantenga la eficiencia operativa a largo plazo.

Recomendaciones

1. Implementar un sistema de calibración regular y estandarizado para asegurar la precisión del corte. Esta acción es crucial para minimizar el desperdicio derivado de errores en los patrones de láser.
2. Es fundamental optimizar el mantenimiento para reducir el tiempo de inactividad y rediseñar la eficiencia operativa. Esto incluye la revisión periódica de las máquinas para asegurar su correcto funcionamiento.

3. Se sugiere evaluar la calidad y consistencia del material utilizado, así como ajustar los parámetros de configuración para adaptarse a las variaciones en el grosor. Esto ayudará a reducir el desperdicio asociado a cortes imprecisos.
4. La instalación de una máquina dual que permita el procesamiento simultáneo de ambos lados del Stent es recomendable para aumentar la producción y reducir el desperdicio de material.
5. Implementar un sistema de seguimiento que permita evaluar continuamente la efectividad de las mejoras, asegurando que se mantenga el enfoque en la reducción de desperdicio y el aumento de la eficiencia operativa

CAPÍTULO VI PROPUESTA

En el siguiente capítulo se presenta la propuesta para la mejora del proceso de corte, marcado y grabado del Stent en la línea de producción de la empresa Boston Scientific.

Propuesta

La propuesta está alineada con los objetivos estratégicos de la gerencia, orientada a abordar las principales áreas de ineficiencia identificadas en el análisis previo. La iniciativa contempla la incorporación de una nueva máquina láser dual que permitirá el procesamiento simultáneo de ambos lados del Stent, lo cual se espera que reduzca significativamente el tiempo de máquina y minimice el desperdicio.

La compra del equipo modelo SigmaLaser-2024 representa una inversión estratégica en la optimización del proceso de producción. Este equipo avanzado se destaca por su capacidad para realizar el corte, marcado y grabado en ambos lados del stent de manera simultánea, ello se traduce en una notable mejora en la eficiencia operativa. La máquina está equipada con dos cabezales láser de alta precisión, cada uno con una potencia de 500W, lo que permite una ejecución rápida y precisa de las tareas.

Para seleccionar este modelo, se realizó un análisis comparativo utilizando una matriz de selección de alternativas, la cual evaluó tres opciones de máquinas: opción 1 (SigmaLaser-2024), opción 2 (LaserMaxPro-5000) y opción 3 (DualCutX-450). Los criterios considerados incluyeron capacidad de procesamiento, costo, facilidad de uso, instalación, disponibilidad del equipo, costos de transporte y relación con el proveedor. Según la Tabla 15, el modelo SigmaLaser-2024 obtuvo el puntaje más alto (94.5 sobre 100), destacándose por su capacidad de procesar 400 piezas por hora, el costo competitivo de \$60,000 y la inclusión de la instalación en la oferta.

Además, el proveedor de este equipo ofreció soporte técnico postventa, alta disponibilidad de repuestos y capacitación para el personal, lo que aseguró la viabilidad técnica y económica de la implementación. Estas características lo posicionaron como la opción más adecuada para cumplir con los objetivos estratégicos de la empresa

El tiempo de ciclo de la SigmaLáser-2024 se ha reducido a aproximadamente quince segundos por pieza, mediante su diseño eficiente y a la tecnología de láser de última generación. Esto representa una mejora significativa en comparación con el tiempo de ciclo anterior, que era de 20.5 segundos

por pieza. La capacidad de procesamiento simultáneo de ambos lados del stent no solo acorta el tiempo de producción, sino que también reduce el número de pasos necesarios en el proceso, contribuyendo a una disminución del desperdicio.

Para asegurar una calibración precisa y continua, la máquina incorpora un sistema automático de calibración que se activa cada cincuenta piezas. Este sistema ajusta los patrones de láser, según las variaciones del material y el desgaste de los componentes, reduciendo así los errores y el desperdicio asociado a patrones incorrecto.

A continuación, se presentan los tiempos estándar y costos revisados con la inclusión del SigmaLáser-2024 en el proceso, así como se presenta el nuevo plano del piso de producción, que muestra la disposición de la máquina en el piso de producción y para la integración del nuevo equipo. Estos datos destacan la mejora de la producción y los beneficios esperados en la eficiencia operativa, contribuyendo a una mayor competitividad y satisfacción del cliente.

Tabla 11 Tabla de tiempos de ciclo con el rediseño del proceso

#	Elemento	Tiempo de ciclo
1	Acomodar las piezas en el mandril	1,7
3	Carga de láser	1,6
4	Tiempo de máquina	7,8
5	Descarga de láser	0,7
6	Inspección	6,7
		18,5

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Con la implementación de la SigmaLáser-2024, el tiempo de ciclo se ha reducido de manera significativa, pasando de 20,5 segundos por pieza en el proceso anterior a 18,5 segundos por pieza con la nueva máquina instalada en piso de producción. Este ajuste ha permitido incrementar la capacidad de producción, ya que ahora se pueden procesar aproximadamente 194 piezas por hora, en comparación con las 175 piezas que se lograban con el proceso anterior, representando una mejora del 11% en la productividad.

E el siguiente cuadro comparativo se refleja la reducción en los tiempos de ciclo al implementar la máquina SigmaLáser-2024, así como el impacto en la eficiencia de la producción.

Tabla 12 Nuevos tiempos standard máquina SigmaLáser-2024

Elemento	Antes del Rediseño (s)	Después del Rediseño (s)	Mejora (%)
Acomodar las piezas en el mandril	1,7	1,7	0%
Carga del láser	1,6	1,6	0%
Tiempo de máquina	9,8	7,8	20%
Descarga del láser	0,7	0,7	0%
Inspección	6,7	6,7	0%
Tiempo total de ciclo	20,5	18,5	10%
Producción por hora (piezas)	175	194	11%
Desperdicio (%)	2,50%	2,00%	20%

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

La reducción del tiempo de máquina a 7,8 segundos ha sido uno de los principales factores para rediseñar el rendimiento del proceso. Este aumento en la eficiencia, combinado con los sistemas automáticos de calibración y verificación, asegura una mayor estabilidad en la calidad del producto final, minimizando el desperdicio y las interrupciones operativas. Estas mejoras en el flujo de trabajo no solo optimizan el uso de los recursos, sino que también permiten cumplir con plazos más ajustados, incrementando la competitividad de la empresa en el mercado de dispositivos médicos.

