

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROPUESTA DE MEJORA PARA  
AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN  
EL PROCESO “P” DE LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN “B” DE BOSTON  
SCIENTIFIC PARA EL TERCER  
CUATRIMESTRE DEL 2022

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR  
POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESTUDIANTE: HAIDA BADILLA BADILLA

TUTOR: ING. DEYNA MORA MONTERO

HEREDIA, OCTUBRE, 2022

# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACIÓN JURADA

Yo Haida María Badilla Badilla, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 2-0725-0488 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: PROPUESTA DE MEJORA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO "P" DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN "B" DE BOSTON SCIENTIFIC PARA EL TERCER CUATRIMESTRE DEL 2022, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Heredia, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veintitrés.



Firma del estudiante

Cédula: 2-0725-0488

# CARTA DE APROBACION DEL TUTOR

## CARTA DEL TUTOR

San José, 01 de Abril de 2023

**Destinatario**  
**Carrera**  
**Universidad Hispanoamericana**

Estimado señor:

La estudiante Haida Badilla Badilla, cédula de identidad número 2-0725-0488, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado PROPUESTA DE MEJORA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO "P" DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN "B" DE BOSTON SCIENTIFIC PARA EL TERCER CUATRIMESTRE DEL 2022, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

En mi calidad de tutora, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	9%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	16%
c)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	28%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	20%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	19%
	TOTAL		92%

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

**Nombre: Ing Deyna Mora Montero**  
**Cédula identidad N: 1-1622-0956**

DEYNA YURBIETH  
MORA MONTERO  
(FIRMA)

Firmado digitalmente por  
DEYNA YURBIETH MORA  
MONTERO (FIRMA)  
Fecha: 2023.04.01  
18:25:17 -06'00'

# CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR

San José, 01 de junio de 2023

**Señores**

**Registro**

**Universidad Hispanoamericana**

Estimados señores:

El estudiante Haida Badilla Badilla, cédula de identidad 2-0725-0488, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: "PROPUESTA DE MEJORA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO "P" DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN "B" DE BOSTON SCIENTIFIC PARA EL TERCER CUATRIMESTRE DEL 2022", el cual ha elaborado para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente, lo relativo al planteamiento de las propuestas y la estructura del documento. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública posterior a la revisión del Filólogo establecida.

Atentamente,



**Johan Castro Vásquez**

**Cédula 1-1228-0842**

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN



UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION

San José, sábado, 16 de septiembre de 2023.

Señores:  
Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Haida María Badilla Badilla, con número de identificación 2 0725 0488, autor (a) del trabajo de graduación titulado PROPUESTA DE MEJORA PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO "P" DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN "B" DE BOSTON SCIENTIFIC PARA EL TERCER CUATRIMESTRE DEL 2022, presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar por el título de **Bachillerato en ingeniería industrial**,  SÍ /  NO autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

 20725 0488

Insertar documento de Identidad

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto y este documento a Dios por haberme dejado llegar tan lejos, a mi hermana Patricia y mi mamá Haydee por amarme tanto y creer en mí, a Kevin Araya por apoyarme siempre y en especial a mi hijo Lucas que es la razón principal que me motiva a querer superarme cada día.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA .....	2
CARTA DE APROBACION DEL TUTOR.....	3
CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA.....	6
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	13
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	13
RESUMEN EJECUTIVO .....	14
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1. Descripción General Del Proyecto.....	17
1.2. Identificación de la Empresa o Institución.....	19
1.2.1. Información General de la empresa .....	19
1.2.2. Ubicación de Plantas a Nivel Global .....	20
1.2.3. Historia de Boston Scientific en Costa Rica .....	21
1.2.4. Misión y política de calidad .....	21
1.2.5. Valores.....	22
1.2.6. Estructura Organizativa del Área .....	23
1.2.7. Tipos de Productos o Servicios.....	24
1.3. Planteamiento del Problema.....	27
1.3.1. La idea del Problema .....	27
1.3.2. Definición del problema.....	27
1.3.3. Justificación .....	29
1.4. Objetivos del Proyecto.....	30
1.4.1. Objetivo General .....	30

1.4.2. Objetivos Específicos.....	30
1.5. Alcances y Limitaciones .....	31
1.5.1. Alcances .....	31
1.5.2. Limitaciones .....	31
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	33
2.1. Marco conceptual general relativo a la carrera.....	34
2.1.1. Ingeniería Industrial.....	34
2.1.2. Procesos de manufactura .....	36
2.1.3. Producción .....	37
2.1.4. Indicadores de desempeño (KPIs) .....	39
2.1.5. Productividad .....	39
2.1.6. Estudio de tiempos .....	40
2.1.7. Análisis de causa raíz .....	46
2.2. Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto.....	54
2.2.1. DMAIC .....	54
2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto .....	58
2.4. Antecedentes del proyecto o experiencias semejantes .....	60
2.4.1. Proyecto 1 con antecedentes semejantes .....	60
2.4.2. Proyecto 2 con antecedentes semejantes .....	61
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	62
3.1. Metodología para la definición del problema .....	63
3.2. Metodología para la medición y el respaldo cualitativo del proyecto ..	68
3.2.1. Estudio de tiempos .....	70
3.2.2. Tabla de ponderación de Causas Encontradas .....	74
3.3. Metodología para la propuesta de mejora .....	81
3.4. Metodología para la implementación del proyecto .....	84
3.5 Metodología para la verificación, el aseguramiento, el control, y seguimiento de resultados.....	86

CAPITULO IV. LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSA .....	88
4.1. Diagnóstico de la situación actual .....	89
4.2. Identificación del problema en el proceso P .....	90
4.2.1. Observación propia del proceso .....	90
4.2.2. Lluvia de ideas .....	92
4.2.3. Diagrama de Sipoc .....	93
4.2.4. Clasificación de Causas Herramienta 6 M .....	95
4.2.5. Diagrama de Ishikawa.....	97
4.2.6. Clasificación de las causas encontradas que están afectando la productividad del proceso P, según importancia de impacto. ....	102
4.2.7. Diagrama de Pareto.....	104
4.2.8 Cinco porqués.....	105
4.3 Estudio de tiempos .....	107
4.3.1 Estado actual del proceso.....	107
4.3.2 Desglose de tiempos del Proceso P .....	108
4.3.2 Tiempos estándar del Proceso P actual.....	109
CAPITULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	115
5.1. Propuesta de Mejora .....	116
5.1.1. Selección del equipo para aplicación de adhesivo.....	117
5.1.2. Ventajas identificadas del equipo seleccionado .....	119
5.1.3. Plan para verificación de la propuesta .....	120
5.1.4. Estado futuro esperado del proceso con mejora.....	121
5.1.5. Análisis de resultados medidos del proceso con mejora.....	125
5.1.6. Instrucciones para uso del Equipo EFD.....	127
5.1.7. Plan de implementación de mejora en proceso P .....	131
5.2. Análisis Costo-beneficio de la mejora propuesta.....	138
5.3. Fase de Control de la mejora propuesta .....	141
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	143

6.1. Conclusiones .....	144
6.2. Recomendaciones .....	146
BIBLIOGRAFIA .....	148
ANEXOS .....	149
Anexo 1 .....	150
Anexo 2 .....	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Operaciones globales de la compañía Boston Scientific .....	20
Figura 2. Visión de la compañía Boston Scientific .....	22
Figura 3. Diagrama Organizacional general.....	24
Figura 4. Catéter INTELLAMAP ORION™ .....	26
Figura 5. Diagrama de entrada, proceso, salidas .....	37
Figura 6. Fórmula para el cálculo de la productividad.....	40
Figura 7. Fórmula del tiempo estándar. ....	42
Figura 8. Sistema Westinghouse para calificar habilidades .....	43
Figura 9. Tipo de holguras .....	44
Figura 10. Formula del tiempo observado.....	45
Figura 11. Formula tiempo normal .....	45
Figura 12. Formula tiempo estándar .....	46
Figura 13. Herramienta de los cinco por qué - causas raíz de un problema .	48
Figura 14. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa).....	50
Figura 15. Diagrama de Pareto.....	51
Figura 16. Diagrama de flujo de proceso y símbolos .....	52
Figura 17. Diagrama de SIPOC .....	53
Figura 18. Ciclo de la metodología DMAIC para el desarrollo de proyectos .	55
Figura 19. Formula del tiempo observado.....	73
Figura 20. Lluvia de Ideas factores que afectan productividad del Proceso .	93
Figura 21. Diagrama de Sipoc de Proceso P .....	95
Figura 22. Diagrama de Causa y Efecto .....	98
Figura 23. Cinco porqués.....	105
Figura 24. Dispensador ULTIMUS I .....	118
Figura 25. Ubicación de ajustes en Dispensador ULTIMUS I .....	129
Figura 26. Diagrama de Gantt para implementación de mejora.....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Definición .....	65
Tabla 2. Ponderación de causas encontradas .....	75
Tabla 3. Matriz para la determinación de impacto (N.P.I) .....	77
Tabla 4. Grado de impacto de las causas.....	78
Tabla 5. Grado de frecuencia de las causas.....	78
Tabla 6. Grado de duración de las causas (retraso por día) .....	79
Tabla 7. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Medición y Análisis ..	80
Tabla 8. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Análisis .....	83
Tabla 9. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Controlar. ....	85
Tabla 10. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Controlar .....	87
Tabla 11. Bitácora de observación del Proceso P.....	91
Tabla 12. Clasificación de causas.....	96
Tabla 13. Clasificación de causas N.P.I.....	103
Tabla 14. Desglose tiempos promedio para cada paso proceso P actual...	108
Tabla 15. Estudio de tiempos del proceso actual.....	110
Tabla 16. Factores de Calificación. ....	111
Tabla 17. Suplementos usados para cálculo de Tiempo Estándar. ....	111
Tabla 18. Producción diaria por operario .....	112
Tabla 19. Promedios de cálculos según estudio de tiempos. ....	112
Tabla 20. Producción actual vs Producción según estudio de tiempos.....	114
Tabla 21. Tiempos de cado paso de proceso con mejora.....	121
Tabla 23. Tiempos estándar del proceso después de mejora.....	123
Tabla 24. Producción proceso actual vs proceso con mejora propuesta ....	124
Tabla 25. Promedios de cálculos según nuevo estudio de tiempos.....	124
Tabla 26. Causas raíz identificadas y solución propuesta. ....	126

Tabla 27. Costos de Inversión y beneficio esperado.....	139
Tabla 28. Cálculo del índice neto de rentabilidad. ....	140

## **ÍNDICE DE GRÁFICAS**

Gráfico 1. Producción actual vs meta de producción. ....	28
Gráfico 2. Diagrama de Pareto N.P.I.....	104
Gráfico 3. Producción diaria vs Meta diaria.....	113
Gráfico 4. Producción diaria actual y con mejora vs Meta diaria.....	125

## **ACRÓNIMOS Y SIGLAS**

B/C	Razón de Costo / Beneficio
DMAIC	Definir, medir, analizar, implementar, controlar.
KPI	Indicador de Desempeño Clave (Key Performance Indicator)
PROCOMER	Promotora de Comercio Exterior
OIT	Organización Internacional de Trabajo
N.P.I	Número de Prioridades de Impacto
T.O	Tiempo Observado
F.C	Factor de Calificación
T.N	Tiempo Normal
T. ES	Tiempo Estándar
TIR	Tasa Interna de Retorno

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente documento representa un proyecto realizado en la empresa Boston Scientific (sede ubicada en Heredia, Costa Rica) en donde se buscó encontrar una propuesta de mejora para incrementar la productividad de un proceso de una de las líneas de producción de subensambles para la cual se identificó que históricamente no ha logrado alcanzar las metas de producción durante las horas normales de producción y que para subsanar dicho problema ha tenido que recurrir ya sea a ingresar una mayor cantidad de personal a la línea o de recurrir al pago de horas extra para cumplir con las metas de producción mensual.

El problema en cuestión se consideró adecuado para la aplicación de herramientas ingenieriles aplicables como parte de la ingeniería industrial. A lo largo de las diferentes secciones del documento se encuentra información relevante para dar contexto de la empresa en donde se realizó el proyecto y la línea de producción y proceso que fueron objetos del estudio, así como la justificación para el desarrollo de este, objetivo general y objetivos específicos.

