

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA
ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MEJORA EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL
PROCESO ACTUAL DEL PRODUCTO G5 RING EN LA
LÍNEA DE K16 DE LA EMPRESA MTD MEDICAL**

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

ESTUDIANTE: CARLO JOSÉ SOLÓRZANO JIMÉNEZ

TUTOR: ING. Rocío Herrera

**SEDE METROPOLITANA, COSTA
RICA**

ABRIL, 2024

CONTENIDO

CONTENIDO	1
TABLAS	4
FIGURAS	5
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTOS	8
EPÍGRAFE	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I. PROBLEMA	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.4 ANTECEDENTES	16
1.4.1 ANTECEDENTES NACIONALES	16
1.4.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	17
1.5 PROYECCIONES	19
1.5.1 ALCANCES	19
1.5.2 LIMITACIONES	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	20
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	21
2.1.1 LLUVIA DE IDEAS	21
2.1.2 MULTIVO	21
2.1.3 PARETO	21
2.1.4 DIAGRAMA DE ISHIKAWA	22
2.1.5 DMAIC Six SIGMA	23
2.1.6 DIAGRAMA SIPOC	24
2.1.7 DIAGRAMA DE FLUJO	25
2.1.8 ANÁLISIS FODA	27
2.1.9 DIAGRAMA DE GANTT	28
2.1.10 ANÁLISIS DE STAKEHOLDERS	28

2.1.11	ANÁLISIS RIEGOS	29
2.2	IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	30
2.2.1	VISIÓN/ MISIÓN	30
	VISIÓN.....	30
	MISIÓN.....	30
2.2.2	ANTECEDENTES HISTÓRICOS	30
2.2.3	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	31
2.2.4	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	32
2.2.5	CANTIDAD DE EMPLEADOS	33
2.2.6	TIPOS DE PRODUCTOS.....	33
2.2.7	MERCADO DE EXPORTACIÓN	34
2.2.8	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO	34
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		36
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.2	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.3	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	37
3.3.2	FUENTE DE INFORMACIÓN PRIMARIA	37
3.3.3	FUENTE DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	38
3.4	VARIABLES DE ANÁLISIS.....	38
3.1	INSTRUMENTOS.....	40
3.2	PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	40
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		41
4.1	DEFINIR	42
4.1.1	LLUVIA DE IDEAS	42
4.2	MEDIR	49
4.3.	ANALIZAR	55
4.3.1	DIAGRAMA DE FLUJO	55
4.3.2	ANÁLISIS ES-NO ES.....	57
4.1.2	FODA.....	60
CAPÍTULO V. PROPUESTA		63
5.1	MEJORAR	64
5.1.1	PROPUESTA.....	64
5.2	CONTROLAR	67
	FUENTE: AUTOR.....	71
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		72

REFERENCIAS 75

APÉNDICES Y ANEXOS 78

 APÉNDICE 1: LLUVIA DE IDEAS 79

 APÉNDICE 2: GANTT 79

 APÉNDICE 3: CUADRO COMPARATIVO 80

 APÉNDICE 3: DIAGRAMA CAUSA EFECTO 80

 APÉNDICE 4 CUADRO COMPARATIVO 81

 APÉNDICE 5 CUADRO COMPARATIVO 82

 ANEXO 1: AGILE MAP 83

 ANEXO 2: CORNESTONE..... 84

 ANEXO 3: CONSUMO DE HERRAMIENTA TOOL BOSS..... 85

TABLAS

TABLA 1.1: CANTIDAD DE EMPLEADOS POR ÁREA	33
TABLA 3.1: VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN POR OBJETIVO ESPECÍFICO	39
TABLA 3.2: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	40
TABLA 4.1: LLUVIA DE IDEAS PARA EL DESGASTE T12.....	43
TABLA 4.2: TABLA DE MULTIVOTO-CAUSAS-DESGASTE T12	46
TABLA 4.3: PUNTAJE Y VALOR PARA ANÁLISIS DE MULTIVOTACIÓN	46
TABLA 4.4: RESUMEN MULTIVOTO PARA GRAFICAR.....	47
TABLA 4.5: PRODUCCIÓN DE UNIDADES MENSUAL	53
TABLA 4.6: ANÁLISIS ES-NO ES	57
TABLA 4.7: ANÁLISIS FODA PARA EL ÁREA DE K16 G5 RING.....	61
TABLA 5.1: COMPARATIVA DE LA HERRAMIENTA ACTUAL CONTRA LA PROPUESTA.....	65
TABLA 5.2: COMPARATIVA DE LA HERRAMIENTA ACTUAL CONTRA LA PROPUESTA	66
TABLA 5.3 REGISTRO DE CONSUMO.....	68
TABLA 5.4: DIAGRAMA DE GANTT-ACTIVIDADES DE IMPLEMENTACIÓN	69
TABLA 5.5: RESUMEN DE LA HERRAMIENTA ACTUAL CONTRA LA PROPUESTA	71

FIGURAS

FIGURA 1.1: IMAGEN G5 RING	12
FIGURA 1.2: IMAGEN G4 RING.....	13
FIGURA 1.3: PLANO RING	13
FIGURA 2.1: EJEMPLO DE DIAGRAMA DE ISHIKAWA	22
FIGURA 2.3: EJEMPLO DE DIAGRAMA SIPOC	25
FIGURA 2.4: EJEMPLO DE DIAGRAMA DE FLUJO.....	27
FIGURA 2.5: EJEMPLO ANÁLISIS FODA.....	27
FIGURA 2.6: EJEMPLO DIAGRAMA DE GANTT	28
FIGURA 2.7 MAPA SATELITAL DE MTD MEDICAL COSTA RICA	31
FIGURA 2.8: ORGANIGRAMA DE MTD.....	32
FIGURA 2.9. PRODUCTOS DE MTD MEDICAL.....	34
FIGURA 2.10: PRODUCTOS MANUFACTURADOS EN MTD MEDICAL CR.....	35
FIGURA 4.1: DIAGRAMA CAUSA Y EFECTO-DESGASTE LA HERRAMIENTA T12.....	44
FIGURA 4.2: GRÁFICO DE PARETO PARA LAS CAUSAS DEL DESGASTE T12.....	47
FIGURA 4.3: DISEÑO ACTUAL DE LA HERRAMIENTA T12	48
FIGURA 4.5: COSTO POR NÚMERO DE PARTE DE AGOSTO 2023 A ENERO 2024	49
FIGURA 4.6: CONSUMO DE HERRAMIENTAS-G5 RING DE NOVIEMBRE 2023 A ENERO 2024.....	50
FIGURA 4.7: CONSUMO DE HERRAMIENTA T12 MENSUAL DE G5 RING	51
FIGURA 4.8: COSTO DE HERRAMIENTA T12 MENSUAL DE G5 RING	51
FIGURA 4.9: UNIDADES DESECHADAS POR CADA MES POR EL DESGASTE T12.....	52
FIGURA 4.10: COSTO DE UNIDADES DESECHADAS CADA MES POR EL DESGASTE T31	53
FIGURA 4.11: CAMBIOS REALIZADOS CONTRA CAMBIOS TEÓRICO-REQUERIDOS DE T12	54
FIGURA 4.12: DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CAMBIO DE HERRAMIENTA T12.....	55
FIGURA 4.13: HERRAMIENTA T12 (MT358211)	59
FIGURA 4.15: G5 RING 5.5-M424990B015-DIMENSIONES 7-9-11	60

FIGURA 5.1: SISTEMA DE INGRESO DE CCR Y PROCEDIMIENTOS..... 70
FIGURA 5.2: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO CORNESTONE..... 70

DEDICATORIA

A mis padres quienes lucharon y creyeron en mí, que siempre me han apoyado con mis estudios, me inculcaron valores para ser una excelente persona y un excelente profesional y a Dios por guiarme y darme las fuerzas de seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a mi familia por siempre estar ahí apoyándome.

En especial a la profesora Rocío por su ayuda, guía y gran disposición para la realización de este proyecto; siempre anuente a atender dudas y una alta disposición a lo largo de estos cuatro meses

A la Universidad Central y todo el grupo de profesores que se esfuerzan cada día para enseñar de la mejor manera a todos los futuros profesionales que salen de esta gran universidad.

A todos muchas gracias.

EPÍGRAFE

Si lo puedes soñar, lo puedes lograr.

Walt Disney

RESUMEN

El presente estudio se realiza en la empresa MTD Medical Costa Rica, departamento de manufactura, específicamente en su línea de producción de máquinas CNC (control numérico computarizado) del producto G5 Ring. Para el tercer cuarto del año fiscal 2023, el equipo de ingeniería identifica los cambios de herramienta reflejan un total de \$937,000.00 en costos, eso entre todos los cambios realizados en la organización. Uno de los principales contribuyentes es el producto G5 Ring; donde se tiene un total en costos de \$119 000 en un periodo de tres meses (noviembre 2023-enero 2024) y la herramienta T12 es la primera mayor contribuyente con 422 cambios y un costo total de \$20,066.01.

En presente trabajo se lleva a cabo una investigación mediante la metodología DMAIC, con la intención de encontrar las causas de los cambios de herramienta realizados de forma tan constante, pues refleja un alto costo para la compañía y, efectuar una propuesta la cual ayude a reducir el alto consumo y gasto relacionados con la herramienta T12.

El cambio debería ser cada 350 unidades producidas; pero en el análisis de los datos históricos se identifica tiene una vida útil promedio de 200/250 unidades. Al reunir al equipo de trabajo y estudiar el proceso de cambio de herramienta, se reconoce dos causas principales. La primera indica el material de la herramienta no es el apropiado, pues actualmente cuenta con un solo tipo de recubrimiento. Sumado a esta causa, su diseño tampoco es apropiado, pues actualmente no permite haya desahogo del material cortado.

La segunda son las condiciones y proceso de corte que realiza, al ser muy exigentes para la actual herramienta T12 y acá se tiene tres variables importantes: la dureza del material, el avance propio de la herramienta en la máquina y las revoluciones por minuto a las que debe trabajar, es importante verificar siempre cada alteración del programa y los aditamentos.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Costa Rica es un importante punto, muy escogido por las grandes multinacionales de la industria médica. Existen en la actualidad industrias esenciales para la vida, porque mejoran la calidad de la salud de las personas y al ser lucrativas resultan importantes financieramente. En este caso la empresa en donde se realiza este trabajo pertenece a la industria médica, elabora diferentes tipos de medicamentos y dispositivos, los cuales restauran la salud y disminuyen el dolor, equipos muy avanzados tecnológicamente.

Por otra parte, la competencia es muy amenazante, pues siempre disminuye costos con nuevas tecnologías y modelos de producción y, mejora la calidad de sus productos, invirtiendo siempre para la mejora continua.

Como resultado de lo anterior, MTD Medical, empresa instalada en Costa Rica hace siete años, debe invertir en la mejora en sus áreas de manufactura y producción, porque presenta problemas en sus líneas de producción. La principal problemática es el aumento de fallos dimensionales debido a mal ajuste o despunte de su herramienta de corte.

Antes de explicar el flujo de trabajo de MTD o sus líneas en Costa Rica, es importante saber qué es un Ring, este es un anillo en forma de "C" hecho de diferentes materiales de aleación, como el G5 Ring confeccionado con los metales cromo cobalto-Molibdeno, una parte fundamental en el ensamble "Solera MAS G5 Head Multiaxial" para la enfermedad de la escoliosis. Producto realizado por técnicos mecánicos de precisión en máquinas tornos suizos, unidad que cuenta con 18 dimensiones las cuales tienen medidas y tolerancias precisas.

En las siguientes figuras se muestra el Ring.

Figura 1.1: Imagen G5 Ring



Fuente: Autor

una vida útil de 350 unidades y recientemente se dañan muy rápido, cerca de las 120 unidades aproximadamente. Ello impacta de diferentes maneras a la empresa (costo, eficiencia y calidad), pues falla la operación de corte y produce dimensiones fuera de tolerancia, genera grandes cantidades de scrap aproximado a un 10% más sobre la meta de un 5% de scrap y, mayor costo de operación al efectuar retrabajo y una mayor frecuencia de mantenimientos correctivos por el desgaste de la herramienta. Por otro lado, se eleva el costo de la reposición de la herramienta, por una velocidad de consumo mayor y esto unido al crecimiento de la empresa, hace que al personal más nuevo se le complique la operación, el ajuste de estas dimensiones y el cambio para la reposición de la herramienta.

Por lo tanto, se efectúa un estudio el cual consiste en diseñar un plan de mejora que mitigue estos problemas existentes en la presente investigación, aplicando la metodología DMAIC Six Sigma.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar las diferentes causas actuales que afectan el proceso de manufactura del G5 Ring, para proponer mejoras al proceso que mejoren su rendimiento y eficiencia; así como la mejora de la calidad del producto utilizando diferentes herramientas ingenieriles.

1.2.2 Objetivos específicos

- Proponer una mejora para reducir el nivel de scrap o desecho generado por esta dimensión.
- Proponer mejoras para disminuir costos de operación de cada lote producido.
- Proponer mejoras para disminuir los desperdicios y costos de reposición herramientas relacionados al G5 Ring

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se realiza en la empresa MTD Medical Costa Rica, departamento de manufactura, específicamente en su línea de producción de máquinas Swiss lathe K16, donde se fabrica G5 Ring 5.5/6.0.

Actualmente la empresa intenta controlar sus niveles de scrap por debajo de un porcentaje del 5%, siendo este el indicador meta para la línea del G5 Ring.

Este indicador de desechos no se alcanza, por cuanto la fallas en las dimensiones (7,8,9,11) aumentan por diferentes factores, en especial debido a la herramienta de corte que realiza estas dimensiones.

El personal no tiene el conocimiento suficiente para saber cuál unidad está buena y cuál está mala y, tampoco el conocimiento suficiente para utilizar y ajustar esta herramienta, cabe mencionar que cerca del 60% del personal de esta línea no supera los seis meses de antigüedad.