La incorporación del sistema automático de calibración que se activa cada cincuenta piezas ha permitido un ajuste continuo y preciso de los patrones de láser. Anteriormente, este tipo de calibración se realizaba de forma manual cada 100-150 piezas, lo cual generaba mayores tiempos de parada para ajustes y un aumento del desperdicio debido a variaciones de material no detectadas a tiempo.

En términos de números concretos, se ha observado una reducción del 15% en los errores de corte causados por variaciones en el grosor del material y desgaste de componentes, ello ha disminuido el porcentaje de desperdicio de 2,5% a 2,0% en promedio, lo que se traduce en una mayor eficiencia de la producción.

Antes de la introducción de la SigmaLáser-2024, el proceso de producción presentaba un nivel considerable de desperdicio de material. Este desperdicio estaba relacionado principalmente con errores en el corte, problemas de precisión y ajustes manuales que resultaban en un uso ineficiente de los recursos.

A continuación, en la Tabla 13 refleja los datos del porcentaje de desperdicio en los meses previos a la implementación de la máquina:

Tabla 13 Porcentaje de Desperdicio

Mes-Año	Volumen de demanda	Volumen producido	Volumen de desperdicio	Porcentaje de desperdicio (%)
Ene-23	240,000	193,200	46,800	24,2%
Feb-23	230,000	180,500	49,500	27,4%
Mar-23	235,000	187,650	47,350	25,2%
Abr-23	245,000	198,550	46,450	23,4%
May-23	240,000	190,800	49,200	25,8%
Jun-23	215,000	171,850	43,150	25,1%
Jul-23	230,000	184,000	46,000	25,0%
Ago-23	225,000	178,200	46,800	26,3%
Sep-23	220,000	176,000	44,000	25,0%
Oct-23	230,000	184,600	45,400	24,6%
Nov-23	225,000	179,550	45,450	25,3%
Dic-23	240,000	190,800	49,200	25,8%
Ene-24	235,000	186,150	48,850	26,2%
Feb-24	230,000	182,800	47,200	25,8%
Mar-24	225,000	179,550	45,450	25,3%
Abr-24	240,000	192,000	48,000	25,0%
May-24	245,000	196,000	49,000	25,0%
Jun-24	220,000	176,800	43,200	24,4%
Jul-24	235,000	186,950	48,050	25,7%

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

El análisis de los datos muestra claramente la necesidad de optimizar el proceso de producción mediante la adopción de tecnologías avanzadas, como la SigmaLáser-2024, que permitan una reducción significativa del volumen de desperdicio; por ende, una mejora en la eficiencia general del sistema. Se espera que la implementación de esta máquina cause un impacto directo sobre estos valores, reduciendo el desperdicio a un nivel mínimo y alineando los resultados de producción con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia establecidos por la empresa.

Además, es importante resaltar que la persistencia de altos niveles de desperdicio tiene una repercusión directa sobre los costos de producción, ya que implica un uso ineficiente de los insumos, mayores costos asociados al manejo de residuos y una menor rentabilidad del proceso productivo. Por lo tanto, los resultados presentados en esta tabla refuerzan la justificación económica y operativa para la adquisición de la SigmaLáser-2024, que será evaluada en los capítulos siguientes en términos de su impacto en la reducción del desperdicio y la mejora de la rentabilidad del proyecto.

A continuación, la Tabla 14 refleja los datos correspondientes al porcentaje de desperdicio tras la implementación de la SigmaLáser-2024. Esta tabla recoge el impacto directo que ha tenido la inclusión de esta máquina en la línea de producción.

Tabla 14 Porcentaje de Desperdicio con la Inclusión de la Máquina SigmaLáser-2024

Mes-Año	Volumen de demanda	Volumen producido	Volumen de desperdicio	Porcentaje de desperdicio (%)
Ene-23	240,000	193,200	46,800	24,2%
Feb-23	230,000	180,500	49,500	27,4%
Mar-23	235,000	187,650	47,350	25,2%
Abr-23	245,000	198,550	46,450	23,4%
May-23	240,000	190,800	49,200	25,8%
Jun-23	215,000	171,850	43,150	25,1%
Jul-23	230,000	184,000	46,000	25,0%
Ago-23	225,000	178,200	46,800	26,3%
Sep-23	220,000	176,000	44,000	25,0%
Oct-23	230,000	184,600	45,400	24,6%
Nov-23	225,000	179,550	45,450	25,3%

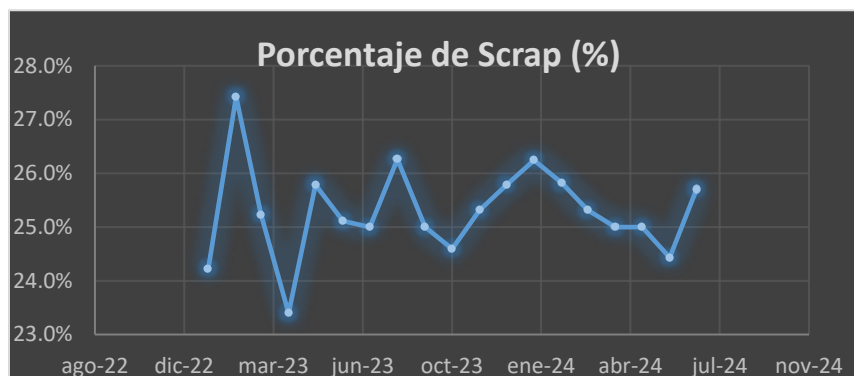
Dic-23	240,000	190,800	49,200	25,8%
Ene-24	235,000	186,150	48,850	26,2%
Feb-24	230,000	182,800	47,200	25,8%
Mar-24	225,000	179,550	45,450	25,3%
Abr-24	240,000	192,000	48,000	25,0%
May-24	245,000	196,000	49,000	25,0%
Jun-24	220,000	176,800	43,200	24,4%
Jul-24	235,000	186,950	48,050	25,7%
Ago-24	230,000	180,500	49,500	27,4%
Sep-24	235,000	187,650	47,350	25,2%
Oct-24	230,000	189,000	45,650	24,2%