También se incluye un capítulo con un marco teórico resultado de una investigación sobre las diferentes herramientas que se utilizaron para el desarrollo del proyecto y que sirve de sustento para su utilización y mayor comprensión.

Para el desarrollo del proyecto se seleccionó la metodología DMAIC que es ampliamente utilizada para la definición y solución de problemas y que cuenta con una amplia gama de herramientas que pueden ser utilizadas a lo largo de sus diferentes fases. Esta metodología permitió poder obtener una investigación de manera ordenada.

En capítulos posteriores se aplica la metodología DMAIC pasando por la elaboración de un marco metodológico, la definición del problema, una investigación de causa raíz, determinación del estado actual del proceso y análisis de la información recolectada.

Una vez completas las tres primeras fases de DMAIC se procedió a documentar una propuesta de mejora que básicamente consiste en la implementación de un equipo dispensador de fluidos que permite reducir el tiempo requerido para la aplicación de un adhesivo en el paso del proceso que toma más tiempo realizar, esto con el objetivo de reducir el tiempo total requerido para ejecutar el proceso y por consiguiente lograr la mejora en productividad deseada.

Por último, se presenta un análisis de costo beneficio, un plan de implementación de la mejora y una propuesta para ejecutar la fase de Control de DMAIC y se cierra el proyecto con una sección de conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Descripción General Del Proyecto**

La industria de manufactura de dispositivos médicos en Costa Rica es hoy en día reconocida como la industria más importante a nivel de exportación y de generación de empleo a nivel privado. Para el año 2021 según la Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER) la venta de equipos médicos y dispositivos tuvo un crecimiento del 42%, liderando las principales exportaciones del país. El crecimiento de dicha industria ha convertido a Costa Rica en el segundo país exportador más grande de dispositivos médicos a nivel mundial. (PROCOMER, 2019)

El siguiente trabajo será desarrollado en la empresa Boston Scientific la cual es parte de la industria de manufactura médica y a la vez es una empresa líder a nivel mundial en tecnologías médicas. Hoy en día, todas las organizaciones sean de productos o servicios se encuentran en la búsqueda de la mejora continua, para de esta manera lograr ser más productivos a través del tiempo. Este es el caso de la compañía Boston Scientific que constantemente está en la búsqueda de mejorar sus procesos.

Boston Scientific en sus plantas de manufactura ubicadas en Costa Rica, actualmente cuenta con líneas de producción de una amplia gama de familias de productos, una de estas familias cuenta con una línea de producción a la cual a lo largo de este documento será referida como la línea de producción B. La línea de producción B se encarga de manufacturar un

subensamble que es luego utilizado en la línea de producción principal donde se manufactura el catéter llamado *INTELLAMAP ORION™*, es en la línea de producción B en la cual se ha detectado una oportunidad de mejora, dado que a pesar de contar con el recurso humano destinado y disponible para dicha operación, este pareciera no ser suficiente para cumplir con los planes de producción mensual y se manifiesta como una deficiencia a nivel de productividad de la línea de producción del subensamble.

El propósito de este proyecto es, poder encontrar la causa raíz del bajo rendimiento y poder proporcionar una propuesta de mejora adecuada para darle solución y seguimiento al problema encontrado. Esto se haría utilizando la metodología DMAIC y las diferentes herramientas aprendidas durante la carrera de ingeniería industrial.

La línea de investigación propuesta es de operaciones industriales pues el propósito es la optimización de un proceso para aumentar la productividad de este.

## **1.2. Identificación de la Empresa o Institución**

### **1.2.1. Información General de la empresa**

El presente trabajo de investigación será desarrollado en una de las líneas de producción de la empresa de manufactura de dispositivos médicos Boston Scientific, esta línea será identificada bajo el nombre “línea de producción B”, esto por motivos de confidencialidad de la compañía.

Boston Scientific es una empresa estadounidense originaria de Watertown, Massachusetts, actualmente tiene más de 40 años como empresa líder a nivel mundial en tecnologías médicas. Esta compañía cuenta con dos sedes en Costa Rica, una de ellas ubicada en el Coyoil de Alajuela y otra ubicada en Heredia, en la cual se va a desarrollar el proyecto.

Hoy en día Boston Scientific cuenta con más de 29000 Colaboradores a nivel mundial en sus más de 26 plantas de manufactura y 3000 colaboradores a nivel nacional los cuales están distribuidos entre personal administrativo y personal directo de operaciones. Parte de su negocio en Costa Rica va más enfocado a catéteres de diagnóstico, ablación y sistemas de mapeo, los cuales ayudan a diagnosticar y tratar enfermedades tales como las arritmias cardíacas, insuficiencia cardíaca, entre otros. (Boston Scientific, 2021)

### 1.2.2. Ubicación de Plantas a Nivel Global

Boston Scientific actualmente tiene 40 plantas en 6 continentes y en 40 países, donde se distribuyen entre casa matriz en Natick, MA, casas Regionales en Paris, Japón, Estados Unidos, cuenta con centros de tecnología en Estados Unidos, Minnesota y California, Irlanda y Costa Rica, más de 12 plantas de manufactura a nivel global. (Boston Scientific, 2021)

Adicional a esto también cuenta con otras localidades en Turquía, África, China, India, Francia, Polonia, Irlanda, Puerto Rico, entre otros.

Figura 1. Operaciones globales de la compañía Boston Scientific



Fuente: Boston Scientific

### **1.2.3. Historia de Boston Scientific en Costa Rica**

Actualmente Boston Scientific cuenta con más de 3000 colaboradores a nivel nacional, tiene 5 edificios, divididos entre administrativos de producción, estos edificios se encuentran ubicados 3 de ellos en Heredia, Global Park, uno de ellos en Coyol de Alajuela y más recientemente en el 2021 adquirió la compra de su quinta planta de producción en Cartago.

Boston Scientific dio inicios en Costa Rica en el año 2004 abriendo su primera planta de producción en Global Park en Heredia y en el 2009 abrió su segunda planta en Coyol de Alajuela.

Solos Boston Scientific de Heredia cuenta con una cartera de más de 19 productos, los cuales parte de ellos están enfocados en catéteres de diagnóstico, de mapeo, de drenaje, de ablación, entre otros productos.

### **1.2.4. Misión y política de calidad**

#### **Misión de la compañía**

Boston Scientific se dedica a transformar vidas a través de soluciones médicas innovadoras que mejoran la salud de los pacientes en todo el mundo (Boston Scientific , 2020)

#### **Política de Calidad**

“Yo mejoro la calidad del cuidado del paciente y de todo Boston Scientific”

A continuación, se puede observar en la Figura 2 la visión de Boston Scientific enfocada en la estrategia de calidad.

Figura 2. Visión de la compañía Boston Scientific



Fuente: Boston Scientific Heredia

### 1.2.5. Valores

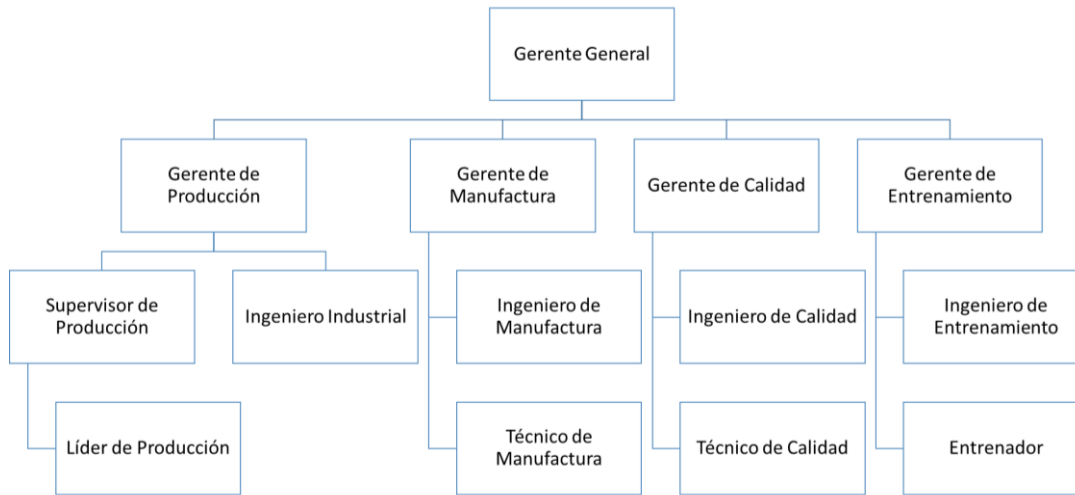
- Excelencia: Boston Scientific se compromete a mantener una excelencia operacional, siempre enfocado en la mejora continua de sus procesos.

- Calidad: Como organización de gran alto nivel, está altamente comprometida con los mejores estándares de calidad a nivel mundial.
- Integridad: Parte de su cultura organizacional se caracteriza por el alto compromiso de parte de todos sus colaboradores tanto con los pacientes como con la compañía.
- Orientación a la gente: Boston Scientific se encuentra comprometido con el desarrollo, crecimiento y éxito de los colaboradores.

#### **1.2.6. Estructura Organizativa del Área**

La estructura organizativa de la empresa es por medio de departamentos, en la ilustración se muestra un organigrama general por departamentos en el que se incluyen las áreas de producción, manufactura, calidad y entrenamiento.

Figura 3. Diagrama Organizacional general



Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.7. Tipos de Productos o Servicios

Boston Scientific distribuye sus dispositivos de alta tecnología en más de 125 países, cuenta a nivel mundial con más de 13000 productos en diferentes áreas como:

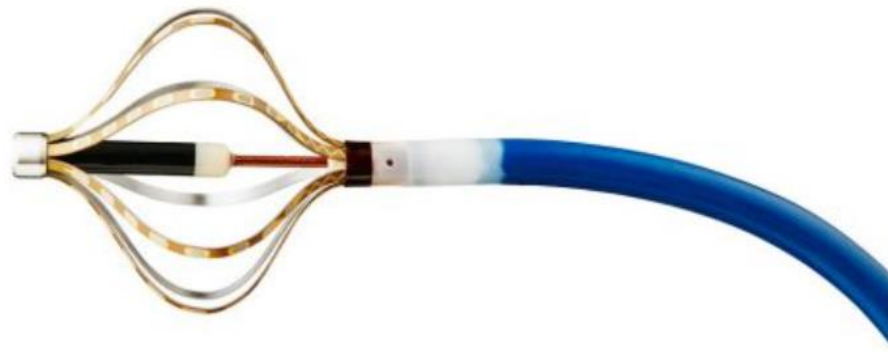
- Medicina pélvica femenina
- Medicina del dolor
- Intervención Periférica
- Cirugía ortopédica
- Gastroenterología
- Neuro modulación
- Electrofisiología
- Cardiovascular
- Neurología
- Cardiología
- Radiología
- Ginecología
- Endoscopia
- Oncología
- Urología, entre otros.

El área donde se realizará este trabajo será la línea de producción B, donde se manufactura un catéter con una de las más altas tecnologías para los sistemas de mapeo en el mercado, el cual su principal función es localizar daños en el corazón como las arritmias cardiacas.

Este es el catéter llamado *INTELLAMAP ORION™* el cual cuenta con 64 electrodos, lo que significa tres veces más electrodos que otros catéteres de mapeo disponibles y con electrodos impresos 8 veces más pequeños que los catéteres de

mapeo convencionales, esto ayuda a obtener una captura de señales más nítidas y de alta calidad para de esta manera poder detectar con más exactitud las arritmias más complejas del corazón.

*Figura 4. Catéter INTELLAMAP ORION™*



*Fuente : <https://www.bostonscientific.com/en-EU/products/catheters-mapping/intellamap-orion.html>*

## **1.3. Planteamiento del Problema**

### **1.3.1. La idea del Problema**

En la compañía Boston Scientific, en su Sede Heredia en la línea de Producción “B”, donde se manufactura el catéter *INTELLAMAP ORION™*, específicamente en el proceso “P”, se detecta una disminución en la productividad que impide poder cumplir con las metas de producción establecidas. Como se puede observar en el gráfico 1 en los meses de junio, julio, agosto y septiembre del presente año se logró una producción mensual de 2300, 2390, 2420, 2250 respectivamente, quedando en promedio 260 unidades por debajo de la meta.