Rutinariamente, todas las máquinas cumplen con un mantenimiento preventivo mensual, porque la cantidad de material que procesa la máquina genera exceso de viruta y puede ser perjudicial para los aditamentos de las máquinas.

Unido a estos problemas, se dan devoluciones del cliente, plantade ensamble de Puerto Rico, de las piezas enviadas, por lo tanto, no se está alcanzando la métrica de un 98% de aceptación del producto.

Esta dimensión de fallo realizado por la herramienta de corte, es una característica de atributo, pues la medida en el plano y el sistema de documentación de la pieza es una característica de pasa o falla.

La dimensión (7, 8, 9, 11) de G5 Ring es una característica crítica definida por el cliente, en caso de que la medida esté fuera de tolerancia, no se puede ensamblar la unidad.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

Un primer trabajo relacionado con la presente investigación, corresponde a (Castillo, 2018), quien lleva a cabo un proyecto titulado “Análisis del proceso de manufactura de calidad de producto de línea de producción A en la empresa Expeld Medical”, tesis de la Universidad Central de Costa Rica, Facultad De Ingeniería Industrial. En este trabajo se analiza un proceso de manufactura por defectos encontrados en la línea de producción, se busca la causa raíz del problema y, además, se propone alternativas de solución y mejora de los estándares, tanto de calidad como de aspectos operativos.

Un segundo trabajo corresponde a (MORA, 2018), quien desarrolla un proyecto titulado “Reducción de defectos del proceso productivo mediante la disminución de scrap en el

área de wires”, Tesis de la Universidad Central de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Industrial.

En este trabajo se analiza un proceso de manufactura debido a defectos encontrados en la línea de producción, además se busca la disminución de los costos de manufactura del producto, se intenta determinar la raíz del problema de dicho scrap, se analiza las causas y se propone un plan de implementación de mejoras y controles.

Un tercer Trabajo corresponde a (LÓPEZ, 2020) quien realiza un proyecto titulado “Evaluación y mejora en la eficiencia del producto MAS HEAD 6.0” de la Universidad Central de Costa Rica, Facultad de Ingeniería Industrial.

En este trabajo se analiza el cambio de aditamento para una mejor eficiencia de las herramientas, debido a los defectos encontrados en las dimensiones de la unidad realizadas por la herramienta montada en tal aditamento, al encontrar una solución, se propone implementar mejoras y controles, como un nuevo holder o aditamento de herramienta de corte multiplicador.

Un cuarto trabajo corresponde a (MÉNDEZ, 2021). Quien elabora un proyecto titulado “Impacto del “Robotic Process Automation” (RPA) en la mejora de procesos y su aplicación e importancia en la Ingeniería Industria” de la Universidad Latina de Costa Rica.

En él se detalla la importancia de la robótica y la automatización, se debe hacer muchas mejoras y cambios en la aplicación del “RPA”, el crea diferentes guías de ayuda para mejorar continuamente esta automatización.

1.4.2 Antecedentes internacionales

Según (Carbajal, 2018), en su trabajo de grado publicado en Lima el 29 de enero, realiza una “Propuesta de mejora de la eficiencia global de los equipos orientado en el TPM para una empresa envasadora de bebida gasificada no alcohólica”. En sus inicios habla de la falta de una metodología que permita eliminar las principales paradas en el proceso, producto de imprevistos de los equipos y desviaciones en el proceso productivo, de igual manera se promueve el análisis de causas raíz mediante el

involucramiento en el proceso y la observación de todas las tareas propias de la compañía. Se diagnostica el proceso actual y se procede a proponer una mejora.

En sus conclusiones se elimina los paros de las máquinas por daños en los equipos. De acuerdo con esta investigación, MTD Medical Costa Rica presenta una similitud con el problema de la gestión del servicio expuesto. Una de las posibles causas es no contar con procedimientos pertinentes para un manejo adecuado de las máquinas. Se presenta una mala planeación en cuanto al stock necesario de aditamentos, provocando mala gestión del servicio y fallas por variaciones en los procesos de maquinado.

Otra investigación realizada por Obando (2013), como se cita, en Disminución de desperdicios en el proceso de recubrimiento de espuma en empresa manufacturera de arneses del noroeste de México (2013), recalca hay una alta proporción de desperdicios en un segmento de la planta de manufactura de arneses quevan dentro de automóviles, que requieren un recubrimiento de espuma. Se presenta una tasa de defectos superior al 3%, máximo permitido, generando pérdidas económicas a la organización.

Existe un estudio de Stockwen (2012), California, titulado “Herramientas básicas de manufactura esbelta como alternativa para la reducción de desperdicios”. Indica en su trabajo haber detectado en el departamento de registro de materia prima lo siguiente: los componentes mecanizados que se suministra no cumplen con los requerimientos de calidad, por lo tanto, surge la necesidad de realizar una investigación para determinar la causa raíz del problema, mediante el uso de diversas ~~herramientas~~ herramientas ingenieriles con el fin de lograr disminuir el número de rechazos de parte de departamento de incoming y calidad de la empresa.

En conclusión, para llevar una investigación donde se represente componentes rechazados es fundamental el uso de herramientas ingenieriles y de calidad, para llevar con éxito el proyecto y atacar las causas de estos problemas.

1.5 PROYECCIONES

Con la implementación de la mejora propuesta en este trabajo de graduación, la empresa mejora la productividad y calidad bajando el scrap al 7%, la métrica empresarial aceptable.

1.5.1 Alcances

La investigación en estudio se realiza en MTD Medical costa Rica, ubicada en Zona Franca del Coyoil Alajuela, en el área de manufactura, línea de las máquinas K16 donde se fabrica el producto G5 Ring. Esta investigación solo abarca un producto de ~~ls~~500 que se fabrica actualmente y en los defectos con mayor rechazo por el departamento de calidad de Costa Rica y su cliente la planta de Humacao, en consecuencia, el estudio abarca la dimensión afectada por la herramienta T12.

1.5.2 Limitaciones

Existen limitaciones, por cuanto los procedimientos de la empresa son confidenciales y ello limita la investigación del ~~pro~~

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detalla las herramientas y conceptos ingenieriles que se toma en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

2.1.1 Lluvia de ideas

La lluvia de ideas es una herramienta de trabajo, potencia la creatividad de los equipos para encontrar soluciones a situaciones concretas. Generalmente, estas sesiones de brainstorming se realizan en un ambiente más relajado, pues el objetivo principal es el fluir de las ideas.

Para poder desarrollarla de manera efectiva, los directores de proyecto deben crear un ambiente donde se facilite el trabajo en equipo y motivarlo continuamente proporcionando desafíos y oportunidades, por lo tanto, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos:

- Evitar las críticas negativas: En el brainstorming todas las ideas están permitidas, por muy extrañas que parezcan. De hecho, la mayoría surge de manera espontánea y el análisis llega después. Mientras tanto, es necesario fomentar la participación y los integrantes se sientan libres de expresarse.
- Definir bien los objetivos: Todos los participantes deben estar al tanto, detalladamente, de cuál es el problema o situación para abordar o solucionar. Esta es la manera más efectiva de alinear las ideas hacia un objetivo común.

2.1.2 Multivo

La multivotación es una técnica en grupo para reducir una larga lista de elementos a unos pocos manejables, la idea es agrupar por cantidad de veces que se repite los elementos, se genera un grupo en una tabla con la cual se puntúa y luego funciona para generar el gráfico de Pareto.

2.1.3 Pareto

Es una herramienta gráfica donde los datos se ordenan de mayor a menor, eso deja más claro qué aspectos deben resolverse primero. Se apoya en el principio de Pareto, dice que el 80 % de las consecuencias son el resultado del 20 % de las causas.

2.1.4 Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como Diagrama de Espina de Pescado o Diagrama de Causa y Efecto, es una herramienta de la calidad, ayuda a levantar las causas-raíces de un problema, analizando todos los factores que involucran la ejecución del proceso.

El Diagrama de Ishikawa presenta la relación existente entre el resultado no deseado o no conforme de un proceso (efecto) y, los diversos factores (causas) capaces de contribuir a que ese resultado haya ocurrido. Su relación con la imagen de una espina de pescado se da debido al hecho de que poder considerar sus espinas como las causas de los problemas planteados, que contribuyen al descubrimiento de su efecto, además, el formato gráfico se asemeja al diseño de un esqueleto de pescado.

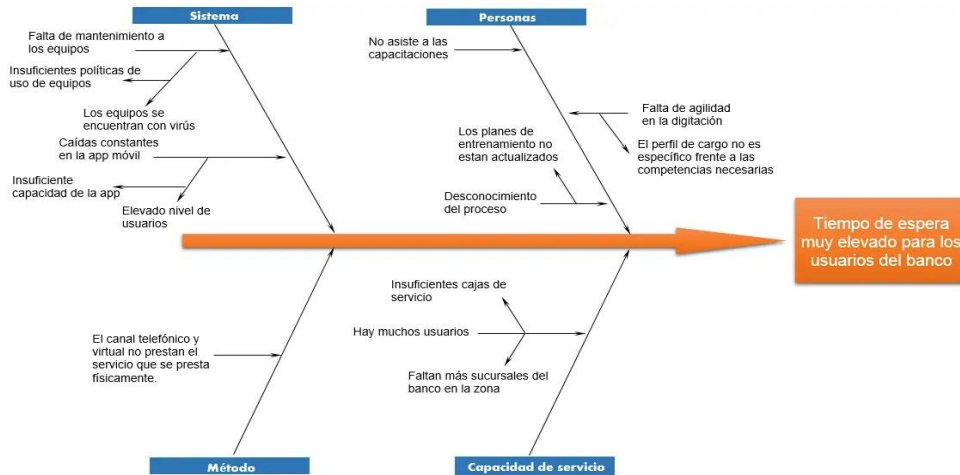


Figura 2.1: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

Fuente: Betancourt, D. F., 2016

2.1.5 DMAIC Six Sigma

Según (Herrera, R, p. 2). Seis Sigma (6s) es una estrategia de mejora continua del negocio, busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación. Esto lleva a encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, tomando como punto de referencia en todo momento, a los clientes y sus necesidades.

El principal propósito del Six sigma es lograr la satisfacción de los clientes, en ese orden se enfoca en comprender sus necesidades, recolectar información y, por medio de un análisis estadístico encontrar oportunidades de mejora, una mejora consistente. Six sigma utiliza la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Consiste en:

Definir: Se define el proyecto por realizar, generalmente en función del propósito, alcance y resultados o, en función del problema, procesos y objetivos. Así entonces, el propósito y los objetivos del Six sigma va a ser reducir la tasa de defectos a menos de 3,4 por millón, en función del tiempo estimado para cada organización.

Medir: Se obtiene datos y mediciones del proceso. Es usual esta fase se soporte en mapas de valor y observación. Debe medirse y documentarse aspectos claves, datos relevantes, contemplar todas las variables y los parámetros que afectan los procesos.

Analizar: Tal como afirma el especialista Oskar Olofsson: «Si las estadísticas no apoyan una relación causa y efecto, DMAIC de Six sigma no ofrece una solución.» En este paso los datos recabados en la medición se convierten en información. En esta fase debe identificarse a partir de las variables y los parámetros, las causas claves de los problemas.

Mejorar: Según las causas principales de los problemas, debe modificarse o rediseñarse los procesos. Es clave involucrar al personal que se relaciona directamente con los procesos, esto constituye un paso fundamental en la continuidad de las

mejoras.

Controlar: Debe verificarse se sostengan los resultados, esta fase es el principio de la mejora continua. Las mejoras en el proceso deben asegurarse de manera que se sostengan los niveles de desempeño, de igual modo en que se adapta mejoras incrementales a lo largo del tiempo.

Esta etapa permite verificar la efectividad y la eficacia de los diversos cambios que sufre el proceso, no a través de las diversas etapas de mejora.

2.1.6 DIAGRAMA SIPOC

La herramienta de la metodología Seis Sigma, SIPOC, es un diagrama en el cual se mapea un proceso y, se descompone en los elementos siguientes: proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes (por sus siglas en inglés). Generalmente, el diagrama SIPOC se desarrolla en la etapa de definir correspondiente a la metodología DMAIC, pues permite tener una visión más amplia del proceso y ayuda a tener un mejor entendimiento del estado actual del proceso. SIPOC es una herramienta visual, comunica clara y efectivamente las actividades del proceso y sus factores clave. Generalmente, se presenta en una tabla compuesta por cinco columnas, en donde se describe los proveedores quienes suministran las entradas al proceso, el material, servicio y/o información utilizada para producir las salidas del proceso

Figura 2.3: Ejemplo de Diagrama SIPOC

S	I	P	O	C
Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
¿Quién suministra lo que se necesita para ejecutar el proceso?	¿Cuáles son los insumos requeridos?	¿Qué hace el proceso?	¿Cuál es el resultado esperado del proceso?	¿Qué clientes necesitan la salida de este proceso?
Ejemplo:				
Departamento de finanzas de sucursales.	Ordenes de compras. Facturas.	Paso 1 Paso 2 Paso 3	Reportes financieros	Departamento financiero corporativo

Fuente: Diagrama SIPOC Project Management.

2.1.7 Diagrama de Flujo

Según (Chavez, 2018), el diagrama de flujo es una simple representación sencilla de una secuencia de acontecimientos. En esta secuencia, el material se sigue desde su llegada a la fábrica, a través de las diferentes fases del proceso, hasta ser transformado en artículos acabados y empacados en función de su venta. El diagrama de flujo de procesos es una herramienta de planificación y análisis utilizada para:

Definir y analizar procesos de manufactura, ensamblado o servicios.

Construir una imagen del proceso etapa por etapa para su análisis, discusión o con propósitos de comunicación.

Definir, estandarizar o encontrar áreas de un proceso susceptibles de ser mejoradas.