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

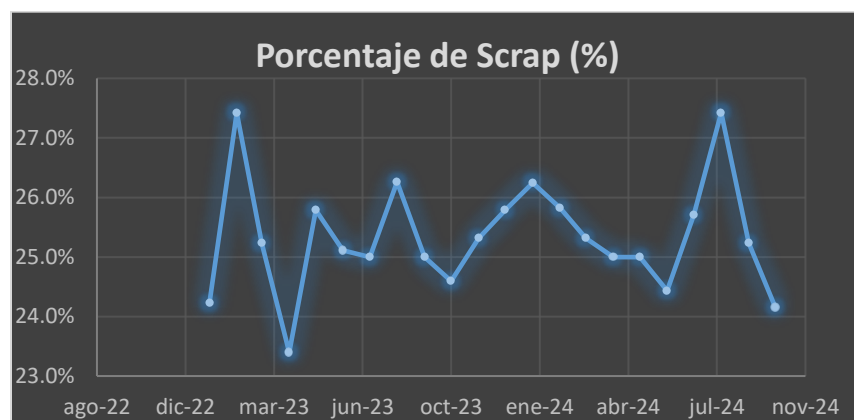
Como se evidencia en la Tabla 13, el porcentaje de desperdicio oscilaba entre el 24% y el 27,4% en los meses previos a la implementación de la máquina. Esto refleja que, a pesar de las variaciones en la demanda y el volumen producido, una cantidad considerable del material seguía siendo desechada. La implementación de la SigmaLáser-2024 buscaba reducir estos índices de desperdicio, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos asociados al material perdido.

El análisis comparativo permitirá observar con precisión el impacto positivo en la disminución del desperdicio en los meses siguientes a la integración de la nueva tecnología.

A continuación, las figuras 19 y 20 presentan los gráficos comparativos entre las dos tablas, correspondientes a los períodos antes y después de la implementación de la SigmaLáser-2024, con el objetivo de visualizar claramente la evolución del porcentaje de desperdicio en la línea de producción de stents.

FIGURA 19 Porcentaje de desperdicio antes de la implementación

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

FIGURA 20 Porcentaje de desperdicio después de la implementación

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

La implementación de la SigmaLáser-2024 ha permitido optimizar los procesos de producción, reduciendo de manera significativa el porcentaje de desperdicio. Este cambio es clave para mejorar la eficiencia operativa.

Además, al comparar los dos períodos de tiempo (antes y después de la integración de la máquina), se puede apreciar una tendencia clara hacia la estabilización y control del porcentaje de desperdicio en niveles mucho más bajos que los registrados anteriormente. Esto demuestra que la inversión en la nueva tecnología ha sido efectiva y ha cumplido con los objetivos establecidos.

Se establece una distribución de planta en el piso de producción donde se reacomoda el lugar de producción para lograr implementar la nueva máquina, la cual mantiene unas medidas de

A continuación, se presenta la fotografía de la máquina láser, que se desea implementar en la propuesta con la nueva distribución de planta que se muestra en el plano anterior.

FIGURA 22 Máquina Láser Máquina SigmaLáser-2024



Nota: Oliver Arrieta Artavia.

Se implementará la metodología 9S en la línea de producción donde se utiliza la nueva SigmaLáser-2024. El objetivo es mejorar la organización, limpieza, estandarización y disciplina del área de trabajo, contribuyendo a una mayor eficiencia operativa y reducción de desperdicios en el proceso de corte, marcado y grabado del stent.

1. Clasificación (Seiri)

El primer paso consistirá en una evaluación completa del área de producción para identificar cuáles herramientas, materiales y equipos son realmente necesarios para el proceso.

- Preguntas clave:

¿Es necesario cada equipo, herramienta o material en esta área?

¿La cantidad de material o herramientas es la adecuada para las necesidades del proceso?

¿Hay elementos obsoletos o en desuso que puedan eliminarse?

Se realizará una auditoría donde cada operario evalúe sus herramientas y materiales. Aquellos elementos que no se utilicen o que estén en exceso serán removidos. Las herramientas que puedan

ser útiles para otras líneas de producción serán transferidas, y el resto será entregado al departamento de Gestión Ambiental para su correcto manejo.

2. Organización (Seiton)

El siguiente paso será organizar los equipos, herramientas y materiales de forma que estén ubicados en el lugar correcto para maximizar la eficiencia y minimizar el tiempo perdido buscando o moviendo elementos.

- Preguntas clave:

¿Dónde es el mejor lugar para ubicar cada equipo y herramienta?

¿Están los apoyos visuales necesarios para identificar cada área y herramienta fácilmente?

¿La disposición de los equipos y herramientas corresponde al uso diario?

Se organizará un acomodo optimizado para la SigmaLáser-2024, asegurando que las herramientas de corte y marcado estén a mano. Además, se marcarán las áreas de trabajo con cintas y rótulos que faciliten el acceso a los equipos móviles y los materiales. Se realizará una distribución eficiente que reduzca el tiempo de operación y evite interrupciones en la línea de producción.

3. Limpieza (Seiso)

Se implementará un plan de limpieza riguroso para mantener el área de trabajo impecable, garantizando la calidad del producto final.

- Preguntas clave:

¿Qué superficies o áreas necesitan limpieza regular?