Se desconoce cuál puede ser la causa del no cumplimiento de las metas establecidas, pero se pueden inferir algunas ideas según lo que mencionan los operarios y líderes de la línea, algunas expuestas como quejas. Estas van desde la falta de personal, fatiga postural, deficiencia en las herramientas disponibles, falta de planificación, incluso el deficiente tiempo de respuesta ante imprevistos.

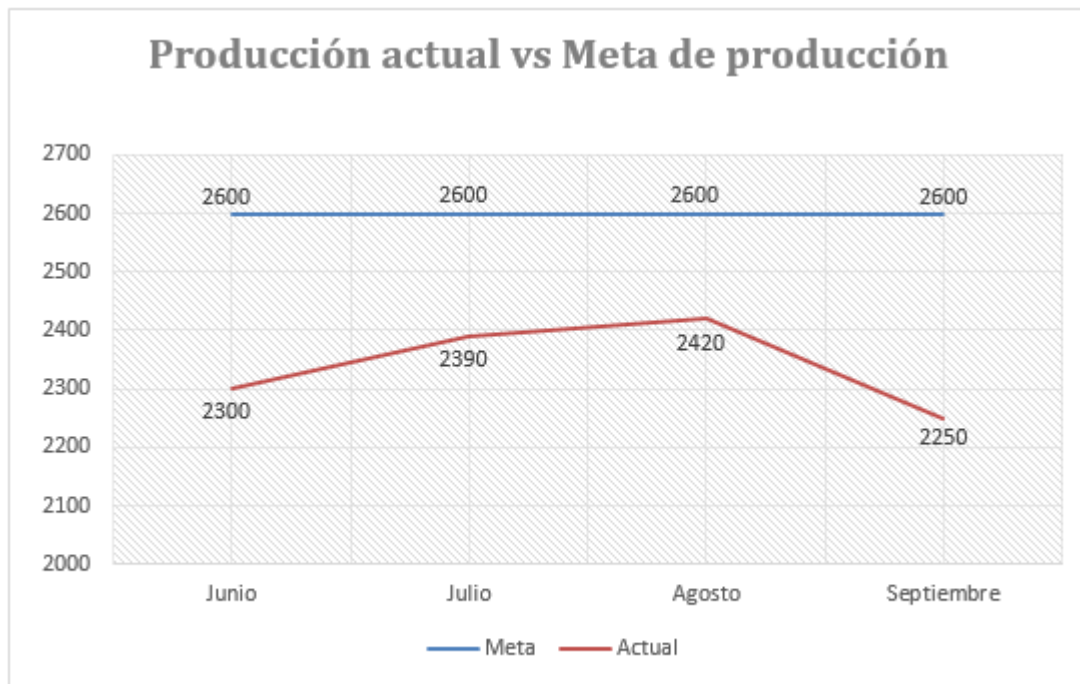
Ante tal situación, se considera, por parte de la compañía, generar un análisis de causa raíz, según los procedimientos establecidos, para determinar la causa en el bajo rendimiento de la línea de producción B y plantear una propuesta de mejor que pueda ser mantenida en el tiempo.

### **1.3.2. Definición del problema**

En la compañía Boston Scientific, en la línea de Producción “B”, específicamente en el proceso “P” donde se manufactura el catéter *INTELLAMAP*

ORION™, se detecta el incumpliendo de las metas establecidas de producción, en el tercer cuatrimestre del año 2022, se encuentran porcentajes de incumplimiento que van desde un 6.92% hasta un 13,46%, siendo un promedio cercano al 10%. En el gráfico 1. Se observa el comportamiento de la producción meta vs lo producido realmente en el periodo del mes de junio al mes de septiembre del año 2022.

Gráfico 1. Producción actual vs meta de producción.



Fuente: Elaboración propia.

Se considera un problema, pues en el proceso P incurre en incumpliendo de las piezas que se deberían de fabricar, pudiendo entorpecer los procesos posteriores y afectando a la producción en general de la línea B.

El que la producción se vea afectada, puede generar a largo plazo, algún nivel de desabastecimiento de los catéteres, generar incluso un incumplimiento en entregas a los clientes y consumidores, aumento en tiempos de espera, entre otros.

Además, a nivel de los colaboradores, el estrés creado por el incumpliendo de la meta, lejos de motivar un esfuerzo adicional, lo que genera es un descontento general y mina el impulso del personal, para poder lograr la producción propuesta.

### **1.3.3. Justificación**

La implementación de este proyecto es de suma importancia, esto es debido a que mejoras en los procesos de manufactura vuelven a las compañías más eficientes, de esta manera les permite operar a las organizaciones de la mejor manera para poder alcanzar los objetivos establecidos y ser cada vez más competitivos en el mercado.

Parte de los beneficios que se puede encontrar en la mejora de procesos de una organización pueden ser un mejor rendimiento del equipo, un incremento en la productividad, reducción de costos, optimización de los procesos, reducción de plazos de ejecución, aumento de la motivación de los colaboradores, pago de horas extras, entre otros.

## **1.4. Objetivos del Proyecto**

### **1.4.1. Objetivo General**

Mejorar la productividad del proceso en un 7%, mediante la utilización de la metodología DMAIC, para el proceso P de la línea de producción B de subensamble de la empresa Boston Scientific Heredia, durante el tercer cuatrimestre del 2022.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los problemas que afectan actualmente la productividad en el proceso P de la línea de producción B.
- Determinar el estado actual del proceso P mediante un estudio de tiempos.
- Analizar la información recolectada para determinar el impacto que tienen las fuentes de afectación sobre la productividad en el proceso P.
- Proponer mejoras en el proceso que permitan mejorar la productividad.
- Hacer un análisis económico de la propuesta.

## **1.5. Alcances y Limitaciones**

### **1.5.1. Alcances**

El proyecto se realizará en el edificio principal de Boston Scientific de Heredia, haciendo enfoque en uno de sus productos con más importancia, específicamente en el proceso de manufactura del catéter *INTELLAMAP ORION™* de la línea de producción B.

Este proyecto se enfocará únicamente en el proceso P perteneciente al catéter *INTELLAMAP ORION™*, de la línea de producción B, por lo cual no se va a incorporar dentro de su alcance ningún otro proceso de la línea en estudio.

No se consideran otros productos ni subproductos de Boston Scientific, incluso los que puedan ingresar por transferencias, validaciones, nuevos desarrollos, mejoras de diseño o similares.

### **1.5.2. Limitaciones**

Por confidencialidad y políticas de privacidad de la compañía hay acceso limitado a la información, por lo que no se encuentran dentro de la presente investigación datos sensibles como nombres de colaboradores, datos financieros exactos, procedimientos, registros, planos, diseños, contratos de confidencialidad y similares.

El impacto de la limitación en la información radica en que lo expuesto será de carácter ilustrativo y aproximado para dar una idea clara de lo que se busca y se quiere exponer.

El uso de aproximados tiene como beneficio que se puede obtener un panorama más amplio, lo que permite encontrar más aristas del mismo problema generando diversas posibilidades de mejora a escoger.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

## **2.1. Marco conceptual general relativo a la carrera**

En este capítulo se encontrará conceptos teóricos de las herramientas relacionadas a la carrera de ingeniería industrial que serán empleadas para el desarrollo del proyecto, lo cual le ayudara al lector a conocer de una manera más detallada las mismas para un mejor entendimiento.

### **2.1.1. Ingeniería Industrial**

La ingeniería industrial es tan solo una de las varias ramas que tiene la ingeniería. Lo que caracteriza a la ingeniería industrial es que su enfoque está orientado específicamente en los procesos productivos, los cuales pueden ser de bienes o servicios.

El principal enfoque de la ingeniería industrial es la productividad, por lo tanto, entre las principales tareas del ingeniero industrial está la reducción de tiempos en los procesos, reducción de materiales, costo, entre otros. Dado que la ingeniería industrial es sumamente amplia parte también de sus enfoques es la optimización de recursos humanos, costo, materiales entre otros más.

Es importante mencionar de manera breve en este apartado los principales mentores de la ingeniería industrial y parte de sus aportes a través de la historia.

Frederik W. Taylor fue considerado como el padre de la ingeniería industrial esto debido a sus grandes aportes que brindo. Los principales aportes de Frederik W. Taylor se concentraron en el estudio de tiempos, formación del personal y el diseño de métodos de trabajo.

Parte de los aportes que hizo Frederik W. Taylor fue proponer una serie de principios los cuales son los siguientes: “(1) desarrollar una técnica para cada elemento del trabajo de un operario; (2) seleccionar y enseñar científicamente a los obreros; (3) establecer una amigable cooperación con ellos; (4) asumir la responsabilidad en las materias de dirección”. (Vaughn, 1990, p. 3)

Gracias a esta serie de principios propuestos por Frederik W. Taylor hoy en día tenemos técnicas tan importantes como el estudio de tiempos y movimiento.

Otros grandes precursores de la ingeniería fueron los esposos Frank y Lillian Gilbreth quienes se enfocaron a lo largo de toda su vida al estudio de tiempos y movimientos. Este matrimonio fue pionero de los filmes para los trabajadores. Parte de sus logros fue la reducción y simplificación de movimientos en los procesos.

“Los resultados de los estudios Gilbreth condujeron a casi triplicar la capacidad de un albañil colocando ladrillos: de 120 ladrillos por hora se pasó a 350” . (Vaughn, 1990, p. 5)

Se puede mencionar otros pioneros que también ayudaron a la ingeniería industrial a ser lo que es hoy, como Henry Gantt el cual fue ingeniero industrial mecánico el cual se enfocó en la importancia y consideración de los obreros, trabajos en la parte de la motivación, reconocimiento en las responsabilidades sociales de las empresas, entre otros aportes.

### **2.1.2. Procesos de manufactura**

También conocidos como procesos de producción o procesos industriales al conjunto de tareas a realizar para transformar las características de las materias primas y convertirlos en productos finales. Kalpakjan y Schmid (2002), mencionan que “en tanto que, en Estados Unidos, el término equivalente es ingeniería de la producción” (p. 3). Otra característica importante de los procesos de manufactura es que poseen varias clasificaciones, tales como Procesos primarios, procesos secundarios y terciarios.

Actualmente existen diferentes tipos de procesos de manufactura, algunos de ellos son los siguientes:

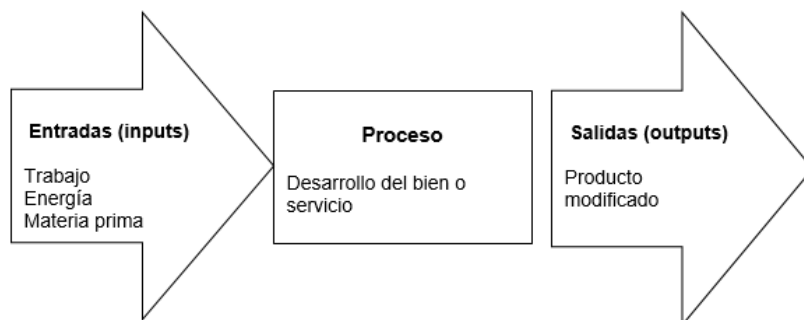
- Repetitiva: Los procesos de manufactura repetitivos se conforman por líneas de producción que no tienen variación, es decir, no tienen variación en requisitos, diseño. Dado que este tipo de procesos no tiene variaciones el producto manufacturado por ende tampoco lo tiene siendo este siempre igual.
- Discreta: Este tipo de proceso de igual manera mantiene una línea de producción son la única variante que pueden existir diferencia en los artículos realizados, lo que se traduce también en tiempos largos en cambios de modelos, debido a las alteraciones que puede tener la línea.
- Continua: Este tipo de proceso opera 24/7, parte de sus características es que los materiales utilizados son gases, polvos, o granulados involucrados en la minería.

- Por lotes: Este tipo de proceso es muy similar al proceso de fabricación discreta, con la única diferencia es que su producción depende directamente de la demanda que haya y las cantidades necesitadas por consumidor.

### 2.1.3. Producción

Cuando se refiere al término de producción podemos entender de una manera sencilla como la actividad económica que se encarga de transformar insumos en un producto terminado el cual puede ser bienes o servicios.

*Figura 5. Diagrama de entrada, proceso, salidas*



*Fuente: Elaboración propia.*

Es importante mencionar que la producción cuenta con ciertas características:

- Para poder obtener una producción de producto o servicio es necesario el uso de tecnologías, capital, mano de obra y tierra.
- La producción se puede considerar como finalizada una vez que ha llegado al cliente final.