El diagrama de flujo de procesos se concentra en una función o actividad específica. A diferencia del diagrama de flujo de secuencias, no permite la identificación de varios clientes y proveedores, pero constituye una representación más visual de un proceso. Elaborar un diagrama de flujo consta de cuatro etapas, las cuales se explica enseguida:

Etapa 1: Aprestarse para la sesión de diagrama de flujo de Procesos. Antes de comenzar su sesión de diagrama de flujo de procesos:

- Cree la planilla de símbolos del diagrama de flujo de procesos. Su planilla debe exhibir todos los símbolos que vayan a aparecer en el diagrama.
 - Establezca un límite de tiempo para la sesión.
- Identifique un registrador para la sesión, el trabajo de este consiste en trazar un borrador del diagrama a medida que el equipo identifica las etapas y símbolos adecuados para las mismas.

Etapa 2: Identificar las principales tareas del proceso. Comience su sesión de diagrama de flujo identificando la primera tarea significativa del proceso elegido para analizar, luego de esto formule preguntas con el fin de estimular las ideas y acelerar la confección del diagrama de flujo.

Etapa 3: Trazar el diagrama de flujo de procesos.

Utilizando los símbolos identificados en la etapa uno, ingrese las tareas del proceso en un bloc expositor o transparencia proyectable. Cada proceso tiene un principio y un final. Además, todos los procesos deben tener tareas y la mayoría tiene, puntos de decisión. Los puntos de decisión constituyen preguntas por sí o por no que encaminan el proceso de una forma u otra.

Etapa 4: Analizar el diagrama de flujo de procesos. Esto permite detectar Tiempo por tarea.

Repeticiones de tareas.

Figura 2.4: Ejemplo de Diagrama de Flujo



Fuente: Diagrama Flujo Hub Management.

2.1.8 Análisis FODA

El análisis FODA es una técnica utilizada para evaluar el desempeño de una organización en el mercado y se utiliza para desarrollar estrategias comerciales efectivas. Su nombre es un acrónimo de las palabras fortaleza, oportunidades, debilidades y amenazas.

Según (Ibáñez, 2008), señala el análisis FODA considera que una estrategia debe lograr un equilibrio o ajuste entre la capacidad interna de la organización y su situación de carácter externo.

Figura 2.5: Ejemplo Análisis FODA



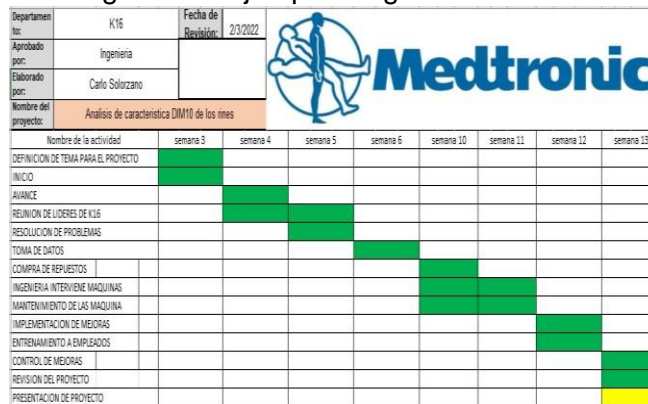
Fuente: Teoría de análisis FODA.

2.1.9 Diagrama de Gantt

Es un gráfico de barras horizontales usado para ilustrar el cronograma de un proyecto, programa o trabajo. Es una forma de visualizar la programación del proyecto de forma ordenada.

Herramienta gráfica que muestra la planificación y programación de tareas en un proyecto, facilitando la coordinación y el seguimiento del progreso del proyecto (Henry Gantt,1910)

Figura 2.6: Ejemplo Diagrama de Gantt



Fuente: Autor.

2.1.10 Análisis de stakeholders

El análisis de stakeholders, también conocido como análisis de partes interesadas, es un proceso utilizado en la gestión de proyectos y la toma de decisiones empresariales, para identificar y evaluar a las partes interesadas relevantes en un proyecto, plan o iniciativa.

- **Identificación de stakeholders:** Se identifica todas las partes interesadas relevantes, tanto internas como externas, que pueden influir en el proyecto o ser afectadas por él. Estas incluyen clientes, proveedores, empleados, accionistas, comunidades locales, reguladores, entre otros.
- **Evaluación de intereses y poder:** Se analiza los intereses, objetivos y necesidades de cada stakeholder, así como su nivel de poder o influencia en el

proyecto. Esto ayuda a comprender cómo pueden afectar al proyecto y qué tan involucrados deben estar en el proceso de toma de decisiones.

2.1.11 Análisis Riegos

El análisis de riesgos, también conocido como evaluación de riesgos, es un proceso sistemático utilizado para identificar, evaluar y priorizar los riesgos potenciales asociados con un proyecto, plan, actividad o situación. El objetivo principal del análisis de riesgos es comprender y gestionar los riesgos de manera proactiva, tomando medidas preventivas o de mitigación para minimizar su impacto y aumentar las posibilidades de éxito.

“Es un proceso sistemático y estructurado que busca identificar y evaluar los riesgos potenciales, así como las incertidumbres asociadas, con el fin de comprender mejor sus implicaciones y tomar decisiones informadas” (Vose, 2008)

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se expone los detalles más importantes de la empresa MTD Medical Costa Rica donde se realiza el estudio.

2.2.1 Visión / Misión

Enseguida se muestra la visión y misión de la empresa.

Visión

La visión de MTD Medical Costa Rica es ser la empresa más respetada y atractiva de nuestra industria, creando valor para todos nuestros clientes, colaboradores, accionistas y comunidades en las que operamos.

Misión

La misión de MTD Medical Costa Rica es Contribuir al bienestar humano a través de la ingeniería biomédica en la búsqueda, diseño, fabricación y venta de instrumental o aparatos que alivian el dolor, devuelven la salud y extienden la vida.

2.2.2 Antecedentes históricos

MTD se funda en 1949 como un taller de reparación de equipos médicos por Earl Bakken y su cuñado, Palmer Hermundslie. ¿Era la intención de estos dos hombres cambiar la tecnología médica y la vida de millones de personas? No, pero les guía un propósito moral y la motivación personal de usar su conocimiento científico y sus capacidades empresariales para ayudar a los demás.

Ese espíritu, combinado con la integridad y la pasión de los fundadores, se convierte en la filosofía y, finalmente, en la Misión de MTD.

La primera gran terapia, un marcapasos cardiaco portátil con batería, es la base de muchas otras terapias de MTD basadas en la experiencia con la estimulación, para mejorar la vida de millones de personas.

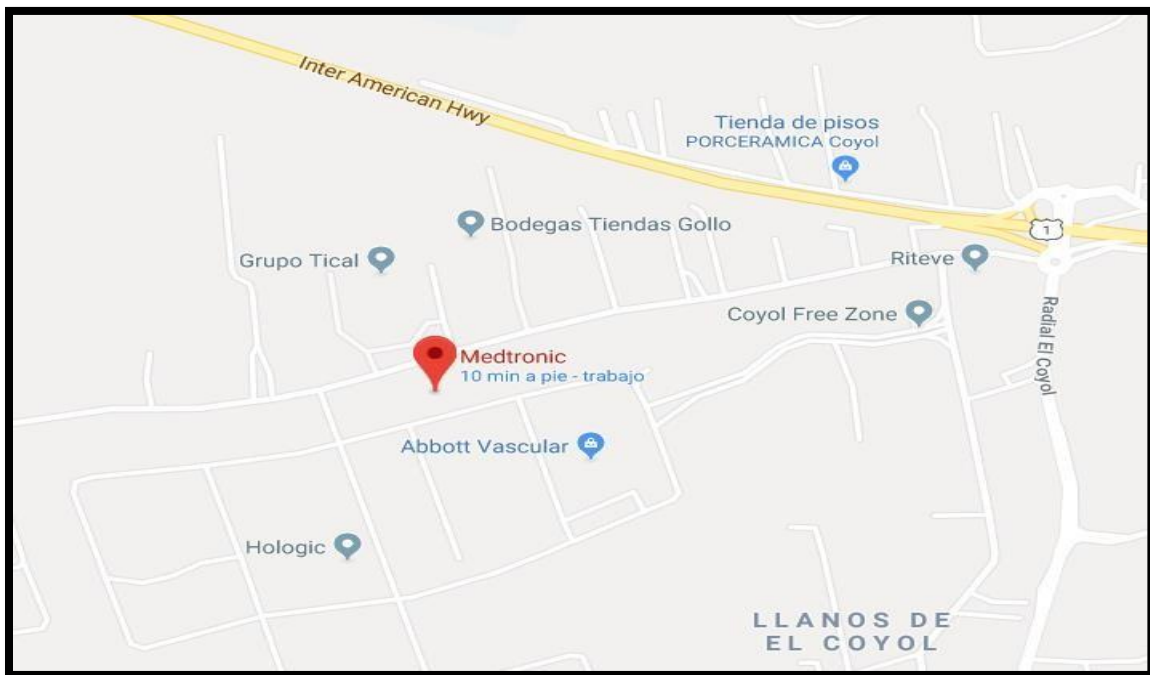
A lo largo de los años desarrollan otras tecnologías clave, entre ellas los dispositivos mecánicos implantables, los dispositivos de liberación de fármacos, así como instrumental quirúrgico eléctrico.

Hoy en día sus tecnologías se utilizan para tratar cerca de 40 trastornos médicos. Actualmente la planta localizada en Costa Rica está ubicada en la Zona Franca Coyol, se dedica a la fabricación de piezas óseas, específicamente para la columna vertebral. Es la empresa que más miles de dólares vende, superando a otras empresas médicas de prestigio, es la número uno a nivel mundial.

2.2.3 Ubicación geográfica

La ubicación de MTD Medical es en el edificio B7, cuenta con tres módulos en zona franca El Coyol de Alajuela.

Figura 2.7 Mapa satelital de MTD Medical Costa Rica



Fuente: Google Maps, 2023.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama de la empresa se muestra a continuación, la empresa MTD a nivel de Costa Rica es muy grande, por eso solo se muestra el organigrama de la división a la cual está ligado el proyecto

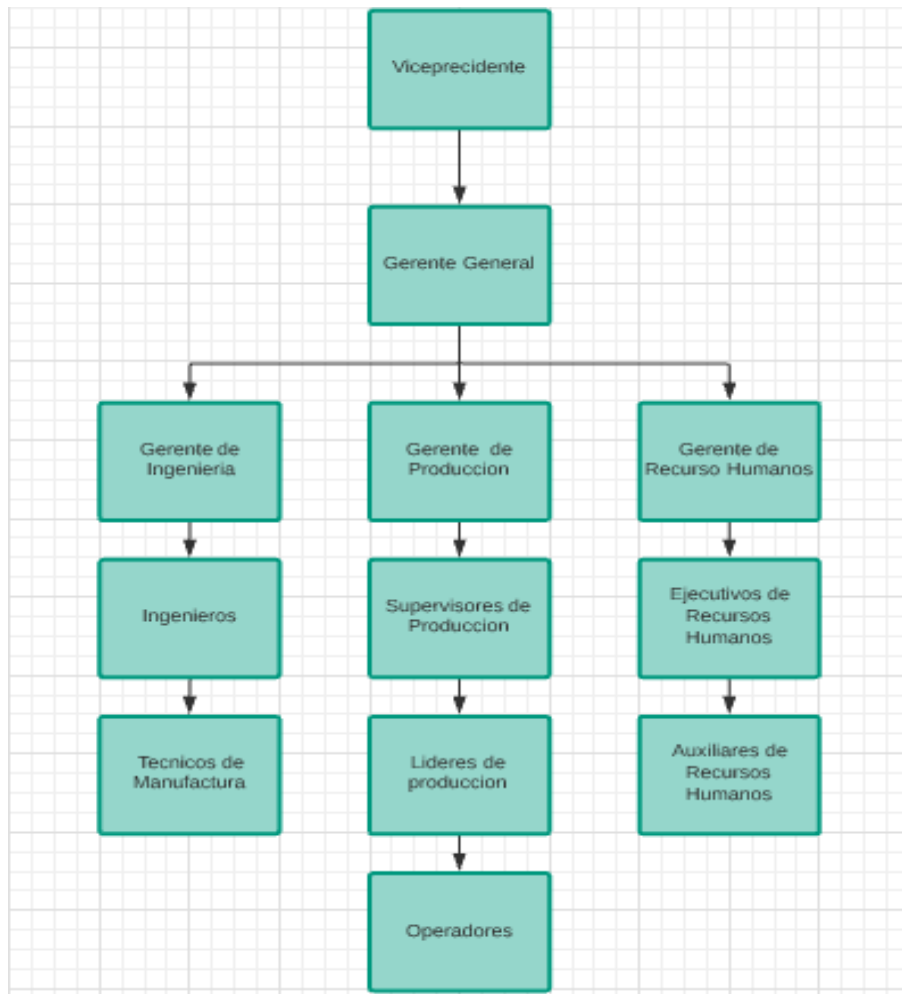


Figura 2.8: Organigrama de MTD.

Fuente: RR.HH. MTD.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 1.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o Área	Cantidad
Director	1
Gerentes de áreas	8
Ingenieros Sr	10
Ingenieros Jr.	25
Mecánicos de precisión	190
Técnicos de mantenimiento	8
Técnicos de ingeniería	8
Técnicos de manufactura	4
Operarios	70
Técnicos de calidad	30
Total	354

Fuente: RR. HH.

2.2.6 Tipos de productos

Acá se muestra 10 de los 500 productos que MTD Medical exporta a otros mercados, estos productos se exportan a los clientes de Humacao, Puerto Rico, los otros 500 productos se exportan al cliente MTD Warsaw en Estados Unidos.

Figura 2.9. Productos de MTD Medical



Fuente: Ingeniería MTD.