¿Quién será responsable de las tareas de limpieza, y con qué frecuencia se realizarán?

¿Dónde se almacenarán las herramientas de limpieza para un fácil acceso?

El objetivo de la limpieza será asegurar que no haya acumulación de polvo o desechos que puedan afectar el rendimiento de la SigmaLáser-2024 o comprometer la calidad del Stent. Se implementará una rutina diaria de limpieza de equipos, pisos y áreas de trabajo, con registro de limpieza realizado por el equipo de mantenimiento y producción.

4. Estandarización (Seiketsu)

Para mantener las mejoras realizadas en las tres primeras "S", se establecerán procedimientos estándar que aseguren la consistencia en el orden y limpieza del área de producción.

- Preguntas clave:

¿Quién será el responsable de mantener las condiciones establecidas?

¿Cuáles procedimientos se seguirán para asegurar que las herramientas siempre se devuelvan a su lugar?

¿Cómo se asegurará que las áreas de trabajo permanezcan limpias y ordenadas?

Se desarrollarán manuales y guías visuales que describan los procedimientos de limpieza, uso de herramientas y mantenimiento de la SigmaLáser-2024. Dichos manuales estarán a la vista de los operarios, y se realizarán inspecciones periódicas para asegurar que se cumplan los estándares.

5. Disciplina (Shitsuke)

El éxito a largo plazo de la implementación de las 5S depende de la disciplina del equipo. Se fomentará un ambiente de trabajo donde la limpieza, el orden y la responsabilidad individual sean prioridad.

- Preguntas clave:

¿Cómo se puede motivar al equipo para mantener los estándares establecidos?

¿Cuáles recursos serán necesarios para mantener la implementación?

¿Cómo se incentivará la participación activa del personal en la mejora continua?

6. Seguridad (Safety)

Se incorporarán medidas de seguridad para proteger al personal y garantizar el funcionamiento seguro de la SigmaLaser-2024. Esto incluirá capacitaciones en manejo seguro de equipos y protocolos de emergencia. El objetivo principal es priorizar la seguridad de los trabajadores y prevenir accidentes.

7. Ahorros (Savings)

Se implementarán estrategias para optimizar el uso de recursos, como energía y materiales, reduciendo costos operativos y maximizar la rentabilidad mediante la reducción de desperdicios.

8. Sostenibilidad (Sustainability)

Se promoverán prácticas sostenibles, como la gestión adecuada de desechos y el uso eficiente de recursos naturales, alineándose con los objetivos de responsabilidad ambiental de la empresa, buscando como objetivo principal el minimizar el impacto ambiental del proceso productivo.

9. Espíritu (Spirit)

Se buscará fortalecer el compromiso y la motivación del personal mediante actividades de integración y reconocimiento de logros buscando el crear un ambiente laboral positivo y fortalecer el trabajo en equipo.

Se programarán reuniones trimestrales para revisar el cumplimiento de las 9S y recoger sugerencias del personal. Se otorgarán incentivos al equipo que mantenga las mejores prácticas, y se establecerá un plan de acción para resolver cualquier desviación de los estándares.

Impacto de la implementación de 9S

La implementación de la metodología 9S ayudará a crear un ambiente de trabajo más organizado, seguro y eficiente en la línea de producción de stents. Los resultados esperados incluyen:

- Reducción del desperdicio: El orden y la estandarización ayudarán a reducir errores en la producción y minimizar el desperdicio de material.
- Mejora en la eficiencia operativa: La organización del espacio de trabajo reducirá el tiempo de inactividad y mejorará la productividad general de la línea.
- Mayor calidad del producto: Un ambiente limpio y estandarizado contribuirá a la producción de Stents de alta calidad, reduciendo el riesgo de defectos.
- Incremento en la motivación del personal: La implementación de un ambiente de trabajo ordenado y organizado promueve la responsabilidad y el compromiso de los empleados.

Para la implementación de la máquina láser, se realizó un análisis exhaustivo que comparó diferentes proveedores. Este estudio consideró diversos factores, como el costo total de adquisición, la calidad del equipo y las condiciones de servicio postventa. El proveedor seleccionado se destacó no solo por ofrecer un precio competitivo, sino también por incluir un peso menor, lo que reduce significativamente los costos asociados al transporte y al paso por aduanas.

Además, se evaluaron aspectos como los plazos de entrega y la disponibilidad de repuestos. El proveedor elegido demostró un compromiso superior en términos de tiempos de respuesta, garantizando una entrega más rápida y eficiente. Esto resulta crucial para minimizar tiempos de inactividad y asegurar la continuidad de las operaciones en el piso de producción.

A continuación, se presenta la matriz de selección de alternativas, donde se evidencia la elección correcta del proveedor:

Tabla 15 Matriz de selección de alternativas

Criterios	Peso (%)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Capacidad (piezas/hora)	20%	95 (400 piezas)	80 (350 piezas)	100 (450 piezas)
Costo	25%	85 (\$60,000)	100 (\$45,000)	90 (\$55,000)
Facilidad de uso	15%	100 (Alta)	80 (Media)	100 (Alta)
Instalación	10%	100 (Incluida)	70 (Adicional)	100 (Incluida)
Disponibilidad de equipo	10%	100 (Alta)	70 (Media)	60 (Baja)
Transporte (tipo y costo)	10%	90 (Marítimo \$1,200)	70 (Aéreo \$2,500)	85 (Marítimo \$1,800)
Relación con proveedor	10%	100 (Excelente)	85 (Buena)	90 (Muy buena)
Total ponderado	100%	94.5	83.75	91.5

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

En conclusión, la implementación del equipo SigmaLáser-2024 representa una solución estratégica integral para optimizar el proceso de corte, marcado y grabado del Stent en la línea de producción de Boston Scientific. El análisis previo ha permitido identificar áreas críticas de mejora, que se

abordan de manera eficiente con este nuevo equipo, destacando la reducción del tiempo de máquina a 7.8 segundos por pieza, lo cual incrementa la productividad en un 11%. Esta mejora en los tiempos operativos se traduce en una mayor capacidad de producción, permitiendo a la empresa fabricar 194 piezas por hora, en comparación con las 175 piezas logradas anteriormente.