- La eficiencia de los procesos de producción va a depender de los recursos o factores utilizados, así como de la gestión que haya en las organizaciones.
- Si la planificación es adecuada la eficiencia en los procesos de producción será muy buena.

En la actualidad hay presentes varios tipos de producción, la cual va a variar según el bien o servicio que se esté brindado. A continuación, se mencionará los tipos de producción que hay:

- Producción en masa: lo que destaca la producción en masa son las grandes cantidades de una mercancía de unidades idénticas. Para este tipo de producción es necesario niveles altos de automatización.
- Producción por lotes: cuando se habla de producción en lote es importante saber que cada unidad del lote fabricado es idéntica entre sí. La cantidad de unidades ensambladas puede depender de la demanda del producto, por lo tanto, la cantidad puede variar.
- Producción de flujo continuo: Este tipo de producción es utilizado en demandas grandes y constantes, es decir cuando se tiene una producción ininterrumpida las 24 horas del día, los 7 días de la semana.
- Producción por pedido o proyectos: Este tipo de producción aplica según los requerimientos de la demanda, es completamente personalizado para cada cliente.

#### **2.1.4. Indicadores de desempeño (KPIs)**

En todas las organizaciones para mantener un adecuado rendimiento se debe medir periódicamente el desempeño de las mismas, asegurar el cumplimiento de los indicadores claves en las organizaciones va a mantener el éxito de las empresas dentro del mercado.

Es importante tener en cuenta que lo que no se mide no se controla y si no se controla es difícil saber si la organización está trabajando de la manera óptima.

Algunos ejemplos de indicadores dentro de las organizaciones pueden ser: indicadores de eficiencia, capacidad, productividad, calidad, rentabilidad, seguridad, entre muchos otros más.

#### **2.1.5. Productividad**

En todas las organizaciones un indicador sumamente importante que no se puede pasar por alto es el de la productividad. El término productividad va directamente relacionado entre la cantidad de bienes o servicios obtenidos y la cantidad de recursos obtenidos para obtener dicha producción.

Dicho lo anterior es importante mencionar se puede entender productividad directamente como la capacidad de elaborar bienes y servicios y el grado en cómo se aprovecha los recursos empleados.

Actualmente las empresas trabajan mucho en numerosos cambios en sus recursos para de esta forma poder ser los más competitivos en el mercado, esto por ejemplo haciendo uso de las mejores tecnologías.

Benjamin W. Niebel & Andris Freivalds (2009) afirman que:

Dichos cambios incluyen la globalización del mercado y de la manufactura, el crecimiento del sector servicios, el uso de computadoras en todas las operaciones de la empresa y la aplicación cada vez más extensa de la Internet y la web. La única forma en que un negocio o empresa puede crecer e incrementar sus ganancias es mediante el aumento de su productividad.  
(p. 1)

Para poder medir la productividad existe una formula la cual consiste en la relación entre bienes producidos y cantidad de recursos utilizados (inputs) para lograr esta producción.

*Figura 6. Fórmula para el cálculo de la productividad.*

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Cantidad de factores productivos empleados (inputs)}}$$

*Fuente: Dirección de la producción y de operaciones.*

### **2.1.6. Estudio de tiempos**

El estudio de tiempos es la técnica utilizada para hacer una medición del trabajo, la cual parte de su función principal es registrar los tiempos de trabajo y las actividades que apliquen en una tarea definida. Esto con la finalidad de poder hacer un análisis de datos y definir de una manera más precisa el tiempo requerido para realizar dicha tarea.

El estudio de tiempos es parte del aporte que realizó por Frederick Taylor en la ingeniería industrial en el año 1881. Actualmente existen metodologías tales como: 1. El método continuo y el método de regreso a cero.

En el método de regreso a cero “ El cronómetro se lee y se anota al final de cada elemento, parando las manecillas y volviendo a cero inmediatamente” (Neira, 2006, p. 84).

En el estudio de método continuo o acumulativo “Se pone en marcha el cronómetro al comienzo del primer elemento del primer ciclo” (Neira, 2006, p. 84). Es decir, el cronómetro no se detiene durante la totalidad del estudio y el cronómetro se lee a partir del punto terminal de cada elemento.

Es sumamente importante antes de dar inicio a un estudio de tiempos tener bajo consideración algunas variables:

- Tanto en analista como el operario deben mantenerse tranquilos, el analista no debe generar presiones sobre el operario.
- El analista debe portar un cronómetro, una plantilla y una calculadora.
- El método a estudiar debe ser un método estandarizado.
- Para lograr un buen estudio de tiempos es importante que el operario tenga experiencia y maneje una buena técnica en el proceso a estudiar.

Como parte de los equipos utilizados para realizar un estudio de tiempos se encuentran los siguientes: Cronómetro (el cual puede ser cronómetro minuterero decimal o cronómetro electrónico), cámaras de video, tablero de estudio de tiempos, softwares, entre otros.

Figura 7. Fórmula del tiempo estándar.

$$TE = TN + TN \times \text{holgura} = TN \times (1 + \text{holgura})$$

Fuente: Libro ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo.

### 2.1.6.1 Factor de calificación

El factor de calificación es aquella calificación que asigna el observador al operario una vez que realiza una tarea definida, esta tarea siempre va a requerir de un esfuerzo por parte del operario y también un alto grado de habilidad. Es importante que el analista realice una calificación justa e imparcial al desempeño del operario. Cabe destacar que esta evaluación se debe hacer a todo aquel operario calificado en una estación de trabajo, entendiendo el termino de calificado como “un operario completamente experimentado que trabaje en las condiciones acostumbradas en la estación de trabajo, a un paso ni demasiado rápido ni demasiado lento, pero representativo de un paso que se puede mantener a lo largo del día” (Benjamin W. Niebel & Andris Freivalds, 2009, p. 343)

Uno de los sistemas que ha sido más en el tiempo es el Sistema de Westinghouse, donde se consideran cuatro factores para hacer una evaluación en el desempeño del operario los cuales son: habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia.

A continuación, se podrá ver un ejemplo de la tabla para calificar las habilidades del sistema de Westinghouse para tener un mejor entendimiento de la

manera en la que el sistema realiza las calificaciones en cada uno de sus cuatro rubros.

Figura 8. Sistema Westinghouse para calificar habilidades

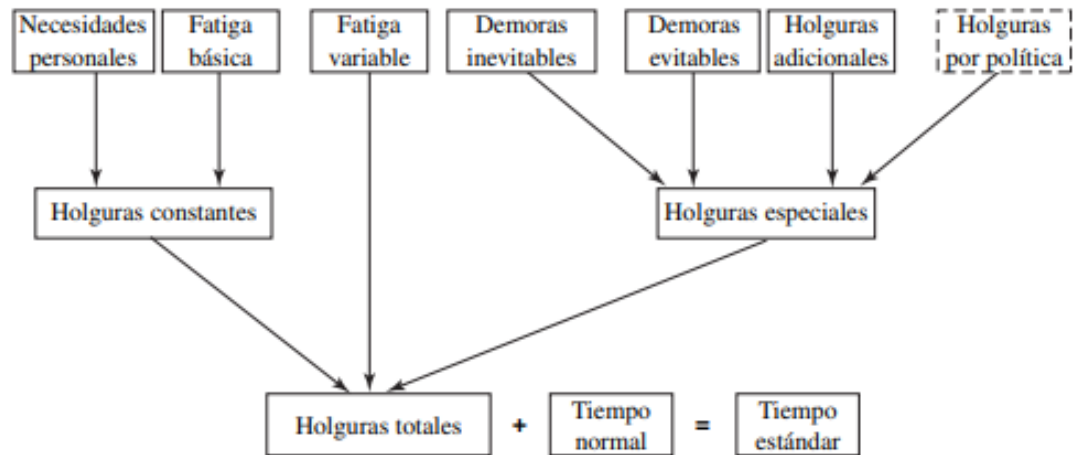
+0.15	A1	Superior
+0.13	A2	Superior
+0.11	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena
+0.03	C2	Buena
0.00	D	Promedio
-0.05	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable
-0.16	F1	Mala
-0.22	F2	Mala

Fuente: Libro ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo

### 2.1.6.2 Suplementos u holguras

En un estudio de tiempos es de suma importancia tomar en cuenta todos aquellos suplementos u holguras presentes que normalmente no son considerados a la hora de hacer el estudio, algunos ejemplos de holguras puede ser necesidades personales, limpieza de la estación o máquinas

Figura 9. Tipo de holguras



Fuente: Libro ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo

Como se puede observar en la imagen las holguras constantes incluyen todas aquellas necesidades personales, este apartado se puede contemplar viajes para ir a beber agua y el sanitario.

En cuanto a holguras por fatiga variables se pueden contemplar las posturas anormales, fuerza muscular, condiciones atmosféricas, nivel de ruido, niveles de iluminación, esfuerzo visual, esfuerzo mental, monotonía, tedio.

La Oficina Internacional del trabajo contiene tablas donde indica los porcentajes que le aplican tanto a hombres como a mujeres para cada una de este tipo de suplementos u holguras.

### 2.1.6.3 Tiempo observado

Para obtener el tiempo observado, se saca un promedio del total del número de ciclos.

Figura 10. Formula del tiempo observado

$$\text{Tiempo observado} = \frac{\text{Suma de total de los tiempos}}{\text{Cantidad total de conteos}}$$

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.6.4 Tiempo normal

En el tiempo normal se conoce como el tiempo que le toma a una persona realizar una tarea de manera normal, lo que quiere decir que no lo hace de forma rápida o lenta.

A continuación, se puede observar la fórmula de tiempo normal, donde se C es la calificación de desempeño del operario expresada en porcentaje y el 100% corresponde al desempeño estándar de un operario calificado.

Cabe recalcar que para sacar este valor es determinado según la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

Figura 11. Formula tiempo normal

$$\text{TN} = \text{TO} \times C/100$$

Fuente: Libro ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo.

### 2.1.6.5 Tiempo estándar

El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a un paso estándar y realizando un esfuerzo promedio para realizar la operación se llama tiempo estándar (TE) de esa operación.” (Benjamin W. Niebel & Andris Freivalds, 2009, P. 343)

*Figura 12. Formula tiempo estándar*

$$TE = TN + TN \times \text{holgura} = TN \times (1 + \text{holgura})$$

*Fuente: Libro ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo.*

### 2.1.7. Análisis de causa raíz

En palabras sencillas se describe el análisis de causa raíz como una manera de descubrir la causa raíz de los problemas, para identificar las soluciones más adecuadas ante cierta situación.

Para realizar un análisis de causa raíz se pueden utilizar distintas herramientas o metodologías para lograr identificar de manera oportuna la causa raíz de un evento.