2.2.7 Mercado de exportación

MTD tiene un mercado de exportación mundial, pero actualmente todos los productos manufacturados en MTD Costa Rica deben pasar por la sede de Humacao, Puerto Rico y Warsaw, Estados Unidos, para ensamblaje de productos, pues en Costa Rica solo se maquina los productos, sin embargo, MTD Costa Rica está en proceso de transferir todas las líneas de ensamble de Humacao y Warsaw.

2.2.8 Descripción general del proceso productivo

MTD Costa Rica tiene muchos procesos productivos, pero esta investigación solo se enfoca en el de maquinado. En la siguiente imagen se muestra el proceso que se lleva hasta exportar el producto a las plantas hermanas.

Figura 2.10: Productos manufacturados en MTD Medical CR.



Fuente: Ingeniería MTD.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo, fundamentado en la siguiente definición: Usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamientos, “Las investigaciones cuantitativas que generan hipótesis son aquellas cuyo planteamiento define que su alcance será correlacional o explicativo, o las que tienen un alcance descriptivo, pero intentan pronosticar una cifra o un hecho.” (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014)

De acuerdo lo citado anteriormente, se enfoca en las dimensiones que afectan para que la unidad salga buena y, así demostrar con datos estadísticos el cumplimiento de los diferentes factores de capacidad en los procesos.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método o diseño según Hernández et al. (2014), “se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de resolver al planteamiento del problema” (p.128). El método se selecciona con base en el problema planteado, objetivos, tiempo e inclusive, el presupuesto destinado para la investigación. Es indispensable describir cada paso del diseño y cómo se va a usar en la investigación. Cada enfoque tiene sus diseños o métodos establecidos, es incorrecto mezclarlos.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.3.1 Sujetos de información

Se toma en cuenta la opinión de los “SME” de la línea de producción del producto en estudio, quienes son: mecánicos de precisión, líder de área y técnicos de ingeniería, los cuales trabajan día a día en la línea de producción y pueden brindar, opiniones, ayudas requeridas y problemas.

3.3.2 Fuente de información primaria

Las fuentes de información primaria son "las fuentes originales y directas de información sobre un tema, basadas en la observación, la experiencia o los resultados de una investigación original". (Booth, Colomb y Williams 1995)

La entrevista a un experto como el líder de la línea de producción es un ejemplo de fuente primaria de información, pues se obtiene una perspectiva de primera mano de una persona con experiencia y conocimientos de campo.

3.3.3 Fuente de información secundaria

“Las fuentes secundarias no son evidencia per se, sino que proporcionan una interpretación, análisis o comentario derivado del contenido de materiales de fuentes primarias y / u otras fuentes secundarias.” (Técnicas de investigación, 2020)

En este caso las fuentes secundarias pueden ser las bases de datos de scrap, de producciones y los inventarios de la empresa.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Proponer una mejora para reducir el nivel de scrap o desecho generado por esta dimensión.	Nivel de scrap	Cantidad de productos defectuosos o desechados en relación con la producción total.	Medir la cantidad de productos defectuosos desechados durante el proceso de producción de esta dimensión.	SIPOC
Proponer mejoras para disminuir costos de operación de cada lote producido.	Problemas identificados	Lista de los problemas o desafíos identificados en el proceso.	Identificar y registrar los problemas o desafíos encontrados durante el proceso.	Lluvia de ideas Multivoto Ishikawa Pareto
Proponer mejoras para disminuir los desperdicios y costos de reposición de herramientas relacionados al G5 Ring	Costos de herramientas	Gastos asociados con la adquisición, mantenimiento y reparación de las herramientas utilizadas en la producción del G4/G5 Ring.	Registrar los gastos relacionados con la adquisición, mantenimiento y reparación de las herramientas utilizadas en el proceso del G4/G5 Ring.	Estandarización, uso de indicadores.

3.1 INSTRUMENTOS

Para lograr cada objetivo propuesto en la investigación es necesario contar con herramientas y técnicas, la cuales se utiliza en esta investigación. Se emplea un registro de actividades, registros históricos de medidas o revisión de datos y observación directa de los hechos.

3.2 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la recolección de datos específicos se consulta con el área de ingeniería de MTD Medical, para obtener datos de scrap, datos de desechos dimensionales, por la medida específica que se necesite, niveles de producción, máquinas que influyen constantemente en los problemas.

Tabla 3.2: Recolección y análisis de datos

DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTROLAR
<ul style="list-style-type: none"> -DMAIC -Lluvia de ideas. -Ishikawa -Multivoto. -Pareto. -Diagrama de flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Gráficos de barra. -Datos históricos. -Histograma. 	<ul style="list-style-type: none"> -Diagrama de flujo. -Análisis Es no Es. -FODA. 	<ul style="list-style-type: none"> -Propuesta de cambio de herramienta. -Propuesta sobre Procedimientos. -Propuesta procedimientos de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. -Propuesta sobre proveedores. 	<ul style="list-style-type: none"> -Diagrama de Gantt. -Entrenamiento. -Auditorías internas y externas.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente estudio se realiza en la empresa MTD Medical, departamento de manufactura, específicamente en su línea de producción de K16 máquinas CNC (control numérico computarizado) del producto G5 Ring, con la finalidad de analizar las causas que provocan el frecuente cambio de la herramienta T12 (MT199014).

4.1 DEFINIR

Es la primera etapa de la metodología DMAIC, se enfoca en explicar de forma clara, concisa y precisa la situación actual de la empresa.

4.1.1 Lluvia de ideas

Para tener un mejor entendimiento de la situación actual y, así poder estudiar con mayor profundidad las posibles causas que generan la herramienta T12 en G5 Ring se desgaste de forma anticipada, se quiebre o despunte y no llegue a su vida útil de 350 unidades, se realiza una reunión con el líder del área, mecánico de precisión experto del producto, supervisor, técnico de calidad, ingeniero de manufactura e ingeniero de calidad del producto, En ella se describe la problemática y de esa manera inicia la generación de ideas con el fin de encontrar la causa raíz.

Enseguida se presenta las posibles causas encontradas por los colaboradores mencionados.

Tabla 4.1: Lluvia de ideas para el desgaste T12

Lluvia de Ideas
Condiciones de corte inadecuadas
La herramienta queda floja a la hora de ponerla
No se establece bien el punto cero de la herramienta
El material de la herramienta no es el indicado para cromo
No se realiza el ajuste correcto en las unidades
Mal ajuste del guide bushing y presiones
Mal diseño de herramienta
No se entrena correctamente a la persona
El material de la barra cromo cobalto que se utiliza es muy duro
Aditamento en mal estado

Fuente: autor.

Como parte de la sesión realizada se obtiene diez causas posibles para el actual problema, relacionado con el frecuente cambio de la herramienta T12.

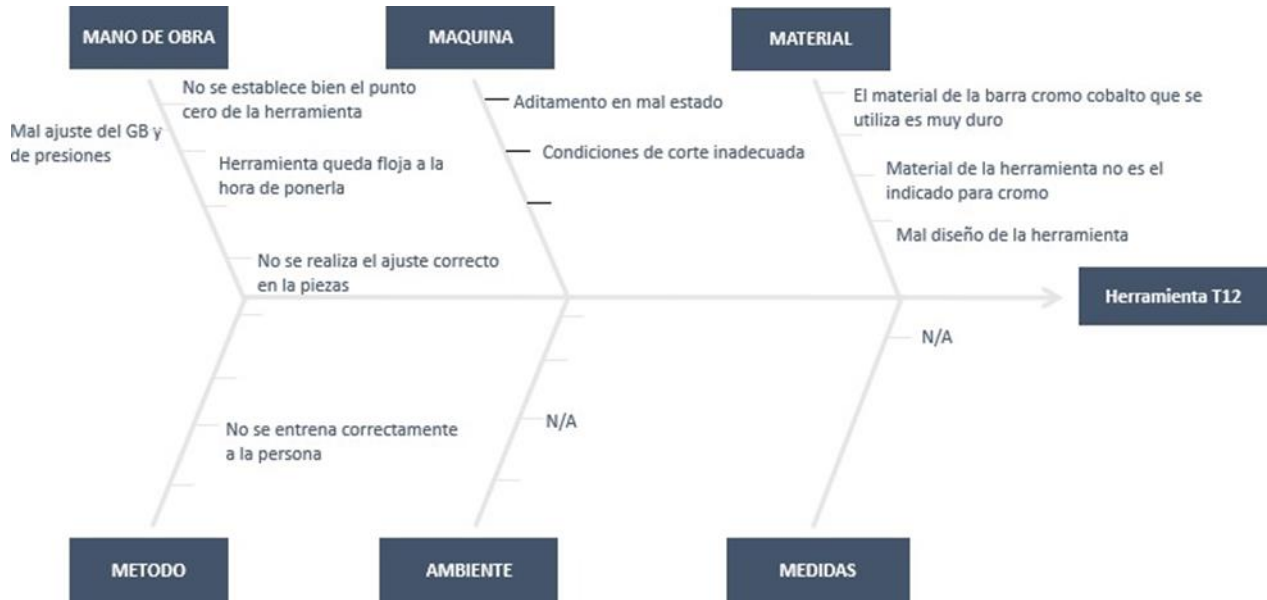
De acuerdo con la tabla 4.1 se toma las ideas propuestas por los participantes de la sesión y se otorga una clasificación a cada una de ellas por medio del diagrama causa y efecto.

4.1.2 Diagrama Causa-Efecto

Una vez creada la lluvia de ideas, con la información recolectada se procede a realizar un diagrama Ishikawa o causa-efecto, con los posibles causantes y más contribuyentes del desgaste de la herramienta bajo investigación. Se van a clasificar según las siguientes categorías: máquina, medio ambiente, método, hombre, medición y máquina (según aplique). Además, las ideas con afinidad van a ser agrupadas.

En la siguiente figura se muestra las principales causas.

Figura 4.1: Diagrama Causa y Efecto-Desgaste la herramienta T12



Fuente: Autor.

De inmediato se detalla el análisis realizado para cada clasificación del diagrama:

Material

El material de la herramienta no es el correcto, la herramienta no está diseñada con las aleaciones correctas para poder mecanizar el cromo cobalto, por ende, la herramienta se desgasta con facilidad y se despunta de manera muy frecuente sin llegar a su vida útil de 350 unidades, una herramienta con mejores materiales permite poder alcanzar resultados superiores.

El material cromo cobalto es muy duro, por si solo es más que el aluminio o titanio, pero es posible el material llegue con más dureza de lo normal, por ende, siempre se revisa la dureza en un muestreo de barras para evitar venga con mucha dureza.

Mal diseño de la herramienta, la herramienta se puede encontrar mal diseñada, lo cual puede hacer no trabaje con mayor afinidad.

Máquina

Aditamento en mal estado: los aditamentos donde van montada la herramienta pueden estar en mal estado y, generar vibraciones al girar la herramienta, por eso se les hace un mantenimiento preventivo mensual donde se revisa qué tan bien están los aditamentos.

Condiciones de corte inadecuadas, las condiciones de corte no son las correctas, esto siempre va ligado a tres variables, las revoluciones por minuto de la herramienta, el avance de la máquina y las condiciones de giro, si lo hace hacia el lado correcto. Si alguna de estas variables falla, afecta la herramienta y las unidades.

Método

No se entrena a la persona correctamente, si el método para entrenar a una persona no es el correcto puede generar problemas como no darle el cero correcto a la herramienta, también que la herramienta quede floja o la golpee cuando monta la herramienta nueva.

Mano de obra

Ajustes por parte del operario no son los correctos, mano de obra engloba diferentes puntos, ajustes incorrectos de la unidad, mal ajuste del Guide bushing o herramienta queda floja, estos pueden generar un desgaste y un uso incorrecto de la herramienta. Lo anterior genera esta no trabaje de la mejor manera posible.

4.1.3. Multivotación

Enseguida, con la información ya segregada por categoría se realiza una votación con los expertos del área: ingeniero de calidad, ingeniero de manufactura, líder del área, mecánico experimentado y el supervisor, con el fin de dar importancia y peso a las ideas propuestas en la lluvia de ideas y en el diagrama causa-efecto. Este puntaje se basa en el análisis mencionado para cada variable.

Tabla 4.2: Tabla de multivoto-Causas-Desgaste T12

Causas	Ingeniero Manufactura	Ingeniero Calidad	Supervisor	Líder	Mecánico Experimentado	Total Puntos
El material de la herramienta	9	9	6	9	9	42
Ajustes incorrectos GB presiones	3	3	3	3	0	12
Mal diseño de la herramienta	6	6	6	6	6	30
Barra de material muy duro	0	0	3	0	3	6

Fuente: autor

Este evento consiste en dar un total de 18 puntos a los cinco colaboradores, como se tiene cuatro causas asignadas de cuatro valores.

Tabla 4.3: Puntaje y valor para análisis de multivotación

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

Fuente: Autor.