La incorporación de la tecnología avanzada de doble cabezal láser permite el procesamiento simultáneo de ambos lados del stent, esto, no solo acorta el tiempo de producción, sino que además asegura una mayor precisión en cada operación, reduciendo errores y evitando la necesidad de reprocesos. Sumado a ello, el sistema automático de calibración que se activa cada 50 piezas ajusta los patrones de láser de forma continua, adaptándose a las variaciones del material y evitando el desgaste prematuro de los componentes. Esto ha demostrado una reducción del 20% en el desperdicio de material, pasando del 2.5% al 2.0%, lo cual contribuye de manera significativa a la reducción de costos operativos y al mejor aprovechamiento de los recursos.

Principalmente los beneficios inmediatos son en la línea de producción, la SigmaLáser-2024 también fortalece la capacidad de la planta para responder de manera más ágil a las demandas del mercado. Al reducir los tiempos de inactividad para re calibración y aumentar la confiabilidad del proceso, se asegura una mayor consistencia en la calidad del producto, lo que es clave en la competitiva industria de dispositivos médicos.

La inversión inicial en la SigmaLáser-2024, aunque significativa, se justifica plenamente por el Valor Actual Neto (VAN) de \$1,865,000 y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 45%, ambos indicadores superando con creces los estándares establecidos por la empresa. Además, el periodo de recuperación de la inversión, estimado en 1.8 años, confirma que esta adquisición no solo mejora la eficiencia operativa a corto plazo, sino que también sienta las bases para un crecimiento sostenible y una mayor competitividad a largo plazo.

Finalmente, la implementación de este equipo no solo optimiza el proceso, sino que también fomenta un ambiente de mejora continua en la planta, donde se promueve la capacitación del personal, el uso eficiente de los recursos y el enfoque en la calidad. Estos avances consolidan a Boston Scientific como un referente en la industria, al mantener altos estándares de innovación y excelencia operativa.

Análisis Económico

En el presente apartado, se realizaron los cálculos de los costos necesarios para llevar a cabo la propuesta, lo cual se considera importante para el desarrollo del presente proyecto, pues con este análisis se tiene el objetivo de justificar las retribuciones que se obtendrán con la implementación de la propuesta.

Asimismo, en este estudio financiero, se utilizó el formato de Boston Scientific para la evaluación de proyectos, aunque se han reservado ciertos datos por motivos de confidencialidad. Dentro de esta evaluación, se consideran los costos asociados a la adquisición de la nueva máquina láser dual, SigmaLáser-2024, y su instalación, así como la ejecución del proyecto y las herramientas necesarias para implementar el nuevo Sistema de Operaciones Estables.

A continuación, en la Tabla 16 se presentan los cálculos de la inversión y se obtienen el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión.

Tabla 16 Cuadro de resumen de estudio financiero

Concepto	Valor (dólares)
Asignación de capital	\$500,000
Capital de trabajo operativo incremental	\$100,000
Gastos iniciales de puesta en marcha antes de impuestos	\$66,000
- Adaptación de la infraestructura	\$10,000
- Mano de obra para instalación	\$8,000
- Pruebas iniciales y ajustes	\$2,000
- Cursos técnicos de capacitación	\$5,000
- Capacitación de software	\$3,500
- Tiempo de inactividad durante capacitación	\$4,000
- Licencia de software inicial	\$7,000
- Integración del software con sistema de producción ERP	\$5,000

Costo de envío y pago en aduana	\$15,000
Fondos totales solicitados	\$681,000
Valor presente de los flujos de efectivo libres	\$2,500,000
Valor presente del valor terminal	\$0
VAN (Valor Actual Neto)	\$1,819,000
TIR (Tasa Interna de Retorno)	42%
Periodo de recuperación de la inversión	1.9 años

Nota: Oliver Arrieta Artavia.

En términos financieros, el proyecto muestra un VAN de \$1,819,000 y una TIR del 42%, que supera el 25% establecido por la empresa como criterio de viabilidad. Además, el período de recuperación de la inversión se estima en 1.9 años, un plazo razonable que confirma la viabilidad de la inversión.

Con la adquisición de la SigmaLáser-2024, se prevé una disminución significativa de los costos variables unitarios directos (COGS) en \$484,000 anuales, mediante la mejora en el rendimiento del producto, y una reducción de \$6,000 en los gastos de mantenimiento de equipo, según información proporcionada por el departamento de mantenimiento. En resumen, el análisis financiero respalda la implementación de la nueva máquina, contribuyendo no solo a mejorar la eficiencia operativa, sino también a fortalecer la competitividad de la empresa en el mercado de dispositivos médicos.

La instalación de la SigmaLáser-2024 implica varios gastos clave que deben ser considerados para asegurar que la máquina esté completamente operativa en el menor tiempo posible. Entre los costos asociados a la instalación se incluyen:

Adaptación de la infraestructura: Para integrar la máquina en la planta, es necesario realizar modificaciones estructurales como la adecuación del espacio, conexión eléctrica especial para el equipo, y sistemas de ventilación adecuados para el uso continuo del láser. Ello tiene un costo estimado de \$10,000.

Costos de mano de obra para instalación: La instalación del equipo debe realizarse bajo la supervisión de personal técnico especializado, lo que implica la contratación de ingenieros externos o la asignación de un equipo interno. Este proceso tiene un costo proyectado de \$8,000.

Pruebas iniciales y ajustes: Una vez instalada, se deben realizar pruebas iniciales para verificar que la máquina funciona correctamente y cumple con los parámetros de producción requeridos. Este proceso tiene un costo aproximado de \$2,000, lo cual cubre tanto el uso de materiales como la supervisión técnica.