#### 2.1.7.1. Los 5 ¿por qué?

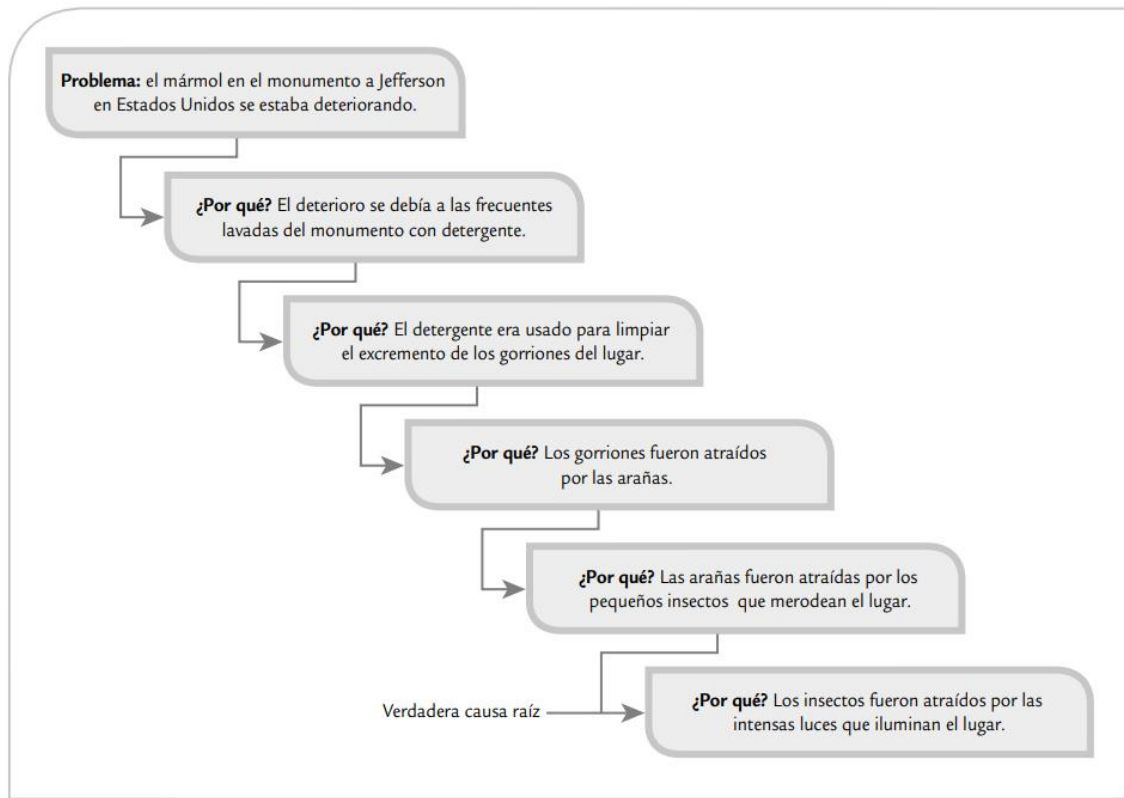
El Objetivo principal de esta herramienta es determinar la causa raíz de un evento o problema repitiendo la pregunta “¿por qué?”. Esta herramienta es sumamente fácil de utilizar, actúa a través de la pregunta “¿por qué?”, obteniendo la respuesta en el primer “¿por qué?”, se vuelve a realizar la misma pregunta y de

esa manera sucesivamente, hasta llegar a la causa raíz del problema que se desea solucionar.

Lo esperado de la herramienta es usar al menos cinco porqués para identificar el motivo que está originando el problema, más sin embargo no hacer exactamente los cinco porqués no es un indicador de estar haciendo un mal uso de la herramienta. Se puede realizar la pregunta las veces que sea necesario para identificar la causa raíz.

Esta estrategia es una de las más usadas en las organizaciones para los análisis de causa raíz. Es importante recalcar que esta herramienta fue creada por Sakichi Toyota, Industrial japonés creador de la compañía Toyota.

Figura 13. Herramienta de los cinco por qué - causas raíz de un problema



Fuente: Libro control estadístico de la calidad y seis sigmas

### 2.1.7.2. Lluvia de ideas

“En los equipos de mejora es frecuente que en las diferentes etapas de un proyecto sea necesario hacer un análisis grupal, para lo cual se requiere generar ideas, ya sea para encontrar causas o para proponer soluciones” (Gutiérrez, 2010, p. 198).

Lo que se busca con la lluvia de ideas es brindar información, ideas por parte de un equipo multidisciplinario, para de esta forma encontrar mejoras en procesos o bien, ayudar a encontrar la causa raíz de un problema determinado. Este proceso

es un proceso en el cual se busca el pensamiento fluido y creativo por parte de todos los miembros, participando libremente.

### **2.1.7.3. Diagrama de causa y efecto**

El diagrama de causa y efecto es una herramienta muy utilizada en los análisis de causa raíz desde el siglo XX. Esta herramienta visual ayuda a comprender de una manera gráfica las posibles causas de un problema. Esta herramienta también es conocida como espina de pescado o diagrama de Ishikawa.

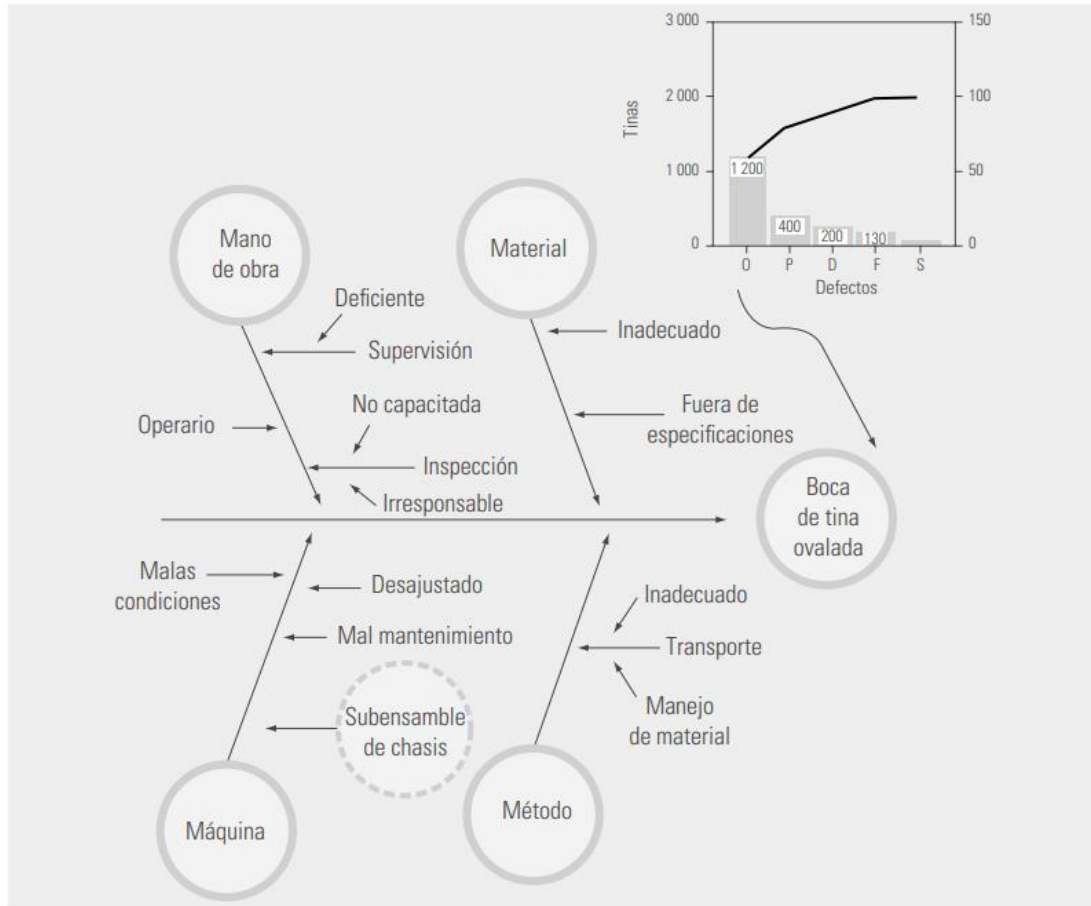
Gutiérrez (2010), define al diagrama de causa – efecto como “un método gráfico mediante el cual se representa y analiza la relación entre un efecto (problema) y sus posibles causas” (p. 192).

Actualmente existen tres tipos de diagrama de Ishikawa: El método de las 6M, método de flujo de proceso y método de estratificación o enumeración de causas.

Como se puede observar en la figura número 9, se muestra el diagrama del método de las 6M.

“El método de construcción de las 6M es el más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6M): métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente” (Gutiérrez, 2010, p. 192).

Figura 14. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa)



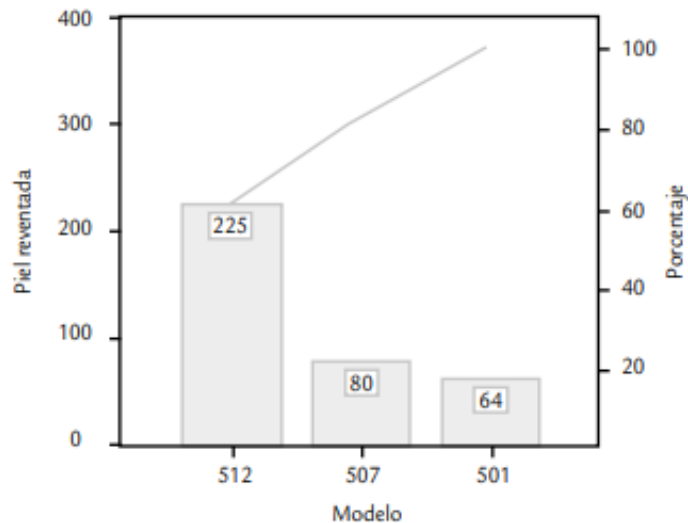
Fuente: Libro calidad total y productividad.

#### 2.1.7.4. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta grafica utilizada para la resolución de problemas, una de sus principales funciones es ordenar los datos de mayor a menor para poder priorizar entre un conjunto de causas probables, que están generando un problema, así de esta manera tener más claro en cuales causas se debe de enfocar primero.

Al diagrama de Pareto también se le conoce en principio como la regla 80-20, este diagrama se apoya en el principio de Pareto, que indica que el 80% de las consecuencias son el resultado del 20% de las causas.

Figura 15. Diagrama de Pareto



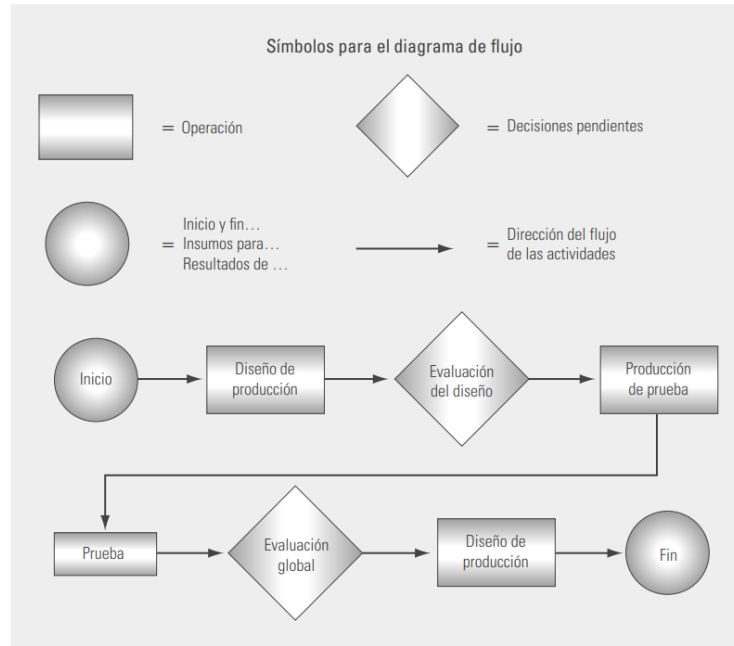
Fuente: Control estadístico de la calidad y seis sigmas

#### 2.1.7.5. Diagrama de flujo de procesos

“El diagrama de flujo de procesos es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, incluidos transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de proceso” (Gutiérrez, 2010, p. 200).

Este diagrama ayuda a que cualquier persona entender de una manera sencilla y rápida el flujo del proceso y cada una de las actividades correspondientes al mismo, esto con el fin de estudiarlo y observarlo para lograr optimizarlo, identificar puntos de mejoras y eliminar cualquier tipo de ineficiencias en el proceso.

Figura 16. Diagrama de flujo de proceso y símbolos



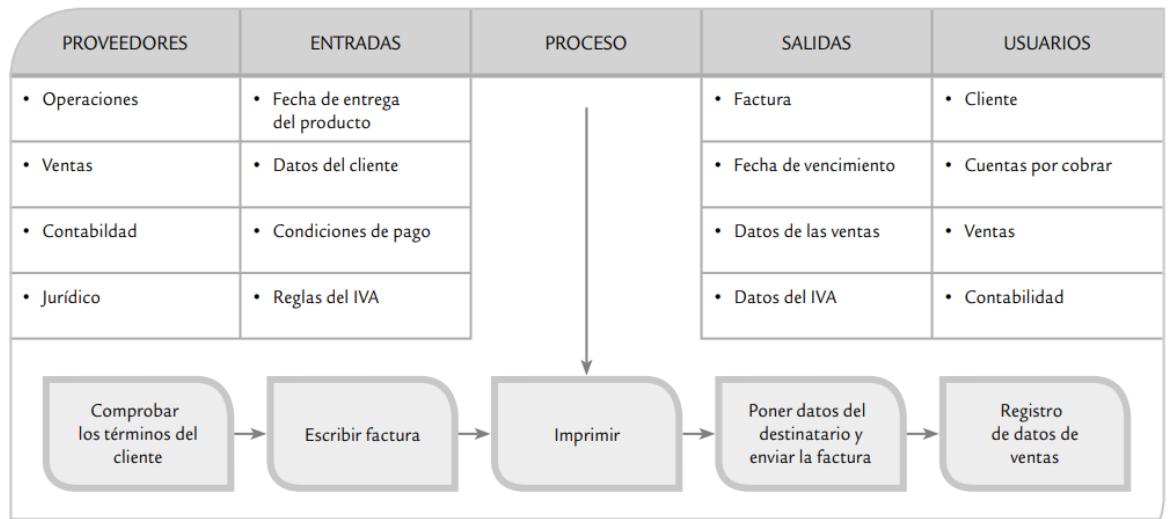
Fuente: Libro calidad total y productividad

### 2.1.7.6. Diagrama de Sipoc

El diagrama de Sipoc también es conocido como PEPSU es comúnmente utilizado para ver las interacciones a un nivel macro de todas las partes dentro de un proceso, para de esta manera poder observar cómo fluye la información de inicio a fin.