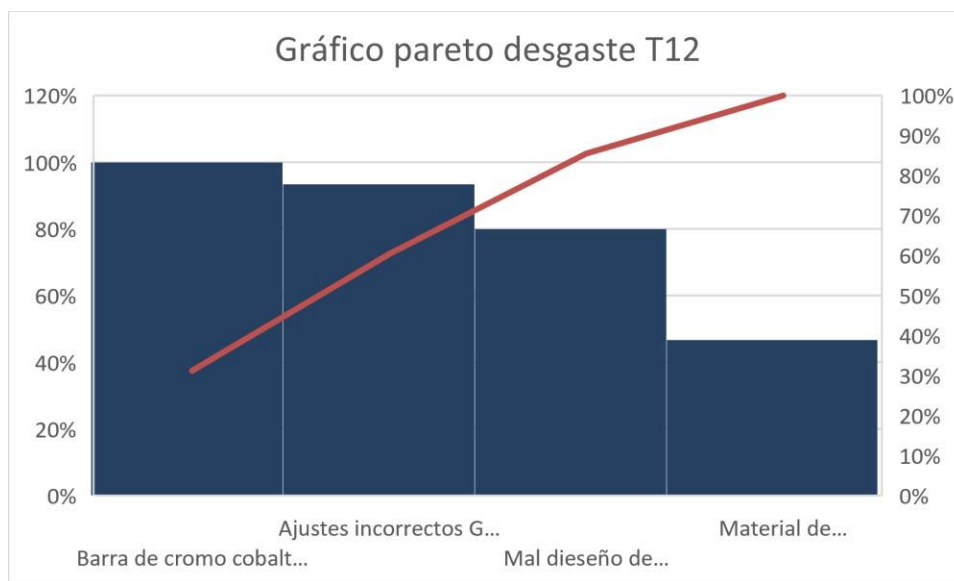
Tabla 4.4: Resumen Multivoto para graficar

Causas	Puntaje	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Material de herramienta no apropiado	42	47%	47%
Mal diseño de herramienta	30	33%	80%
Ajustes incorrectos GB presiones	12	13%	93%
Barra de cromo cobalto muy duro	6	7%	100%

Fuente: Autor

4.1.4. Gráfico de Pareto

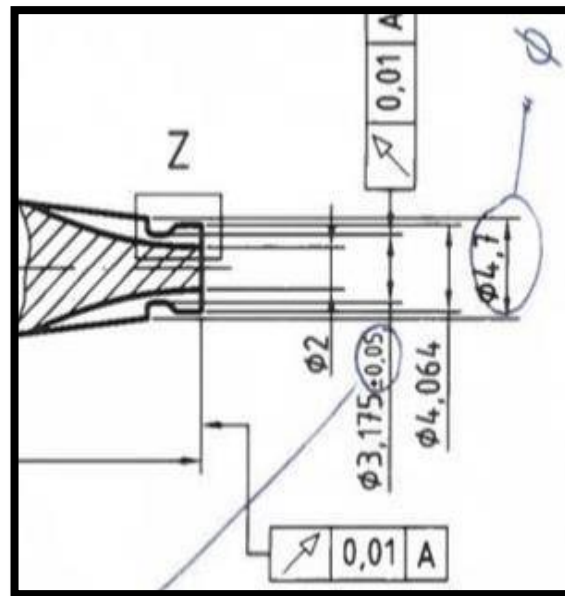
Figura 4.2: Gráfico de Pareto para las causas del Desgaste T12



Fuente: Autor.

Como se muestra en el gráfico de Pareto, se encuentra que el mal diseño de la herramienta y el material de la herramienta inapropiado para el maquinado de este producto en material cromo cobalto, son dos causas raíz, pues se encuentran para abajo del 80%

Figura 4.3: Diseño actual de la herramienta T12



Fuente: Departamento de ingeniería. MTD Medical Costa Rica.

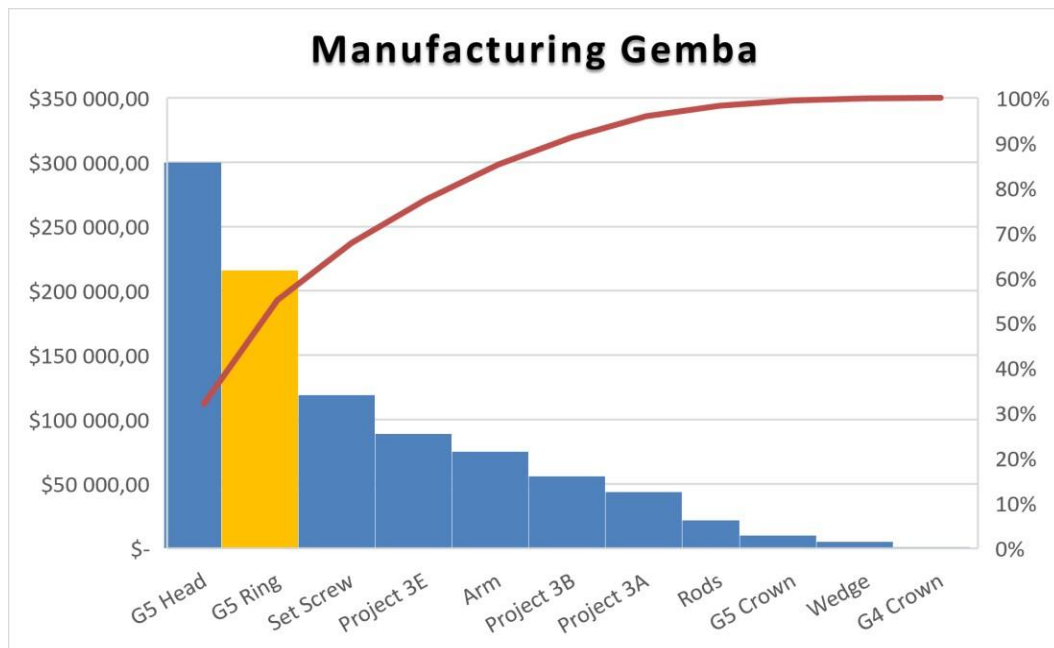
En la figura anterior se muestra el diseño actual de la herramienta T12, posee un diseño adecuado a simple vista con la pieza, pero ello se ve en a medida que da la ranura, dice que es de 3.175mm, cuando la medida nominal de plano es la misma, lo cual limita para poder ajustar la pieza de manera correcta, pues no es mucha la tolerancia. También el suplidor de esta herramienta es EMUGE, de acuerdo con las especificaciones que da el fabricante la herramienta está diseñada para trabajar titanio de una mejor manera, sin embargo, puede servir para materiales duros como el cromo cobalto.

4.2 MEDIR

Para esta etapa se utiliza la base de datos históricos del periodo de noviembre 2023 a enero 2024, con la intención de medir el impacto del alto consumo de la actual herramienta. Además, en esta etapa se realiza el estudio en el área de K16, específicamente en G5 Ring y en la herramienta T12.

Para el periodo de noviembre 2023 a enero 2024, en la planta de MTD Medical se tiene un consumo total de \$937,000.00 en cambios de herramienta.

Figura 4.5: Costo por Número de Parte de agosto 2023 a enero 2024



Fuente: Autor.

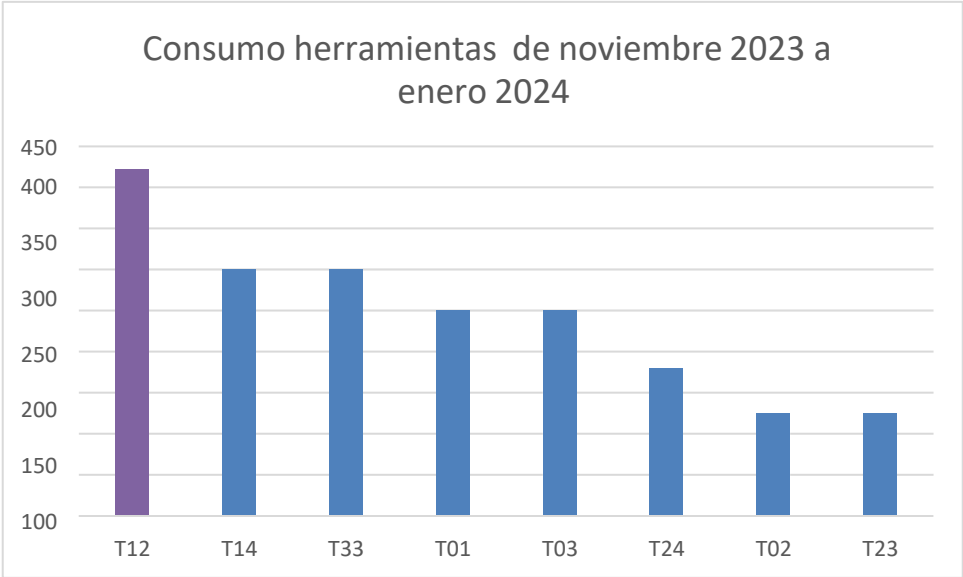
Como se logra apreciar en la figura 4.5, el producto G5 Ring se encuentra en el Segundo lugar con un costo total de \$216,000.00 durante el último bimestre del año 2023 y el primer mes del año 2024.

Esto es un proyecto asignado por el departamento de ingeniería de MTD, por esa razón no se hizo el proyecto contemplando el primer lugar en consumo de herramientas, el cual es G5 Head

4.2.1 Medición de Consumo

Para el periodo mencionado, la herramienta T12 (MT196698), utilizada en el producto M424990B015 (G5 Ring), se consume un total de 422 veces.

Figura 4.6: Consumo de Herramientas-G5 Ring de noviembre 2023 a enero 2024



Fuente: Autor.

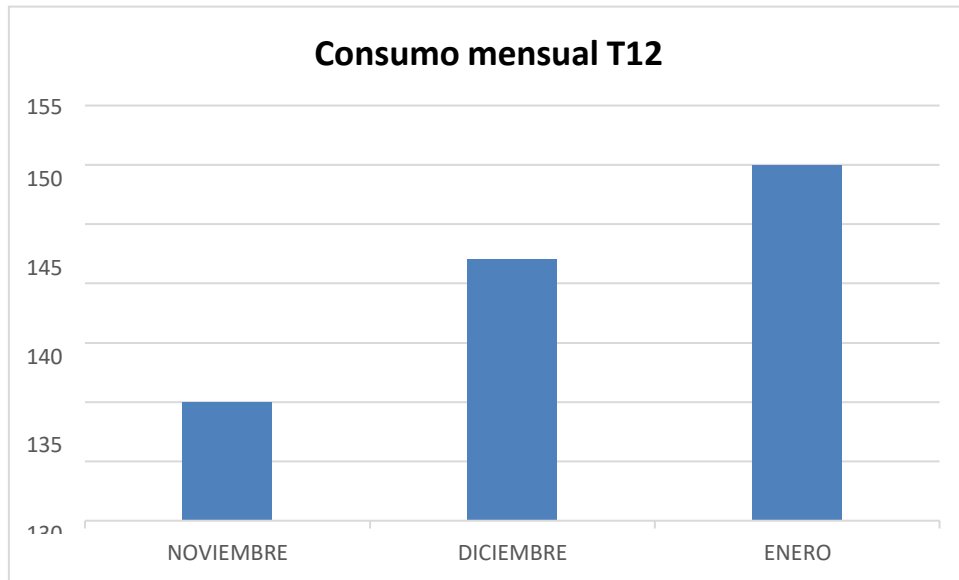
Según se muestra en la figura 4.6, la T12 es la primera herramienta con mayor consumo, como se menciona al inicio de esta etapa (medir) al ser un proyecto asignado, la herramienta T12 es la establecida por Ingeniería de manufactura de MTD Medical para hacer la actual investigación.

4.2.3 Medición de Costos

De acuerdo con la figura 4.6 en tres meses se tiene un consumo total de 422 veces la herramienta bajo investigación, el costo unitario de cada una es de \$47.55. Por ello, para este periodo hay un costo total de \$20,066.01.

A continuación, se detalla el consumo por cantidad de unidades en cada mes.

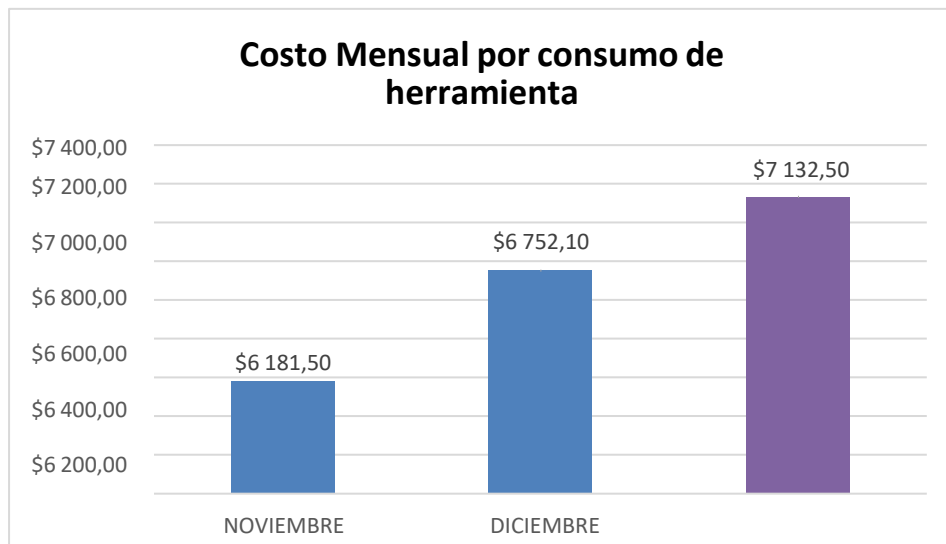
Figura 4.7: Consumo de herramienta T12 mensual de G5 Ring



Fuente: Autor.

A continuación, se detalla el costo mensual de consumo.

Figura 4.8: Costo de herramienta T12 mensual de G5 Ring



Fuente: Autor.