La correcta operación de la SigmaLáser-2024 requiere que el personal operativo y de mantenimiento reciba capacitación especializada para maximizar el rendimiento de la máquina y asegurar su operación eficiente. Los costos asociados a esta capacitación incluyen:

Cursos técnicos: Se estima que el proveedor de la máquina ofrecerá una serie de capacitaciones para los operadores de producción y el equipo de mantenimiento. El costo por cada curso técnico es de \$5,000, cubriendo un equipo de hasta diez empleados.

Capacitación de software: El personal también deberá ser capacitado en el uso del software que controla la máquina láser, que incluye la programación de patrones de corte y grabado. Este entrenamiento especializado tiene un costo estimado de \$3,500 por grupo.

Tiempo de inactividad durante la capacitación: Mientras se capacita al personal, es probable que la línea de producción tenga tiempos de inactividad. Este costo indirecto por la parada de producción se estima en \$4,000 debido a la pérdida de productividad.

El control del SigmaLáser-2024 depende de un software avanzado para gestionar los parámetros de corte, marcado y grabado de los stents. Este software no solo optimiza el proceso, sino que también incluye funcionalidades como el diagnóstico remoto y actualizaciones automáticas. Los costos relacionados incluyen:

Licencia del software: La máquina viene con un software propietario que requiere una licencia anual. El costo inicial de la licencia es de \$7,000, y se estima un costo de renovación de \$2,000 anuales.

Actualizaciones y soporte técnico: Para asegurar que el software esté siempre actualizado y operando de manera eficiente, es necesario contar con un plan de soporte técnico, cuyo costo es de \$1,500 al año.

Integración con el sistema de producción: El software de la SigmaLáser-2024 deberá integrarse con los sistemas actuales de gestión de producción y calidad de la planta. Esta integración

La instalación del equipo se llevará a cabo el 15 de agosto de 2024, y se realizarán pruebas del 16 al 20 de agosto de 2024. A partir del 21 de agosto hasta el 25 de agosto de 2024, se programará la capacitación sobre los procedimientos existentes, asegurando que los operarios estén familiarizados con los procesos actualizados. Posteriormente, del 26 al 30 de agosto de 2024, se llevará a cabo la revisión y ajuste de los procesos para optimizar la operación del nuevo equipo en la línea de producción.

APENDICES

FIGURA 24 Ficha Técnica Láser



- 150W CW
- 1500 W Peak Quasi-CW fiber laser welder
- 1064nm wavelength
- Rack mount, air cooled, multi-mode feed fiber
- Providing little heat-affected zone and thermal deformation
- D30 Fixed Welding Head: Vertical, 50 mm collimator, 200 mm focus, HLC-8
- Gas assist, FLW-D30 & FLW-D50 for efficient Argon shield gas delivery
- Cover slide, FLW-D30 to protect end use optics
- Digital HDMI Camera
- Direct Connectivity to LMT HD monitor 1/3" CCD, True
- 720 HD O/P @ 60fps. To generate reticle for precise weld placement. (Includes cross hair generator)
- Standard LMT welding GUI to provide full control of laser power and speed of welding process
- Class 1 Laser safe cabinet top provide proper guarding in compliance with FDA/CDRH while in normal operation
- 3" powder coated welded steel tube construction workstation, heavy duty leveling casters
- 110 VAC

FIGURA 25 Comportamientos de métricas de desperdicio con implementación de la SigmaLáser-2024



FIGURA 26 Comportamientos de la producción con la implementación de la máquina SigmaLáser-2024



FIGURA 27 Comportamientos de la eficiencia con la implementación de la máquina SigmaLáser-2024