Según Gutiérrez & De la Vara (2009) “Este diagrama de proceso tiene como objetivo analizar el proceso y su entorno. Para ellos se identifican los proveedores (P), las entradas (E), el proceso mismo (P), las salidas (S) y los usuarios (U)” (p. 166).

Figura 17. Diagrama de SIPOC



Fuente: Control estadístico de la calidad y seis sigmas

## **2.2. Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto**

### **2.2.1. DMAIC**

La metodología DMAIC es parte de las herramientas que incluye la metodología Six Sigma, la cual da inicios en la compañía de Motorola con el fin de poder hallar soluciones a los problemas durante la administración de proyectos. Eckes (1954), menciona que, Mikel Harry, ingeniero muy hábil, experto, lleno de confianza y conocedor de la estadística, se propuso estudiar las variaciones de los diversos procesos dentro de Motorola. (p. 20). Esto con el fin de mejorar la variación en los mismos.

La metodología Dmaic permite a las organizaciones poder obtener una investigación de manera ordenada.

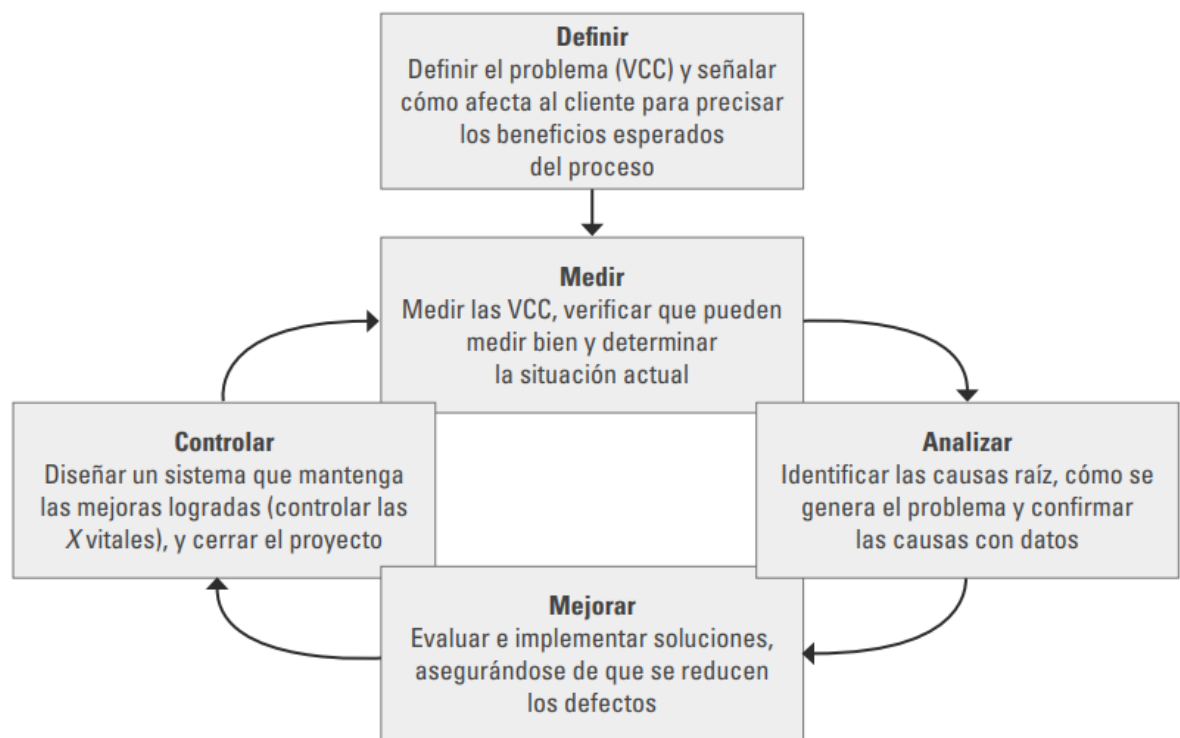
Esta metodología cuenta con cinco fases, las cuales por sus siglas en inglés. Define (definir), Measure (medir), Analyze (analizar), Improve (mejorar) y Control (controlar). Estas mismas fases son las que permiten una investigación sea ordenada y en cada una de sus bases se hace uso de distintas herramientas que ayudan al investigador a obtener investigación valiosa y útil.

Los proyectos realmente generan ahorros o aumento en ventas. Un aspecto que caracteriza a los programas Seis Sigma exitosos es que los proyectos DMAMC realmente logran ahorros y/o incremento en las ventas. Esto implica varias cosas: se seleccionan proyectos clave que en realidad atienden sus verdaderas causas, se generan soluciones de fondo y duraderas, y se tiene un buen sistema para evaluar los logros de los proyectos. Esto tiene que ser así, porque es sabido que la

mala calidad y bajo desempeño de los procesos generan altos costos de calidad. (Gutiérrez & De la Vara, 2009, p.425).

Dicho lo anterior se puede resaltar la importancia del buen uso de la metodología DMAIC, dado que esta elimina la variación de los procesos, aumentando la calidad de los productos y servicios en una organización y por ende disminuyendo costos de calidad.

Figura 18. Ciclo de la metodología DMAIC para el desarrollo de proyectos



Fuente: Libro calidad total y productividad

Etapas de la metodología DMAIC:

- **Definir:** En esta primera etapa lo que se busca es definir lo que se quiere solucionar o mejorar y claramente cuál es el problema que se tiene. En este apartado se define lo que se quiere hacer y cuál es el resultado esperado. Algunas de las herramientas utilizadas en la etapa definir son el diagrama de SIPOC, con el cual se puede hacer análisis de proveedores, las entradas, los procesos, entre otros. Otra herramienta utilizada en este apartado es el Value Stream Map, el cual es sumamente útil si el proyecto está relacionado con la reducción del tiempo de ciclo.
- **Medir:** “El objetivo general de esta segunda fase es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto” (Gutiérrez, 2010, p.291). Dicho lo anterior para esto se necesita analizar la información de forma cuantitativa y estadísticamente para tener un mejor panorama del tamaño del problema. Entre las herramientas empleadas en este apartado se pueden encontrar el Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto.
- **Analizar:** En esta etapa que lo que se busca lograr es priorizar e identificar la causa raíz del problema. “Se trata entonces de entender cómo y por qué se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmar éstas con datos” (Gutiérrez, 2010, p.292). Algunas de las herramientas utilizada en esta etapa si tienen la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, cinco porqués, entre otros.

- **Mejorar:** En este apartado se busca mejorar el problema identificado en la primera etapa de definir, por medio de la propuesta de soluciones que ayuden a mitigar o reduzca el problema. “Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las siguientes herramientas: lluvia de ideas, técnicas de creatividad, hojas de verificación, diseño de experimentos, poka-yoke, etc.” (Gutiérrez, 2010, p.293).
- **Controlar:** En esta última etapa lo que se busca es controlar el plan de acciones establecido para que se mantenga con el tiempo y que de esta forma se siga alentando a la mejora continua. “Muchas veces esta etapa es la más dolorosa o difícil, puesto que se trata de que los cambios hechos para evaluar las acciones de mejora se vuelvan permanentes, se institucionalicen y generalicen” (Gutiérrez, 2010, p.293).

Si se realiza un DMAIC bueno, pero la mejora implementada no se mantiene a nivel diario, la investigación sería completamente en vano. Es por este motivo la importancia de mantener conciencia en una organización y que el personal entienda la importancia de la mejora continua en los procesos, lo cual ayuda a que la calidad sea muchísimo mayor.

### **2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto**

En este apartado del marco teórico se va a describir que impacto va a tener el proyecto a corto, mediano y largo plazo, este impacto va a estar solo enfocado en la línea de producción B, donde se está llevando a cabo la investigación.

El trabajo de investigación del proceso P, está enfocado en lograr un impacto positivo en la productividad en dicho proceso, esto con la ayuda de la metodología DMAIC, con la cual se van a estar haciendo uso de distintas herramientas de ingeniería para lograr de forma exitosa una propuesta al final de la investigación que llegue a mitigar de manera permanente el problema que se está teniendo.

**Corto Plazo:** En el corto plazo con el estudio realizado y aplicando las herramientas ingenieriles necesarias en el proceso P se podrá identificar el problema, así como también la causa raíz del problema. Esto con el fin de tener un panorama claro y poder brindar soluciones tempranas que contribuyan con la mejora continua del proceso.

**Mediano Plazo:** A largo plazo se busca optimizar el uso de la capacidad del recurso humano, esto con la introducción de nuevos equipos que ayuden mejorar los procesos manuales y el aumento de la productividad diaria. A demás de lo mencionado anteriormente se busca aumentar la productividad del proceso mediante la reducción de tiempos.

**Largo plazo:** Lo que se busca a largo plazo es mantener la estandarización del proceso y la mejora propuesta dentro del mismo. Fomentar dentro de los

colaboradores abrazar la mejora continua y evitar toda aquella resistencia, dado que este tipo de mejoras ayudan a ellos hacerles el trabajo más fácil y a la compañía mejorando sus indicadores y métricas.

**Análisis costo-beneficio:** Cuando se habla de un análisis costo-beneficio se refiere al cálculo donde se toman en cuenta costos de un bien o servicio y todos los beneficios obtenidos por su venta, esto con el fin de poder tomar la mejor decisión para hacer una inversión.

Cabe mencionar en cuanto se refiere el costo se considera el dinero que se debe de invertir para obtener un bien o servicio, lo cual puede ser maquinas nuevas por comprar, invertir en capacitaciones de personal, entre otros. En cuanto al beneficio se espera que superen los costos para poder decir que se ha obtenido un resultado positivo, algún beneficio se puede representar en la reducción en los costos, pérdidas de producción o ahorros de dinero para las compañías.

## **2.4. Antecedentes del proyecto o experiencias semejantes**

Se realizó una investigación sobre proyectos realizados anteriormente que tuvieran como objetivo principal la implementación de una mejora en un proceso y que tuvieran una problemática similar a la analizada durante este proyecto, así como también que se haya utilizado la misma metodología y herramientas similares a las usadas. Como resultado de dicha investigación se identificaron los siguientes proyectos:

### **2.4.1. Proyecto 1 con antecedentes semejantes**

En el primer proyecto identificado se desarrolló una propuesta de mejora en el tiempo y recurso humano utilizado en el proceso de creación de artículos en las líneas de inventario en el departamento de repuestos de grupo Purdy en el primer cuatrimestre del año 2022.

Parte de su problemática hace énfasis en que la creación de artículos en las líneas de inventario, donde todas las actividades que constituyen esta tarea se realizan completamente de forma manual, haciendo esto una actividad sumamente ineficiente y consumiendo una cantidad de tiempo bastante grande para su ejecución.

Lo que buscó dicho proyecto fue realizar una propuesta de mejora que permita hacer una optimización en el tiempo dedicado al proceso y también disminuir el uso del recurso humano. La metodología utilizada para este proyecto fue la metodología de DMAIC, siendo esta la misma que se utilizara para el presente trabajo, la cual ayuda de una manera ordenada y práctica para la mejora en

procesos y resolución de problemas. También en dicho proyecto se utilizaron herramientas de análisis de causa raíz y otras herramientas usadas en las diferentes fases de DMAIC que también fueron utilizadas en este proyecto.