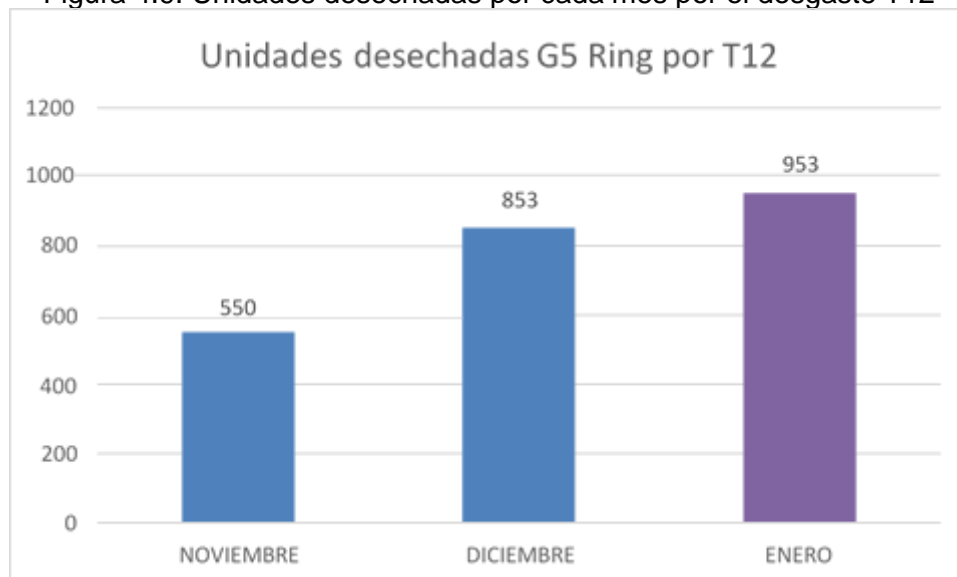
De acuerdo con las imágenes 4.7 y 4.8 al obtener el detalle de consumo por cada mes, se logra apreciar:

- Noviembre se consume 130 veces, costo total \$6,181.50
- Diciembre se consume 142 veces, costo total \$6,752.10
- Enero se consume 150 veces, costo total \$7,132.50 siendo este el mes que más se consumió herramientas T12.

4.2.4 Medición de Desechos (scrap)

Al despuntarse o quebrarse una herramienta provoca se produzca unidades malas o fuera de especificación, por lo tanto, este material debe ser desechado. Durante este periodo se tiene un total de 2356 unidades desechadas

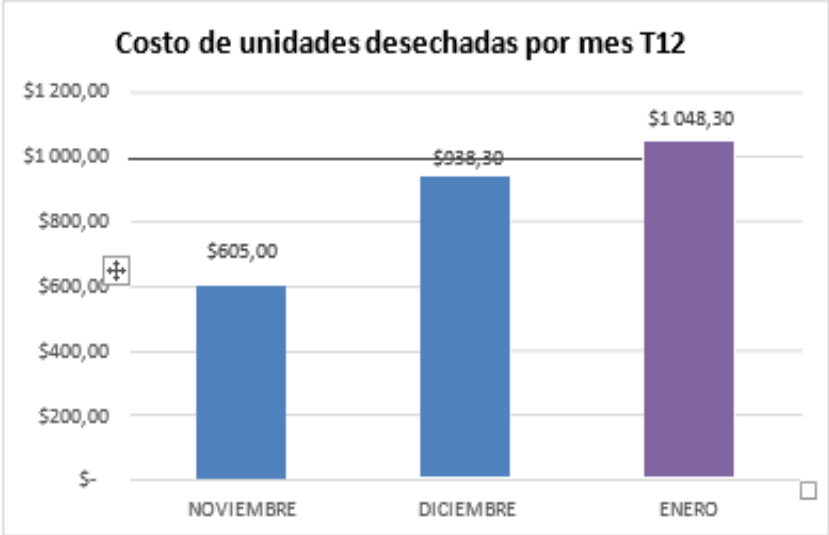
Figura 4.9: Unidades desechadas por cada mes por el desgaste T12



Fuente: Autor.

Como se observa en la figura 4.9 estas unidades desechadas por mes representan un costo total de \$2,591.6, pues el costo unitario de cada unidad es de \$1.10.

Figura 4.10: Costo de unidades desechadas cada mes por el desgaste T31



Fuente: Autor.

Con base en el procedimiento, la herramienta T12 tiene una vida útil de 350 unidades. Lo anterior se refiere a que esta herramienta debería ser reemplazada cada vez se produzca esa cantidad de unidades.

4.2.5 Medición de Impacto de los cambios realizados

Según la base de datos de MCR Medical la producción en unidades por cada mes es la siguiente.

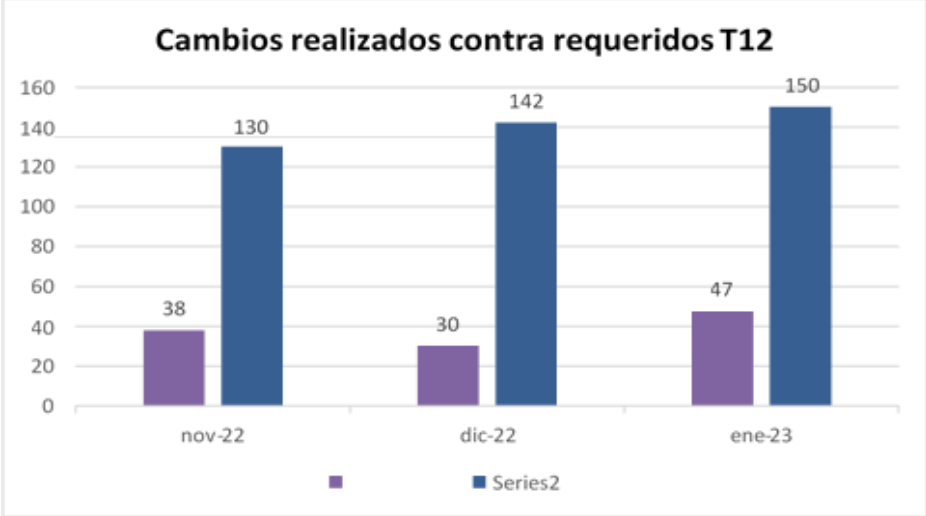
Tabla 4.5: Producción de unidades mensual

Mes Fiscal	Unidades producidas
Noviembre 2023	13,250
Diciembre 2023	10,500
Enero 2024	16,600

Fuente: Departamento de producción, MTD Medical Costa Rica.

Al tomar la cantidad de unidades producidas cada mes, junto con la vida útil que debería presentar la herramienta, se puede observar la actual deficiencia y problemas los cuales presenta la herramienta T12.

Figura 4.11: Cambios realizados contra cambios teórico-requeridos de T12



Fuente: Autor.

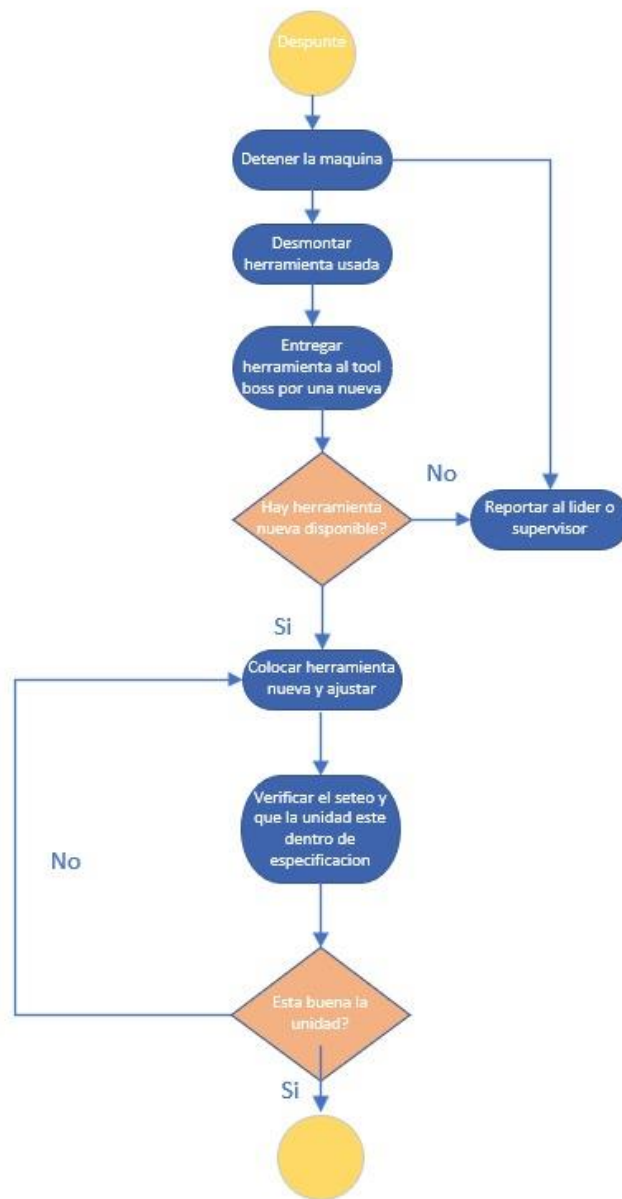
Como se muestra en la figura 4.11, la herramienta T12 se cambia más cantidad de lo debido con base en la producción realizada, en morado se muestra los cambios teóricos requeridos por la vida útil de la herramienta y según la producción obtenida. En azul, la cantidad de cambios realizados, con base en lo anterior, la herramienta se cambia antes de las 350 unidades. Lo cual se tiene como su vida útil.

4.3. ANALIZAR

4.3.1 Diagrama de flujo

A continuación, se muestra el proceso de cambio de herramienta.

Figura 4.12: Diagrama de Flujo para el cambio de herramienta T12



Fuente: Autor.

Como se observa en la figura 4.12 el proceso inicia en el momento en el cual la herramienta se despunta, se quiebra o cae debido a la alarma de la máquina por vida útil de la herramienta a las 350 unidades, lo primero que debe hacer el mecánico o persona designada para el desmontaje y montaje de la herramienta, quien se encuentra trabajando en la máquina, es detenerla. Luego se dirige a la caja de herramientas para buscar lo necesario con el fin de poder desmontar la fresa de la máquina.

Ya con la herramienta fuera de la máquina se debe dirigir al cuarto de herramientas (Tool Boss) para hacer entrega de la usada y el retiro de una nueva. De seguido, el mecánico se dirige a la máquina y realiza el montaje de la nueva, el cual también debe setear o darle el punto parecido a como estaba la herramienta usada.

Como parte del proceso final se realiza el ajuste a la máquina y se asegura la primera unidad que sale de la maquina con la herramienta nueva, se encuentre dentro de especificación. Para el presente trabajo de investigación el mecánico a cargo debe asegurar la dimensión número siete se encuentre dentro de especificación, la cual se revisa con un pin pasa no pasa (pin gage go no go), y las dimensiones 9 y 11 que se revisan con una lámina llamada overlay, con las formas de los radios de la pieza en un comparador óptico.

Si al medir la unidad y las dimensiones relacionadas con el ajuste final se encuentran dentro de la especificación, el proceso de cambio de herramienta termina y se continúa corriendo la máquina.

4.3.2 Análisis Es-No Es

Para analizar de mejor forma el problema se realiza un análisis es-no es.

Tabla 4.6: Análisis Es-No Es

Enfoque	Es	No Es
¿Qué?	Desgaste frecuente de la herramienta T12	Fallo dimensional en las unidades
¿Dónde?	G5 Ring	En los restantes productos del área k16
¿Cuándo?	Periodo de noviembre 2023 a enero 2024	Durante el resto del año 2024
¿Quién?	Departamento Ingeniería de manufactura	Los demás departamentos

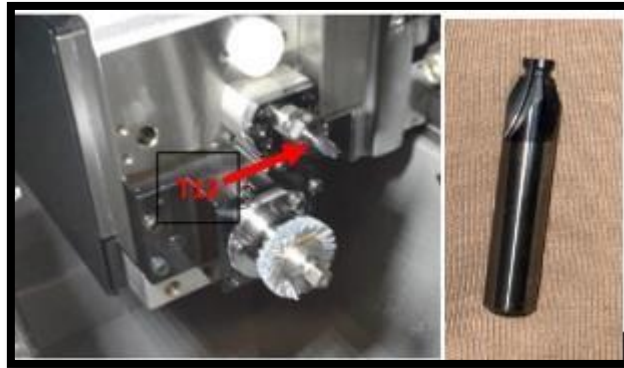
¿Cuánto?	Se ha consumido 422 veces en G5 Ring	Las 350 veces que se debería de consumir según el estandar
¿Cuánto?	Un costo total de \$20,066.01	Los \$98,521.10 del consumo total de herramientas
<p>En la empresa MCR Medical, durante el periodo de Noviembre 2023 a enero 2024, el departamento de Ingeniería de manufactura identifica un alto consumo de la herramienta T12 en G5 Ring, con un total de 422 herramientas consumidas y un costo de \$20,066.01</p>		

Fuente: Autor.

Para el tercer cuarto del año fiscal 2024, se tiene un alto consumo de herramienta en el producto G5 Ring, en donde el total en costos asciende a \$98,521.10 en un periodo de tiempo de tres meses (noviembre 2023 a enero 2024) representando un 15% del total de costos por cambios de herramienta.

Como principal contribuyente al alto consumo de herramienta, se tiene la herramienta T12 (MT199014), la cual se ha consumido un total de 422 veces, en el periodo de tiempo mencionado.

Figura 4.13: Herramienta T12 (MT358211)



Fuente: Producción MTD.

Como se muestra en la figura 4.2 la herramienta T12 es una fresa de forma y es parte del proceso de maquinado del producto G5 Ring (ver anexo 3).

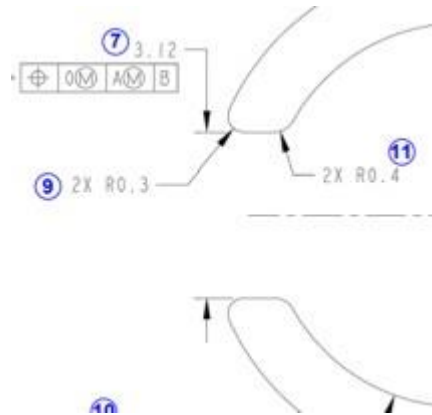
Figura 4.14: G5 Ring-M424990B015



Fuente: Producción MTD.

El producto G5 Ring es mecanizado con base en una barra de aleación Cocr Cromo Cobalto y es uno de los productos que se procesa en gran cantidad ante su alta demanda por parte del cliente. La herramienta T12 es la encargada de maquinar parte de la ranura de la "C" y dimensiones en específico.