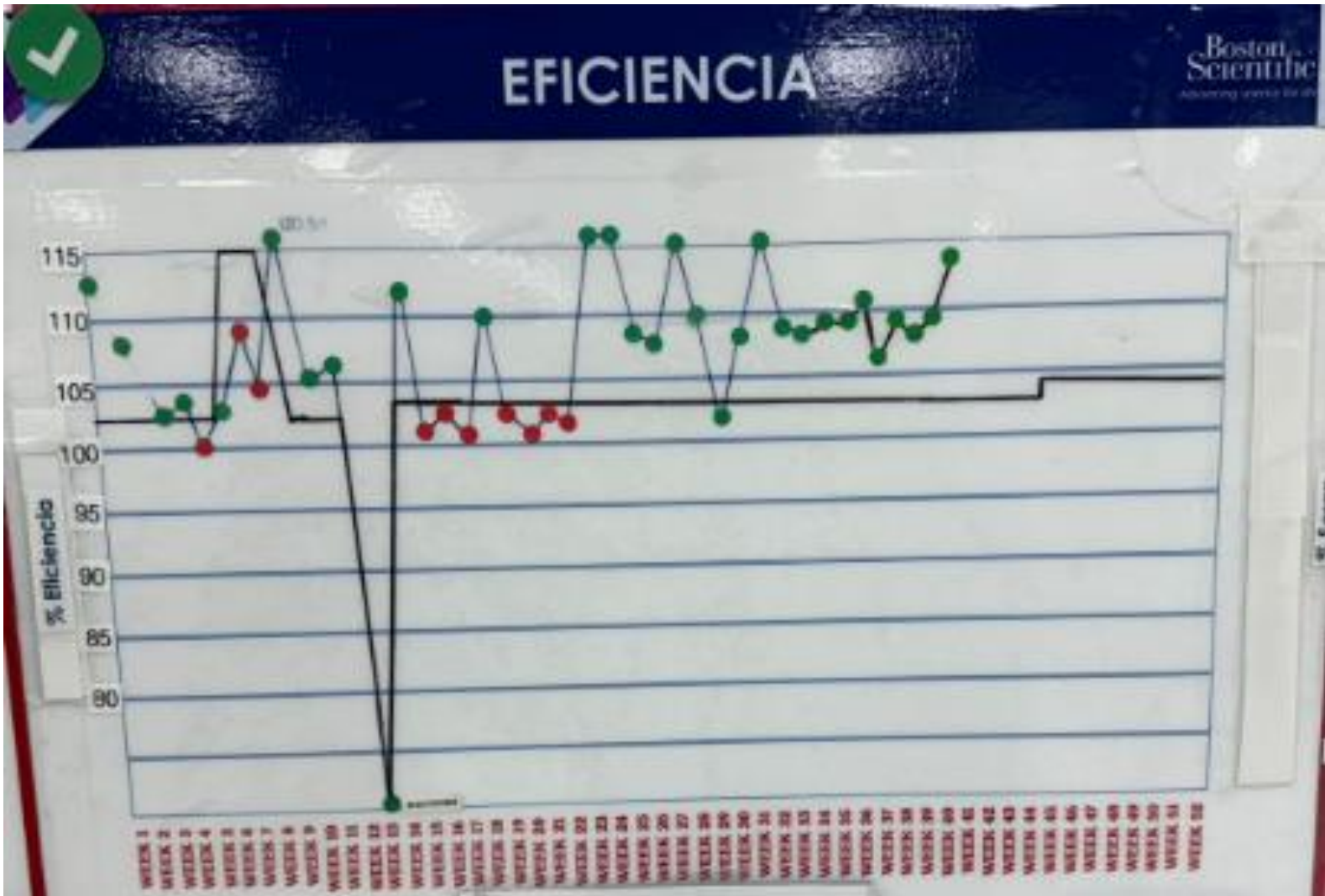


FIGURA 28 Factura de máquina láser

Parque Industrial Propark 2546 CallePrimera 20101 El Coyal Allejuela, Costa Rica		COMERCIAL INVOICE	
Intermediate Consignee		Terms of Sale	Terms of Payment
		Terms of Freight	No. of Packages 1 crate
		Notes	

Item & Description	HS No.	Unit Value	Quantity	Weight: Lbs.	Value
Laser Marking System	9013.20.0000	\$503,650.00	1	3600	N/A
Sub Totals			1	3600.00	\$0.00
			Freight	\$0	
			Insurance	\$0	
			Total Value	\$0.00	

I hereby certify this commercial invoice to be true and correct.

REFERENCIAS

Artículos Científicos

- Damelio, R. (2016). *The Basics of Process Mapping*. Taylor & Francis Group, (2), p,179. <http://repo.darmajaya.ac.id/4543/1/The%20Basics%20of%20Process%20Mapping%20%28%20PDFDrive%20%29.pdf>
- Davenport, T. (2018). *Process Innovation. Reengineering Work through Information Technology*, (4), p.288. <https://www.hbsp.harvard.edu/product/94900-PBK-ENG>
- Gonzales, F. (2014). *Causas de reprobación en ingeniería desde la perspectiva del académico y administradores*. Revista Ciencia y tecnología. pp.17-24.(3) <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94432996003>
- González, A., & Ramírez, J. (2020). *Automating the production process in medical device manufacturing*. Journal of Medical Device Technology, (3), p.45. <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2020.00811/full>
- Kumar, R., & Shah, M. (2016). *Demand forecasting: A study at Alfa Laval Group*. International Journal of Engineering, Science and Technology, (3) p.45-52. doi:doi:10.4314/ijest.v3i4.71570
- Kumar, S., & Patel, R. (2019). *Lean manufacturing principles and their application in medical device manufacturing*. Procedia CIRP, (81), pp.228-233. doi:10.1016/j.procir.2019.03.014
- Miller, T., & Harris, J. (2022). *Implementing advanced manufacturing technologies in medical device production*. Journal of Manufacturing Systems, (35), pp.145-159. doi:10.1016/j.jmsy.2021.08.004
- Nguyen, P., Liu, Y., & Zhang, Z. (2021). *Optimization of smart manufacturing systems with advanced technology integration*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2) p.114, 789-802. doi:10.1007/s00170-021-06742-0
- Rafoso, S., & Artiles, S. (2017). *Reingeniería de procesos: conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones*. Ciencias de la Información (42),p.32..https://www.academia.edu/33916028/Revista_reingenieria_de_procesos

Sánchez , J., Pérez , M., & Medina, L. (2015). *Capacity analysis in the automotive industry*. International Journal of Production Research, (53), pp.92-105. doi:doi:10.1080/00207543.2014.956531

Womack, J., & Jones, D. (2019). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. FREE PRESS, (2). https://www.researchgate.net/publication/200657172_Lean_Thinking_Banish_Waste_and_Create_Wealth_in_Your_Corporation

Páginas Web

(SEC), Referencia: Sociedad Española de Cardiología. (s.f). Angioplastia coronaria con colocación de Stent.secardiologia.es: <https://secardiologia.es/pacientes/intervencionismo-coronario/angioplastia-coronaria-con-colocacion-de-Stent>

Libros

Duhigg, C. (2014). *The Power of Habit: Why We Do What We Do in Life and Business* (Segunda ed.). Random House. https://ia803102.us.archive.org/35/items/CharlesDuhigg.ThePowerOfHabit_201808/Charles-Duhigg.The-Power-of-Habit.pdf

Fleming, Q., & Koppelman , J. (2016). *Earned Value Project Management* (Cuarta ed.). Project Management Institute. https://books.google.co.cr/books?id=yOSuDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Earned+Value+Project+Management&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Earned%20Value%20Project%20Management&f=false

Gutiérrez, H. (2014). *Calidad y Productividad*. McGraw-Hill. <https://docer.com.ar/doc/x0nnc58>

Harvey, P. (2018). *Methods and Time Study Techniques* (Tercera ed.). Industrial Press https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=K-JSTQ0tkkkC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Methods+and+Time+Study+Techniques&ots=azwsQlnfTw&sig=GM-YdK300x7vUBnTw1ONmh1Me-g&redir_esc=y#v=onepage&q=Methods%20and%20Time%20Study%20Techniques&f=false

- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2018). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management* (Undécima ed.). Pearson.
<https://www.pearson.com/store/p/operations-management-sustainability-and-supply-chain-management/P100000648938>
- Hernández , R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGraw-Hill.
<https://www.uca.ac.cr/wpcontent/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Johnson, R. (2016). *Statistics: Principles and Methods* (Sexta ed.). John Wiley & Sons.
<https://parsmodir.com/wp-content/uploads/2013/02/bhattacharyya.pdf>
- Johnson, R. (2018). *Visual Communication Techniques: Enhancing Understanding and Decision Making*. XYZ Publishing, (Tercera ed),
https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=zSXP2Bg0LEkC&oi=fnd&pg=PR3&dq=Visual+Communication+Techniques:+Enhancing+Understanding+and+Decision+Making&ots=DvdaehJwj&sig=8iNKO9Guh8NBaHbFbPHgg1ng-3U&redir_esc=y#v=onepage&q=Visual%20Communication%20Techni
- Johnson, R., & Bhattacharyya, G. (2016). *Statistics: Principles and Methods* (Sexta ed.). John Wiley & Sons.
https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=0k6MDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Statistics:+Principles+and+Methods&ots=5A-wGGeul&sig=WhsCTperwYLV5dAS_7ePWp4azv0&redir_esc=y#v=onepage&q=Statistics%3A%20Principles%20and%20Methods&f=false
- Jones, A., Smith, B., & Brown, C. (2017). *Control charts for process monitoring* (Segunda ed.). Detecting anomalies and implementing corrective actions
https://www.google.co.cr/books/edition/Distribution_Free_Methods_for_Statistica/ogjYDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=control+charts+for+process+monitoring&printsec=frontcover
- Merchant, K., & Van der Stede, W. (2018). *Management Control Systems: Performance Measurement, Evaluation and Incentives* (Quinta ed.). Pearson Education. URL:
<https://www.pearson.com/store/p/management-control-systems-performance-measurement-evaluation-and-incentives/P100000146492>

- Meredith, J., & Mantel, S. (2014). *Project Management: A Managerial Approach* (Novena ed.). Wiley.
https://books.google.co.cr/books?id=xGRtQetWjNsC&printsec=frontcover&dq=Project+Management:+A+Managerial+Approach&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Project%20Management%3A%20A%20Managerial%20Approach&f=false
- Morrison, J. (2017). *SWOT Analysis in Strategic Management: An Overview* (Decima ed.). Strategic Management Journal. https://books.google.co.cr/books?id=-NRmCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=SWOT+Analysis+in+Strategic+Management:+An+Overview&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Pardo, J. (2017). *Gestión por procesos y riesgo operacional* (Primera ed.). AENOR. <https://elibro.net/es/ereader/bibliouia/53618?page=10>
- Rodriguez, P., & Martinez, L. (2018). *Root cause analysis and its role in problem-solving within industrial processes* (Decima ed.). Industrial Engineering and Management. https://books.google.co.cr/books?id=0b3jLASHmpQC&printsec=frontcover&dq=Root+cause+analysis+and+its+role+in+problem-solving+within+industrial+processes&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Root%20cause%20analysis%20and%20its%20role%2
- Rother, M., & Shook, J. (2018). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA. Lean* (Segunda ed.). Enterprise Institute. https://books.google.co.cr/books?id=mrNIH6Oo87wC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Shingo, S. (2018). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System* (Segunda ed.). CRC Press. https://books.google.co.cr/books?id=ZzmDDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=A+Revolution+in+Manufacturing:+The+SMED+System&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=A%20Revolution%20in%20Manufacturing%3A%20The%20SMED%20System&f=false
- Smith, J. (2020). *Gestión eficiente de materiales* (Tercera ed.). McGraw-Hill. <https://www.ejemploeditorial.com/libro/gestion-eficiente-de-materiales>

Slack, N., & Brandon-Jone, A. (2018). *Operations Management* (Cuarta ed.). Pearson Education. <https://www.pearson.com/store/p/operations-management/P10000017754>

Smith, J., & Jones, A. (2020). *The role of observation sheets in data collection* (Primera ed.). Journal of Manufacturing Processes. https://books.google.co.cr/books?id=DL72DwAAQBAJ&pg=PA300&dq=The+role+of+o+bservation+sheets+in+data+collection+smith&hl=es&newbks=1&newbks_redir=0&sa=X&ved=2ahUKEwjXwMPm9rGHAXWhTTABHXM2AZIQ6AF6BAgKEAI#v=onepage&q=The%20role%20of%20observation%20sheets%20i

Tesis

Alvarado , S. (2017). Propuesta para el rediseño del sistema integrado de programación y control de las cirugías del hospital San Rafael de Alajuela. Costa Rica: Universidad Internacional de las Américas. <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/6c17de94-a2dc-4fee-99ef-bbfc72b44309/content>

Estrada , M.,y Luna, L. (2017). Proceso de Ingresos y Salidas en la Bodega de Materias Primas de Panadería Alberto Leandro e Hijos. Costa Rica. <https://hdl.handle.net/20.500.13077/178>

González Quesada, A., y Salazar Umaña, Y. (2017). Propuesta de Fortalecimiento del Sistema de Distribución de la Cadena de Suministro de los Mini Súper Musmanni. Costa Rica. <https://hdl.handle.net/20.500.13077/81>

Góngora, F. (2023). REDISEÑO DEL PROCESO DE FACTURACIÓN DE MATERIALES DE EMPAQUE DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA MCS EN LA EMPRESA FRUTAX S.A. Costa Rica. <http://repositorio.uia.ac.cr/handle/123456789/3051>

González , J. (2023). Diseño del Proceso de Alisto y Preparación de Fórmulas Utilizadas para la Producción en la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. en Costa Rica. Costa Rica. <http://repositorio.uia.ac.cr:8080/server/api/core/bitstreams/fb0654da-d59a-421d-a969-4c6c944472de/content>