Durante dicho proyecto se logró determinar y analizar la situación actual de la empresa y las diferentes causas del problema identificado. La propuesta del proyecto fue el desarrollo de un plan para la creación de un módulo de creación masiva de líneas de inventario para ser usada por el departamento de repuestos.

#### **2.4.2. Proyecto 2 con antecedentes semejantes**

El segundo proyecto identificado fue desarrollado en el primer semestre del año 2022 y también fue aplicado en la empresa Purdy Motor. En este caso el proyecto identificó un problema en las bahías de mantenimiento preventivo de la empresa debido a que los vehículos no estaban entregando en el tiempo correcto.

Para lograr el objetivo de dicho proyecto también se utilizó la metodología DMAIC y otra serie de herramientas que también fueron utilizadas en este proyecto. El objetivo era reducir el tiempo del proceso y mejorar la eficiencia y la propuesta final fue orientada a lograr este objetivo que se considera también una mejora de procesos para mejorar la productividad y el aprovechamiento de los recursos.

## **CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Metodología para la definición del problema**

En la etapa de definición del problema se hablará de las diferentes herramientas que fueron utilizadas para identificar cual era el problema en el Proceso P.

En la etapa los resultados no son definitivos, es tan solo el inicio de recopilación de datos para estudiarlos en etapas posteriores (etapa de análisis de la metodología DMAIC). Estas recopilaciones de datos son sumamente importantes por que ayudarán al ingeniero a tener mayor entendimiento de cuál es el problema y de la magnitud de este.

Toda industria de producto o servicio trabaja de la mano de indicadores y métricas que ayudan a saber cómo va el funcionamiento y rendimiento de esta, cuando estos indicadores o métricas no se cumplen como la empresa lo tenía estipulado es debido a que algo en los procesos no está funcionando de la manera esperada y por ende hay un problema que solucionar. Es ahí donde existe la necesidad de estudiar los procesos y hacer la investigación necesaria para atacar la causa raíz del problema existente.

Como parte de lo mencionado anteriormente es donde se hace el uso de metodologías como DMAIC y de las distintas herramientas de ingeniería existentes.

Algunas de las herramientas utilizadas para la definición del problema se tienen los análisis de causa raíz con el cual se pudo aplicar herramientas como los 5 porqués, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, diagrama de flujo, diagrama de Pareto, diagrama de Sipoc.

Cabe destacar que algunas de las herramientas más importantes utilizadas en la etapa de definir fueron los análisis de causa raíz, utilizando específicamente los 5 porqués, dado que nos permite mediante la pregunta porque ir conociendo porque esta ocurrió determinada situación y el diagrama de Ishikawa que permite de una manera muy acertada ir descartando posibilidades y poder estudiar el área o las áreas que se están viendo afectadas.

Tabla 1. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Definición

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
Definición	Los 5 Porqués	Mediante una serie de preguntas hechas de manera cronológica se puede llegar a la causa raíz de un problema.	Una vez definido el problema se realiza un 5 porque para llegar a la causa raíz del problema.	Se tiene de una manera más clara la razón del porque los operarios de producción no logran cumplir con la meta mensual utilizando los recursos destinados para el proceso P.
	Lluvia de Ideas	Generar ideas con un grupo de personas multidisciplinario para encontrar una solución a un problema complejo.	Se procede a realizar una lluvia ideas con entrenadores, operarios, ingenieros y técnicos. (todos estos conocen bien el proceso).	Se logra obtener suficiente información para iniciar la búsqueda de la causa raíz del problema.
	Diagrama de Causa - Efecto	Herramienta visual ayuda a comprender de una manera gráfica las posibles causas de un problema, ayudando a agrupar las causas potenciales en seis ramas principales (6M).	Reunión con el ingeniero industrial para agrupar las causas en las ramas principales de las 6M.	Se conoce en que ramas de las 6M están afectando las posibles causas.

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
	Diagrama de Flujo de Proceso	Representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso, incluidos transportes, inspecciones, esperas, almacenamientos y actividades de proceso.	Revisión del procedimiento para la creación del diagrama de Flujo.	Se logra observar de una manera gráfica todas las actividades que corresponden al proceso P.
	Diagrama de Pareto	Ayuda a visualizar y ordenar de mayor a menor de una manera gráfica todas las causas que están afectando el proceso, para dar prioridad a las principales causas en las que se debe trabajar.	Según el porcentaje de participación obtenido en la clasificación de causas N.P.I, se realiza el diagrama de Pareto para conocer las principales causas que están afectando el problema.	Se tiene gráficamente un conocimiento más claro de las causas principales que está afectando el problema.
	Diagrama de Sipoc	Se conoce a nivel macro todos aquellos factores internos y externos que son necesarios y aplican a un proceso en específico.	Reunión con el ingeniero industrial y líder de producción para conocer todos los factores que le aplica al proceso a nivel macro.	Se conoce quienes suministran los materiales y flujo del proceso.

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
	Bitácora de observación	Ayuda a documentar mediante la observación del proceso todos aquellos pasos y detalles relevantes al proceso.	Observar al operario como ejecuta el proceso paso a paso e ir haciendo consultas sobre el proceso.	Lograr conocer a detalle cada paso del proceso y determinar si hay pasos que los operarios consideren difíciles de ejecutar.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **3.2. Metodología para la medición y el respaldo cualitativo del proyecto**

Continuando con la metodología DMAIC, la empleada para el desarrollo de este proyecto se llega a la fase de medir, en la cual se hace toda la recolección de datos necesaria para poder darle sustento a las siguientes etapas.

Para esta etapa se definen los parámetros de medición, cuál va a ser el método utilizado para la recolección de datos, si existen indicadores críticos y cuáles podrían ser las variables que los estén afectando.

Las técnicas estadísticas son de gran importancia en todo tipo de empresas y en una gran diversidad de situaciones. Por ejemplo, son útiles para:

- Identificar dónde, cómo, cuándo y con qué frecuencia se presentan los problemas (regularidad estadística)
- Analizar los datos procedentes de las guías clave del negocio, para así identificar las fuentes de variabilidad, analizar su estabilidad y pronosticar su desempeño.
- Detectar con rapidez, oportunidad y a un bajo costo anomalías en los procesos y sistemas de medición (monitoreo eficaz).
- Ser objetivos en la planeación y toma de decisiones, evitando frases como el “yo siento”, el “yo creo”, “mi experiencia” y el abuso de poder en la toma de decisiones.
- Expresar los hechos en forma de datos y evaluar de manera objetiva el impacto de acciones de mejora.

- Enfocarse en los hechos vitales; es decir, en los problemas y causas realmente importantes.
- Analizar de manera lógica, sistemática y ordenada la búsqueda de mejoras. (Gutiérrez, 2010, p.146).

Para la recolección de datos existen distintas formas de hacerlo y según los datos a analizar se va a definir la herramienta para hacer su respectivo análisis.

Se pueden clasificar los datos de dos formas: Cuantitativos y cualitativos. “Las variables cualitativas (nominales o de atributos) son aquellas cuyas características que se estudian no son numéricas. Por ejemplo, el tipo de producto, si éste funciona o no, etc.” (Gutiérrez, 2010, p.147). También se consideran como cualitativos los colores, pasa o falla, bueno o malo.

Las variables cuantitativas son datos discretos o continuos, que se pueden medir o contar, en otras palabras, son aquellas que se pueden representar en forma de números. En cuanto a los datos discretos se puede considerar un ejemplo como número de unidades defectuosas en un lote de manufactura, o número de quejas por parte del cliente. Por su parte un ejemplo de una variable continua puede ser el tiempo empleado para manufacturar una unidad en un lote de producción, o el tiempo en que dura un cliente en ser atendido.

“Intuitivamente las variables de tipo continuo son aquellas que requieren un instrumento de medición para cuantificarse, como peso, volumen, voltaje, longitud,

resistencia, temperatura, humedad, tiempo, dimensiones varias, etcétera.” (Gutiérrez, 2010, p.148).

### **3.2.1. Estudio de tiempos**

Para este trabajo el método a utilizar para la recolección de datos será el estudio de tiempos, el cual entre su principal objetivo es mejorarla productividad de las empresas haciendo un uso eficiente de los recursos o insumos utilizados para la manufactura de los productos.

Según la con la Oficina Internacional del Trabajo, se puede definir como “El estudio sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se está realizando” (Oficina Internacional del Trabajo, 2005).

Para la selección de los operarios en un estudio de tiempos se tiene que tomar en cuenta el departamento para poder seleccionar a la persona o personas idóneas para la tarea. Lo ideal o lo que se busca en la selección del operario es que no sea una persona con habilidades superiores o uno menos calificado para de esta forma el estudio no se vea afectado y sea lo más asertivo posible.

Es de suma importancia que la persona utilizada para hacer el estudio de tiempos esté capacitada en el proceso, que conozca los procedimientos, mostrar una buena actitud, colaboración y tener confianza en el analista que vaya a realizar el estudio.

En un estudio de tiempos hay varios factores que se tiene que tomar en cuenta para poder obtener el tiempo estándar. Los cuales son: factor de calificación, suplementos u holguras, tiempo observado, tiempo normal. A continuación, se hará una breve explicación de cada uno de estos factores para poder tener un mejor entendimiento de cómo realizar un estudio de tiempos.

### 3.2.1.1. Factor de calificación

Para poder determinar un factor de calificación para este estudio de tiempos se hizo uso del sistema de Westinghouse, donde indica el valor correspondiente que aplica a puntos como habilidad, esfuerzo, condiciones, consistencia.

Cabe destacar que estos valores varían según la o las personas bajo estudio sean hombres o mujeres. Para hacer el cálculo de total, se realiza una sumatoria de todos los valores correspondientes a cada factor descrito en la tabla.

Tabla 2. Factor de calificación.

Porcentaje de actuación en base al sistema Westing House		
Factor	Clasificación	Valor
Habilidad	B1	0.08
Esfuerzo	A2	0.12
Condiciones	B	0.04
Consistencia	B	0.03
	TOTAL (C.)	0.27

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Suplementos u holguras

En un estudio de tiempos es de suma importancia tomar en cuenta todos aquellos suplementos u holguras presentes que normalmente no son considerados a la hora de hacer el estudio, en el cual solo se hace la medición del tiempo que se dura procesando las unidades, es de suma importancia considerar en el estudio de tiempos ciertos suplementos y holguras los cuales pueden ser necesidades personales, limpieza de la estación o máquinas.

Para la realización del estudio de tiempos de este proyecto se considera los suplementos y holguras que viene en las tablas de La Oficina Internacional del trabajo donde indica los porcentajes que le aplican a hombres como a mujeres.

En la siguiente tabla se puede observar las holguras o suplementos que le aplican al proyecto. Dichos suplementos son los que se utilizaron para hacer el cálculo del tiempo estándar asociado al proceso P a partir de los tiempos medidos durante el estudio de tiempos (ver sección 4.3).

Tabla 3. Factor de calificación

<b>Suplementos por descanso (tiempo suplementario)</b>		
<b>Suplementos constantes</b>	<b>%</b>	<b>Valor</b>
A. Suplemento por necesidades	7%	0.07
B. Suplemento base por fatiga	4%	0.04
<b>Suplementos variables</b>		
A. Suplementos por trabajar de pie	0%	0
B. Suplementos por postura anormal	1%	0.01
C. Uso de fuerza/energía muscular	1%	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>13%</b>	<b>0.13</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.3. Tiempo observado

Para obtener el tiempo observado, se saca un promedio del total del número de ciclos en el estudio de tiempos

Figura 19. Formula del tiempo observado

$$\textit{Tiempo observado} = \frac{\textit{Suma de total de los tiempos}}{\textit{Cantidad total de conteos}}$$

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.4. Tiempo normal

En el tiempo normal se conoce como el tiempo que le toma a una persona realizar una tarea de manera normal, lo cual implica todos aquellos factores que se puedan dar en la producción del dispositivo, esto incluye la rapidez o lentitud del operario, lo cual se traduce en habilidad, el esfuerzo que requiera para ejecutar la tarea, o bien condiciones en las que trabaje. Por ende, en este proyecto para realizar el cálculo del tiempo normal se va a considerar multiplicar el tiempo observado y el factor de calificación.

### 3.2.1.5. Tiempo estándar

Para proceder hacer el cálculo del tiempo del tiempo estándar se realiza una multiplicación del tiempo normal y los suplementos por descansos.