Figura 4.15: G5 Ring 5.5-M424990B015-Dimensiones 7-9-11



Fuente: Ingeniería de manufactura MTD.

Como se observa en la figura 4.4, la herramienta T12 se relaciona directamente con las dimensiones número 7, 9 y 11. Al ser una herramienta de forma, para que realice la ranura que corresponde a la Dim 7 y de una vez la forma de los radios Dim 9 y Dim 11, se encarga de que se cumpla dichas especificaciones y cualquier variante en el proceso de corte de la herramienta puede hacer se encuentre fuera de lo especificado por el cliente.

4.1.2 FODA

Para finalizar la etapa de definir se realiza un análisis FODA, con la intención de analizar la situación actual en G5 Ring.

Tabla 4.7: Análisis FODA para el área de K16 G5 Ring.

FODA	Fortalezas <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad operativa para la ejecución del proceso • • Solvencia financiera en nuevos proyectos 	Debilidades <ul style="list-style-type: none"> • Herramienta con bajo rendimiento • Personal nuevo con poca experiencia en el proceso
	Oportunidades <ul style="list-style-type: none"> • Costos operativos más competentes. • Tener mejores indicadores de calidad en relación con la competencia. • Mejorar la satisfacción del cliente. 	Amenazas <ul style="list-style-type: none"> • Incremento del costo de herramienta de corte en el mercado. • Dependencia de proveedor externo de las herramientas.

Fuente: Autor.

Como se observa, en la tabla 4.7 se describe cada una de las variables del FODA, Se empieza con:

Fortalezas: Capacidad operativa para la ejecución del proceso: la línea de producción en G5 Ring cuenta con un mecánico por cada máquina y esto hace la capacidad operativa sea alta.

Unidades dentro de especificación: los mecánicos son entrenados para producir con calidad y así, las unidades cumplan con los requisitos del cliente.

Solvencia financiera en nuevos proyectos: MTD Medical es una empresa en donde los

proyectos de mejora son muy apoyados, con una buena propuesta siempre se da el apoyo financiero.

Debilidades:

Herramientas con bajo rendimiento: actualmente la herramienta T31 no está cumpliendo las expectativas y hace el proceso no sea lo suficientemente efectivo.

Personal nuevo con poca experiencia en el proceso: gran parte de los mecánicos son muchachos (as) recién graduados de colegios vocacionales.

Oportunidades:

Herramientas con mejor rendimiento. Reducción de unidades desechadas. Aumentar la eficiencia del proceso.

Reducción de costos.

Las tres anteriores tienen una relación directa, pues el bajo rendimiento de la herramienta tiene relación directa con la cantidad de unidades que se debe desechar y hace el proceso sea menos eficiente, por cuanto se debe detener más seguido para realizar el cambio respectivo y se produce costo más alto al haber mayor consumo de herramienta y unidades desechadas.

Amenazas:

Incremento del costo de las herramientas: debido a situaciones macroeconómicas se podría tener un aumento en su precio.

Dependencia de proveedor externo de las herramientas: actualmente se tiene un único proveedor para la herramienta T31.

Con el análisis anterior se procede a realizar una matriz estratégica, la intención es atender cada una de las variables del FODA,

CAPÍTULO V. PROPUESTA

Según se observa en el capítulo cuatro, se tiene dos causas por abordar con la intención de reducir los problemas del constante cambio de herramientas.

1. El material de la herramienta no es el apropiado.
2. Mal diseño de la herramienta.

Estas dos son la causa raíz de la investigación, al provocar el desgaste prematuro de la actual herramienta.

A continuación, se desarrolla con detalle soluciones para las causas más críticas (mayor porcentaje en el Pareto), agrupadas o individuales.

5.1 MEJORAR

En esta etapa de la metodología DMAIC se propone soluciones, las cuales solventen la problemática expuesta en el capítulo anterior.

5.1.1 Propuesta

Para las dos causas raíz se propone cambiar la herramienta por una con mejores condiciones en cuanto a material y, además, se pueda adaptar de mejor forma a los requisitos del proceso y corte que se realiza (ver anexos 3 y 4). El actual problema con la herramienta T12 se presenta en el equipo de Mahar, actual proveedor de herramientas de la empresa: Con la opinión experta de ellos se presenta el problema con la actual herramienta y son quienes hacen la recomendación de una nueva que posea mejores características (ver anexo 4 para herramienta propuesta). A continuación, se observa una tabla comparativa de la herramienta anterior contra la herramienta por proponer.

Tabla 5.1: Comparativa de la herramienta actual contra la propuesta

Características	T12 Actual	T12 Propuesta
Suplidor	EMUGE	ISCAR
Material	Carburo de Tungsteno Carbide	Carburo de Tungsteno Carbide
Recubrimiento	ALTIN (aluminio titanio)	ALTIN (aluminio titanio)
		TiN (nitruo de titanio)
Cantidad de capas de recubrimiento	multicapa	multicapa
Diseño de la herramienta		
Vida útil Tool life en unidades	350	1000

Fuente: Ingeniería MDTCR Coyol.

Con respecto de esta comparativa, existen factores los cuales cambian un poco en cuanto del montaje de la herramienta, como se ve en los anexos (refiérase a anexo 3 y 4). El anexo 3 es la herramienta actual de EMUGE la cual es de espiga lisa, va sujeta al aditamento por una boquilla que al socar aprieta la espiga y se sujeta al aditamento. Esto puede producir que la distancia entre el punto cero donde debe quedar la herramienta varíe, pues al socar la espiga se puede hacer para atrás y para adelante, haciendo el ajuste de la herramienta en las dimensiones de la unidad, se vea afectado y sean difíciles de ajustar. En cambio, con la propuesta del anexo 4 la espiga es una rosca cónica, lleva igualmente una boquilla donde se adapta la herramienta y al socar al punto máximo, siempre va a quedar posicionada en el mismo punto haciendo que el ajuste no varíe mucho de una herramienta vieja a una herramienta

Nueva. Este es un aspecto importante, pues se lograría bajar el tiempo de cambio de la herramienta.

Las boquillas donde van sujetadas cambian de una herramienta a otra, eso implicaría un costo mayor para implementar la herramienta de rosca nueva, pero es un cambio que solo se hace una vez cada año, según recomienda el suplidor, mientras las boquillas diseñadas para la herramienta de espiga cilíndrica, la herramienta vieja, se debe cambiar cada dos meses, en un año se cambia seis veces la boquilla.

Tabla 5.2: Comparativa de la herramienta actual contra la propuesta

Características	Boquilla Actual	Boquillas Propuesta
Suplidor	EMUGE	ISCAR
Material	Acero S7	Acero D2
Recubrimiento	N/A	N/A
		N/A
Vida Útil	Cada 4 meses, 3 veces al año	1 vez al año
Diseño de la herramienta		
Precio	\$34.49	\$103.28

Fuente: Ingeniería MDTCR Coyol.

Como se observa, en la tabla 5.2 se encuentra dos boquillas por año, sería un costo de la EMUGE de \$103.47 y la de la ISCAR \$103.28, los precios de las dos herramientas varían mucho, pero con la diferencia de vida útil de cada una, al hacer la comparativa se nota que el gasto en boquillas sería igual y no va a haber afectación en los costos de implementación

5.2 CONTROLAR

Con el fin de controlar la cantidad de consumo para la herramienta propuesta, la empresa cuenta con un sistema automático en donde cada persona quien va a retirar una herramienta debe hacer una solicitud por medio del sistema, de lo contrario las herramientas no se entregan. Con base en lo anterior este sistema genera un reporte diario de consumo, el cual se envía al correo todos los días, por tres veces al día.

Tabla 5.3 Registro de consumo

Reporte Seguimiento Diario de Consumos							
Date - Time	Group	Item	Material	Machine	Cost	Qty	Total
2/2/2024 00:09	COLLET ER-16	MT154259	M424990B012	MCR-CNC-002	\$34.06	1	\$34.06
3/2/2024 00:09	DRILL	MT324184	M424980B004	MCR-CNC-005	\$45.73	1	\$45.73
4/2/2024 00:09	ENDMILL	MT234853	M424990B006	MCR-CNC-032	\$20.11	1	\$20.11
5/2/2024 00:09	INSERT	MT223863	M424980B002	MCR-CNC-036	\$21.99	1	\$21.99
6/2/2024 00:09	INSERT	MT228487	M424980B004	MCR-CNC-008	\$90.56	1	\$90.56
7/2/2024 00:09	INSERT	MT189821	M424990B012	MCR-CNC-025	\$29.19	1	\$29.19
8/2/2024 00:09	INSERT	MT74900	M424990B012	MCR-CNC-025	\$28.84	1	\$28.84
9/2/2024 00:09	FORM TOOL	MT230074	M424990B015	MCR-CNC-043	\$79.78	1	\$72.82
10/2/2024 00:09	INSERT	MT125847	M424990B015	MCR-CNC-043	\$23.78	1	\$23.78

Fuente: Tool Boss Mahar.

Como se detalla en la tabla 5.3 el reporte genera información detallada de la cantidad de herramientas consumidas, de esta forma se controla el consumo de herramienta y sus costos. Este reporte ya existe; pero no llega a la cantidad de personas necesaria para que se dé el correcto seguimiento al consumo detallado para cada herramienta en la empresa. por lo tanto, se realiza la respectiva escalación y se comenzará a ver este consumo todas las mañanas en el llamado “Tier 2” donde se comentará con líderes y supervisores.

Tabla 5.4: Diagrama de Gantt-Actividades de Implementación

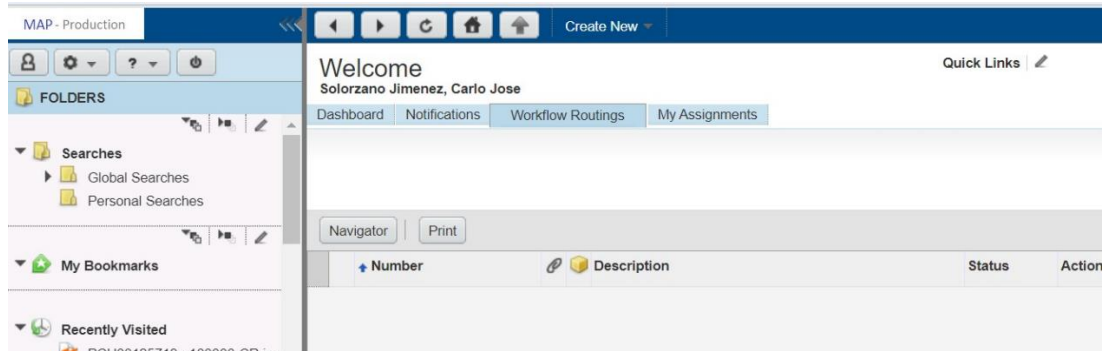
Task Mode	Status	% Complete	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
	Late	44%	Celda 4	142.5 days	Wed 11/1/23	Fri 5/24/24		
	Late	22%	Propuesta de implementacion T12	22.38 days	Wed 11/1/23	Fri 12/1/23		
	Complete	100%	Asignacion de proyecto	1 day	Mon 2/12/24	Tue 2/13/24		Carlo
	Complete	100%	Inicio de proyecto	1 day	Tue 2/13/24	Wed 2/14/24		Carlo
	On Schedule	50%	Prueba de ingenieria	45 days	Wed 2/14/24	Mon 4/22/24		Carlo
	Complete	100%	Crear protocolo	1 day	Thu 2/15/24	Fri 2/16/24		Carlo
	Complete	100%	Aprobacion Protocolo	15 days	Fri 2/16/24	Fri 3/8/24		Carlo
	Complete	100%	Correr protocolo	1 day	Fri 2/23/24	Mon 3/11/24		Carlo
	Complete	100%	Cotizacion de proveedor	2 days	Mon 3/4/24	Tue 3/5/24		Carlo
	On Schedule	7%	Realizacion de herramienta	30 days	Wed 3/6/24	Fri 4/19/24	13	Carlo
	Complete	100%	Actualizacion de procedimientos	2 days	Fri 3/8/24	Mon 3/11/24		Carlo
	Complete	100%	Entrenamientos	2 days	Tue 3/12/24	Wed 3/13/24		Carlo
	Complete	100%	Compra de 30 herramientas	2 days	Wed 11/1/23	Thu 11/2/23		Carlo
	Late	0%	Project Completed	138 days	Wed 11/1/23	Fri 5/17/24		All

Fuente: Autor.

Según se muestra en la figura 5.6 es necesario un total de 138 días o casi cinco meses, para la implementación de la herramienta propuesta. Este tiempo es necesario, pues un cambio de herramienta que afecta directamente en el proceso de mecanizado, se considera un cambio mayor y debe llevarse a través de una solicitud de control de cambio (CCR), donde se debe realizar un protocolo, evidencias de lo importante y los beneficios de este cambio, sin afectar la calidad.

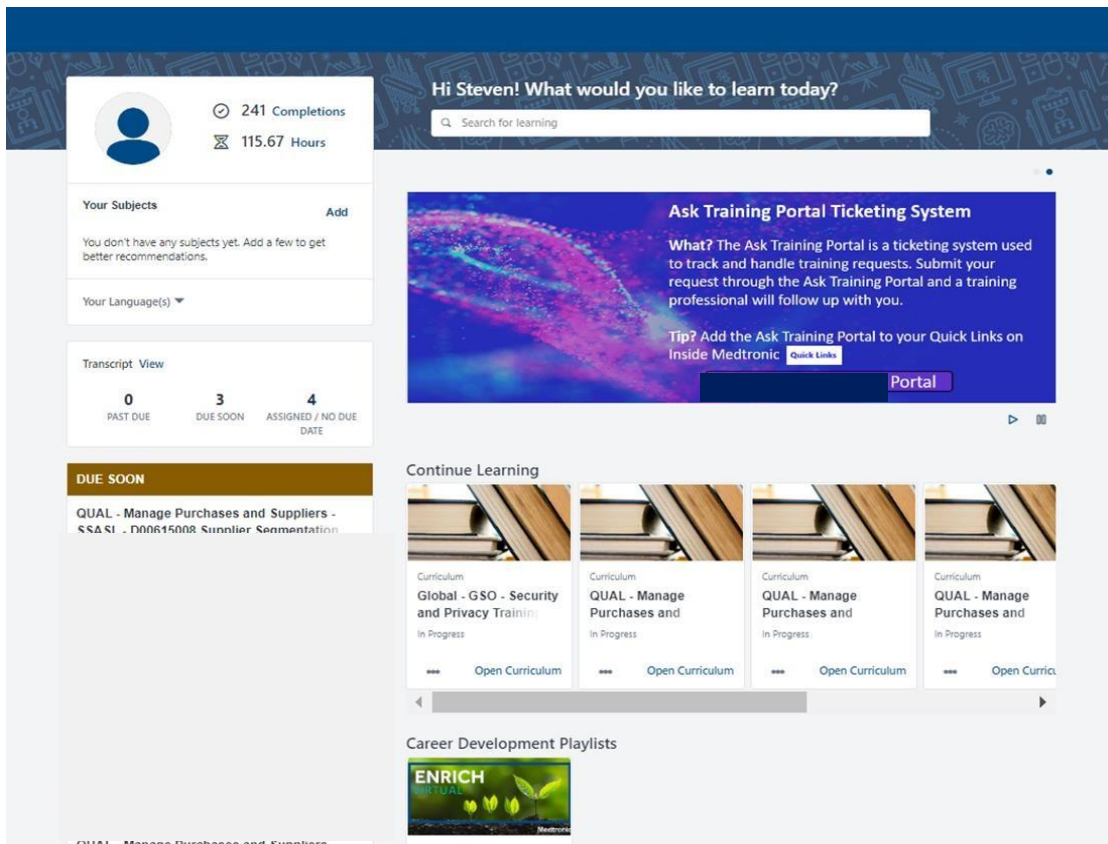
Para la última acción, es necesario actualizar los procedimientos que llamen a la herramienta T12, donde se debe agregar la nueva herramienta y haga referencia siempre de poder usar las dos alternativas, por si en algún momento existe algún problema para suplir alguna herramienta. El cambio de la nueva herramienta por medio del sistema de la empresa llamado "Agile MAP", donde este lo carga a "Cornestone", se sube todos los cambios de procedimientos realizados en la empresa y se cargan de forma automática al personal.

Figura 5.1: Sistema de ingreso de CCR y Procedimientos



Fuente: MTD Medical.

Figura 5.2: Sistema de entrenamiento Cornestone



Fuente: MTD Medical.

Como se muestra en la figura 5.7 donde se realiza el CCR y se actualiza todos los procedimientos y de ahí se carga todos los entrenamientos en el sistema cornestone, (figura 5.8) automáticamente y deben completarse en un periodo definido, de esta forma se hace la divulgación a todo el personal.

Finalmente se muestra un cuadro comparativo de costos y consumos de la herramienta bajo investigación, contra la propuesta realizada.

Tabla 5.5: Resumen de la herramienta actual contra la propuesta

Cuadro Comparativo		
Características	T12 Actual-Promedio	T12 Propuesta
Vida útil unidades	250	1000
Consumo Mensual	90	20
Costo por herramienta	\$47,55	\$76,51
Costo por Unidad	\$0,14	\$0.08
Costo mensual actual por 20000 unidades	\$4 279,5	\$1 530,2
Costo Boquilla	\$34,49	\$103,28
Vida Util Boquilla	3 Veces al año	1 vez al ao

Fuente: Autor.

Finalmente, como se observa en la tabla 5.8 se cumple el objetivo general del proyecto de investigación relacionado con la reducción de, al menos, un 50% del consumo y gasto mensual de la herramienta, durante el proceso de manufactura en el producto G5 Ring y, se logra observar una reducción de más del 50% en estas dos variables. Se debe tener en cuenta que es necesario sumar el precio de la boquilla, aun así, con ese precio la reducción es de más del 50%

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

Conclusiones

- Se logra plantear una alternativa de solución, donde se obtiene una reducción en costo mensual aproximadamente del 65%, pasa de un gasto de \$4 279.5 a \$1,530.2.
- Con base en la alternativa de solución se observa una reducción en consumo de la herramienta correspondiente a un 78%; pasa de un promedio de consumo de 90 herramientas a 20 mensuales.
- Se define el actual problema con la herramienta T12, como es su alto consumo, el desgaste de forma prematura y la gran deficiencia de la herramienta durante el proceso de mecanizado en el producto G5 Ring.
- Al analizar las diferentes causas propuestas por el equipo se determina: las dos principales en propiciar el constante desgaste de la herramienta son: el material de la herramienta no es el apropiado y las condiciones-proceso de corte que realiza son muy exigentes para la herramienta bajo investigación.
- Se realiza la propuesta de cambiar la herramienta por una nueva, la cual presenta mejoras en cuanto a materia prima y diseño. Para lograr este objetivo se necesita una inversión.

Recomendaciones

- Se recomienda hacer un análisis de las herramientas que más se consume en la planta, por lo menos una herramienta de cada producto, así se observa cómo bajar significativamente los costos y aumentar la eficiencia,
- Se recomienda para la tercera causa relacionada con ajustes incorrectos, hacer refrescamientos mensuales a todos los mecánicos del área, pues muchos de ellos son recién graduados de colegios vocacionales e inexpertos en el proceso.
- Se recomienda aplicar este análisis para la planta hermana de Humacao, donde también se elabora este producto.

- Se recomienda reforzar el entrenamiento para el personal nuevo, por cuanto no hay un tiempo definido para este proceso y no se cuenta con entrenadores certificados y alineados al sistema.
- Se recomienda llevar un mejor seguimiento del reporte diario de herramientas, con la intención de prevenir situaciones similares en otros productos.

REFERENCIAS

Libros

- Molina, Z. (1997). Planeamiento Didáctico: Fundamentos, principios, estrategias y procedimientos para su desarrollo. Primera Edición, EUNED: San José, Costa Rica.
- Niebel, B. y. (2001). Ingeniería Industrial: métodos de trabajo, estándares y diseño industrial. MC Graw Hill.
- Ocampo, J., & Pavón, A. (2012). Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim . Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology.
- Ruiz, A., & Rojas, F. (2009). *Herramientas de Calidad*. Universidad Pontificia Comillas.
- Rustom J., A. (2012). Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia.

Proyectos de investigación

Alvarez Lino, A. A. (Junio de 2013). CONTROL DE CALIDAD COMO UNA HERRAMIENTA ADMINISTRATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS DE MADERA, EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO. Quetzaltenango, Guatemala.
<http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/01/01/Alvarez-Amalia.pdf>

Alvarez Lino, A. A. (Junio de 2013). CONTROL DE CALIDAD COMO UNA HERRAMIENTA ADMINISTRATIVA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS DE MADERA, EN LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO. Quetzaltenango, Guatemala.
<http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/01/01/Alvarez-Amalia.pdf>

Flores Galvan, C. (Abril de 2015). ANÁLISIS DEL DESGASTE PROGRESIVO EN LA HERRAMIENTA DE MAQUINADO UTILIZANDO LA ECUACIÓN DE TAYLOR.

México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7626/tesis.pdf>

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

Fuentes de Internet

Herramientas-para-el-ingeniero-industrial/diseño-y-distribución-en-planta /Recuperado 27/11/2020 14:29 www.ingenieriaindustrialonline.com/

Manufacturing Terms. (s. f.). DMAIC. Recuperado el 26 de mayo del 2020, de <https://www.manufacturingterms.com/Spanish/DMAIC.html>

Niebel, B.W, Freivalds, A. (2009). Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo. México, D.F: McGraw-Hill.

Psicología y Mente. (s.f.). *Registro anecdótico: qué es y cómo se usa en psicología y educación*. Recuperado de <https://psicologiaymente.com/clinica/registro-anecdótico>

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

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: Lluvia de ideas

Lluvia de Ideas
Condiciones de corte inadecuadas
La herramienta queda floja a la hora de ponerla
No se establece bien el punto cero de la herramienta
El material de la herramienta no es el indicado para cromo
No se realiza el ajuste correcto en las unidades
Mal ajuste del guide bushing y presiones
Mal diseño de herramienta
No se entrena correctamente a la persona
El material de la barra cromo cobalto que se utiliza es muy duro
Aditamento en mal estado

APÉNDICE 2: Gantt

Task Mode	Status	% Complete	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
	Late	44%	Celda 4	142.5 days	Wed 11/1/23	Fri 5/24/24		
	Late	22%	Propuesta de implementacion T12	22.38 days	Wed 11/1/23	Fri 12/1/23		
	Complete	100%	Asignacion de proyecto	1 day	Mon 2/12/24	Tue 2/13/24		Carlo
	Complete	100%	Inicio de proyecto	1 day	Tue 2/13/24	Wed 2/14/24		Carlo
	On Schedule	50%	Prueba de ingenieria	45 days	Wed 2/14/24	Mon 4/22/24		Carlo
	Complete	100%	Crear protocolo	1 day	Thu 2/15/24	Fri 2/16/24		Carlo
	Complete	100%	Aprobacion Protocolo	15 days	Fri 2/16/24	Fri 3/8/24		Carlo
	Complete	100%	Correr protocolo	1 day	Fri 2/23/24	Mon 3/11/24		Carlo
	Complete	100%	Cotizacion de proveedor	2 days	Mon 3/4/24	Tue 3/5/24		Carlo
	On Schedule	7%	Realizacion de herramienta	30 days	Wed 3/6/24	Fri 4/19/24	13	Carlo
	Complete	100%	Actualizacion de procedimientos	2 days	Fri 3/8/24	Mon 3/11/24		Carlo
	Complete	100%	Entrenamientos	2 days	Tue 3/12/24	Wed 3/13/24		Carlo
	Complete	100%	Compra de 30 herramientas	2 days	Wed 11/1/23	Thu 11/2/23		Carlo
	Late	0%	Project Completed	138 days	Wed 11/1/23	Fri 5/17/24		All

APÉNDICE 3: Cuadro Comparativo

Cuadro Comparativo		
Características	T12 Actual-Promedio	T12 Propuesta
Vida útil unidades	250	1000
Consumo Mensual	90	20
Costo por herramienta	\$47,55	\$76,51
Costo por Unidad	\$0,14	\$0.08
Costo mensual actual por 20000 unidades	\$4 279,5	\$1 530,2
Costo Boquilla	\$34,49	\$103,28
Vida Util Boquilla	3 Veces al año	1 vez al ao

APÉNDICE 3: Diagrama Causa Efecto



APÉNDICE 5 Cuadro comparativo

Características	Boquilla Actual	Boquillas Propuesta
Suplidor	EMUGE	ISCAR
Material	Acero S7	Acero D2
Recubrimiento	N/A	N/A
Vida Util	Cada 4 meses 3 veces al año	1 vez al año
Diseño de la herramienta		
Precio	\$34.49	\$103.28

ANEXO 1: Agile MAP

The screenshot shows the Agile MAP web application interface. At the top, there is a navigation bar with the text "MAP - Production" and a "Create New" button. Below this, a sidebar on the left contains a "FOLDERS" section with sub-items: "Searches" (including "Global Searches" and "Personal Searches"), "My Bookmarks", and "Recently Visited". The main content area displays a "Welcome" message for "Solorzano Jimenez, Carlo Jose" and includes quick links for "Dashboard", "Notifications", "Workflow Routings", and "My Assignments". Below the welcome message, there are "Navigator" and "Print" buttons. At the bottom, a table header is visible with columns: "Number", "Description", "Status", and "Action".

Number	Description	Status	Action
--------	-------------	--------	--------

ANEXO 2: Cornestone

The dashboard features a blue header with the text "Hi Steven! What would you like to learn today?" and a search bar labeled "Search for learning". On the left, a user profile card shows "241 Completions" and "115.67 Hours". Below this are sections for "Your Subjects" (with an "Add" button), "Your Language(s)", and "Transcript View" with a table:

0	3	4
PAST DUE	DUE SOON	ASSIGNED / NO DUE DATE

A "DUE SOON" section lists "QUAL - Manage Purchases and Suppliers - SS&SI - D0061500R Supplier Segmentation". The main content area includes a "Ask Training Portal Ticketing System" banner with a "Portal" button and a "Continue Learning" carousel with four curriculum cards, each with an "Open Curriculum" button. A "Career Development Playlists" section is partially visible at the bottom.

ANEXO 3: Consumo de herramienta tool boss

Reporte Seguimiento Diario de Consumos							
Date - Time	Group	Item	Material	Machine	Cost	Qty	Total
2/2/2024 00:09	COLLET ER-16	MT154259	M424990B012	MCR-CNC-002	\$34.06	1	\$34.06
3/2/2024 00:09	DRILL	MT324184	M424980B004	MCR-CNC-005	\$45.73	1	\$45.73
4/2/2024 00:09	ENDMILL	MT234853	M424990B006	MCR-CNC-032	\$20.11	1	\$20.11
5/2/2024 00:09	INSERT	MT223863	M424980B002	MCR-CNC-036	\$21.99	1	\$21.99
6/2/2024 00:09	INSERT	MT228487	M424980B004	MCR-CNC-008	\$90.56	1	\$90.56
7/2/2024 00:09	INSERT	MT189821	M424990B012	MCR-CNC-025	\$29.19	1	\$29.19
8/2/2024 00:09	INSERT	MT74900	M424990B012	MCR-CNC-025	\$28.84	1	\$28.84
9/2/2024 00:09	FORM TOOL	MT230074	M424990B015	MCR-CNC-043	\$79.78	1	\$72.82
10/2/2024 00:09	INSERT	MT125847	M424990B015	MCR-CNC-043	\$23.78	1	\$23.78