Lo cual ya refleja de una manera más realista todas aquellas variables que pueden influir directamente un proceso de producción, haciendo que efectivamente estos tiempos sean más apegados a la realidad.

### **3.2.2. Tabla de ponderación de Causas Encontradas**

Se procede a ir identificando las principales causas con mayor participación que están afectando el problema. Los rangos utilizados para la creación de esta tabla están definidos en las tablas número 6,7 y 8.

La finalidad en esta tabla es dar un valor de peso a cada una de las causas, este valor de peso se les asigna a tres variables distintas, las cuales son: el grado de impacto, grado de frecuencia y grado de duración, estos tres factores ayudaran a obtener las variables con más importancia que están afectando la productividad del Proceso P.



Estos pesos fueron asignados por parte de un equipo multidisciplinario que conoce muy de cerca el proceso, mismo que participó en la lluvia de ideas.

Una vez obtenidos los datos de la matriz se procede a crear un diagrama de Pareto para identificar con la regla 80-20 las principales causas. A continuación, se observa la tabla de tabulación creada.



A continuación, se presentará la tabla del grado de impacto y sus respectivos pesos, según el criterio del equipo experto en el proceso.

Tabla 6. Grado de impacto de las causas

Grado de Impacto de las causas	Peso
MUY POCO	2
POCO	4
MEDIO	6
ALTO	8
MUY ALTO	10

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentará la tabla del grado de frecuencia y sus respectivos pesos, según el criterio del equipo experto en el proceso.

Tabla 7. Grado de frecuencia de las causas

Grado de frecuencia de las causas	Peso
NUNCA	2
MUY POCO	4
POCO	6
FRECUENTE	8
SIEMPRE	10

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentará la tabla del grado de duración y sus respectivos pesos, según el criterio del equipo experto en el proceso.

Tabla 8. Grado de duración de las causas (retraso por día)

Grado de duración de las causas	Peso
1 a 10 MINUTOS	2
11 a 20 MINUTOS	4
21 a 30 MINUTOS	6
31 a 40 MINUTOS	8
MÁS DE 40 MINUTOS	10

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Medición y Análisis

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
Medición y Análisis	Clasificación de Causas Herramienta 6M.	Ayuda a clasificar las causas según su grado de importancia, definiendo para cada causa un porcentaje de participación.	Con la ayuda del porcentaje de participación otorgado a cada causa se realiza el diagrama de Pareto para conocer las principales causas que están afectando el problema.	Se observa de manera gráfica las causas más importantes a trabajar para la resolución de el problema.
	Estudio de tiempos	El estudio de tiempos se utiliza para reducir el tiempo de una tarea, eliminar o reducir movimientos ineficientes, ayuda en la ergonomía, entre otro.	Se hace una toma de tiempos de 10 muestras a 2 operarias de producción para conocer el tiempo observado.	Tener conocimiento del estado actual del proceso y del tiempo estándar.

Fuente: Elaboración Propia

### **3.3. Metodología para la propuesta de mejora**

El enfoque en esta etapa es poder encontrar mejoras en el proceso estudiado. Siguiendo el orden cronológico de las etapas de la metodología DMAIC, esta fase se enfoca en la etapa de analizar.

Parte de sus objetivos se basan en identificar las posibles causas que estén provocando defecto, seleccionar las causas que inicialmente parecen las más probables y terminar de confirmar las pocas causas que estén provocando los defectos, esto mediante análisis estadísticos.

Con ayuda de herramientas como los diagramas de procesos podemos obtener de manera visual y grafica todos los pasos necesarios que pueda tener un proceso para llevarse a cabo. Lo cual ayuda que cualquier persona puede entender de manera simple el proceso de inicio a fin y todas las variables que lo conforman.

Parte de las variables que se pueden observar en los diagramas de procesos son: materiales o componentes, nombre y número de proceso, número de procedimientos que le aplican a ese proceso, equipos que se usan en el proceso, planos de materiales.

Una vez conociendo de manera concreta el proceso estudiado se puede utilizar un diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto con el fin de tomar en cuenta todas las posibles fallas, desde las de bajo impacto hasta la más graves que puedan estar afectando el proceso en estudio. Estas fallas pueden estar distribuidas entre material, medida, método, hombre y medio ambiente.

Otra herramienta que va a ser muy útil para el análisis del proceso y para encontrar una causa raíz del problema son los 5 porque, por que mediante una serie de preguntas hechas de manera cronológica se puede llegar a la causa raíz. A la hora de realizar un 5 por que es importante que dentro de las preguntas realizadas se contemple las 5Ws, las cuales son las siguientes: ¿Quién?, ¿Qué?, ¿Cuándo?, ¿Dónde?, ¿Por qué?, ¿Cómo?, esto ayudara a tener un análisis mucho más acertado.

Para concluir otra herramienta que ayudara a definir con mayor precisión es realizando una lluvia de ideas con ayuda de un equipo multidisciplinario y también con ayuda de operarios calificados en entrenados en el proceso.

Tabla 10. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Análisis

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
Análisis	Metodología de Análisis de causas.	Validación de causas identificadas e identificación de cómo se pueden resolver.	Utilización de la metodología a través de la aplicación de diferentes herramientas ingenieriles.	Definición y validación de las causas y desarrollo de acciones correctivas.
	Técnica de los 5 Por qué.	Indagación de las causas del problema, el por qué se consideran así y si se encuentran debidamente definidas.	Entrevista con los encargados del proceso.	Validación de las causas identificadas para corroborar que sean las correctas.
	Multi voto.	Clasificación de las diferentes causas identificadas, con el fin de determinar las de mayor importancia.	Aplicación de la herramienta con los encargados del proceso para conocer su criterio experto.	Determinación de las causas de mayor relevancia.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. Metodología para la implementación del proyecto**

Siguiendo cronológicamente con las fases de la metodología DMAIC, la fase siguiente es la de implementación de la mejora.

Lo que se busca en este apartado es identificar propuestas que ayuden a la solución de las causas previamente identificadas y estudiadas en fases anteriores, esto con el fin de poder reducir o eliminar el problema.

El plan de implementación solo aplica para el Proceso P, de la línea de producción B. Este plan busca hacer un cambio en el proceso que ayuda a aumentar la productividad de la manera más eficiente posible, esto con la ayuda de ingenieros del área encargados de hacer los respectivos cambios a nivel de procedimientos y entrenadores de producción que serán los encargados de entrenar al personal en los nuevos cambios propuestos, en caso de que la mejora se considere para ser implementada en el proceso.

En todo caso, antes de realizar cualquier implementación al proceso o realizar cambios en procedimientos, parte del plan y como primer paso esta realizar pruebas piloto en el proceso del plan propuesto, para de esta forma recibir retroalimentación del personal y ver oportunidades de mejora que puedan hacer que el proceso sea lo más factible para los operarios y para la empresa como tal.

Adicional a esto como punto final, es sumamente importante que dentro del plan de implementación se contemple el seguimiento dado de cómo va reaccionado el proceso a los nuevos cambios implementados durante cierta cantidad de días,

para verificar que efectivamente la mejora propuesta está dando los resultados esperados.

Tabla 11. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Controlar.

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
Implementación	Diagrama de Gantt.	Programación y representación visual de las actividades a realizar para la implementación de una mejora.	Definición del cronograma de acciones, asignar recursos y definir predecesores y actividades de ruta crítica	Se proyectan las acciones específicas para poner en marcha el plan de mejora. Se define el tiempo y orden para ejecutar cada acción.
	Análisis económico de costo-beneficio.	Validación de la propuesta de mejora en relación con los recursos necesarios para la implementación vs los beneficios esperados.	Recaudación de datos necesarios. Elaboración del análisis para la definición de los cálculos relacionados.	Se cuantifica la viabilidad de la propuesta. Si esta es asequible para ser desarrollada por la organización y el valor que generará.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5 Metodología para la verificación, el aseguramiento, el control, y seguimiento de resultados**

En este apartado se trabajará con la última fase de la metodología DMAIC, la fase de control. Como parte de su objetivo es poder evidenciar las mejoras y verificar el resultado exitoso de la implementación, o bien si hay errores que se puedan presentar en el modelo propuesto. Lo cual ayudará a mantener la mejora continua en el proceso.

Parte de controlar de manera efectiva la mejora propuesta es hacer cambios en procedimientos, donde le indiquen a los operarios el nuevo método a trabajar para que este método sea estandarizado.

Dar el entrenamiento respectivo con la nueva mejora en el proceso a todo el personal capacitado para desempeñar el Proceso P.

Con ayuda del departamento de entrenamiento dar seguimiento que efectivamente las personas capacitadas estén usando el nuevo método y no haya resistencia al cambio.

Tabla 12. Herramientas para desarrollo de la Etapa de Controlar

Etapa	Herramienta Ingenieril	Utilidad	Aplicación (actividad)	Resultado
Control	Estandarización de procesos.	Permite la creación de procedimientos y normas a cumplir en un proceso.	Evaluación de los puntos críticos del proceso para de forma clara definir los procedimientos a cumplir.	Se identifica la forma y modo óptimo para ejecutar las acciones. Se determinan las normas o procedimientos de relevancia.
	Plan de control	Permite validar el rendimiento de una propuesta de mejora. Controlar que las acciones se estén realizando de forma estandarizada. Posibilita nuevas oportunidades de mejora.	Definición de los puntos a controlar para la creación de acciones de control.	Se definen los puntos a controlar, así como la periodicidad con que deben ser controlados y la forma en que lo serán.

Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO IV. LÍNEA BASE Y ANÁLISIS DE CAUSA**

## **4.1. Diagnóstico de la situación actual**

En esta sección del proyecto se desarrollarán las etapas de DMAIC, medir y analizar. Con el fin de dar respaldo de que efectivamente hay un problema el cual solucionar. Este problema se evidenciará y describirá con la ayuda de datos cuantitativos los cuales serán estudiados con el uso de herramientas ingenieriles que ayudarán a dar peso al problema por solucionar.

El problema actual se presenta en el proceso P de una de las líneas de producción de Boston Scientific. El problema que se había identificado en la línea B fue el incumplimiento de la producción mensual en uno de sus procesos, lo cual genera problemas como desbalances de línea y por ende una disminución en la productividad. Actualmente se desconoce la causa raíz que está ocasionando el incumplimiento de las metas establecidas para este proceso.

Este problema como se ha mencionado anteriormente ocasiona que la productividad de la línea y del proceso no sea la óptima. Una baja productividad puede también ocasionar costos altos de producción, un mal aprovechamiento del recurso humano, aumentos en los plazos de entrega, pago de horas extras para poder cumplir con la demanda entre otros.

## **4.2. Identificación del problema en el proceso P**

### **4.2.1. Observación propia del proceso**

Para lograr identificar las causas que están generando un problema en la productividad en el Proceso P, primeramente, se da inicio observando personalmente el proceso para de esta manera tener un mejor entendimiento del mismo y poder tener una mejor visión de las variables necesarias a tomar en cuenta para la aplicación de las distintas herramientas de Lean manufacturing que serán empleadas a lo largo del capítulo cuatro.

Tabla 13. Bitácora de observación del Proceso P.

Actividad	Fecha	Comentarios
Obtener materiales	3 enero 2023	El operario se encarga de obtener los materiales necesarios para realizar el proceso P y verifica que los materiales sean los correctos.
Unión del tubo largo al tubo pequeño	3 enero 2023	<p>En este proceso el tubo largo se inserta dentro del tubo pequeño y se colocan con ambos extremos al ras.</p> <p>Para unir estos tubos se aplica de forma manual (presionando la botella que viene del proveedor) un primer adhesivo (Loctite 4306)</p> <p>Este primer adhesivo tiene una menor consistencia que el otro adhesivo que se aplica más adelante en el proceso. textura más espesa (Loctite 4307)</p>
Unión de los tubos al tercer componente	3 enero 2023	Al ensamble de los dos tubos unidos se le agrega un componente adicional. Esta unión se realiza aplicando de forma manual (presionando la botella que viene del proveedor) un segundo tipo de adhesivo (Loctite 4307) que tiene una mayor consistencia que el adhesivo Loctite 4306
<b>Observaciones</b>		
Se realizó consulta a varios operarios preguntando sobre cuál era la parte del proceso que consideraban que tomaba más tiempo y todos manifestaron que consideraban el paso en el que se aplica el segundo adhesivo como el más complicado del proceso y que les toma más tiempo de realizar.		

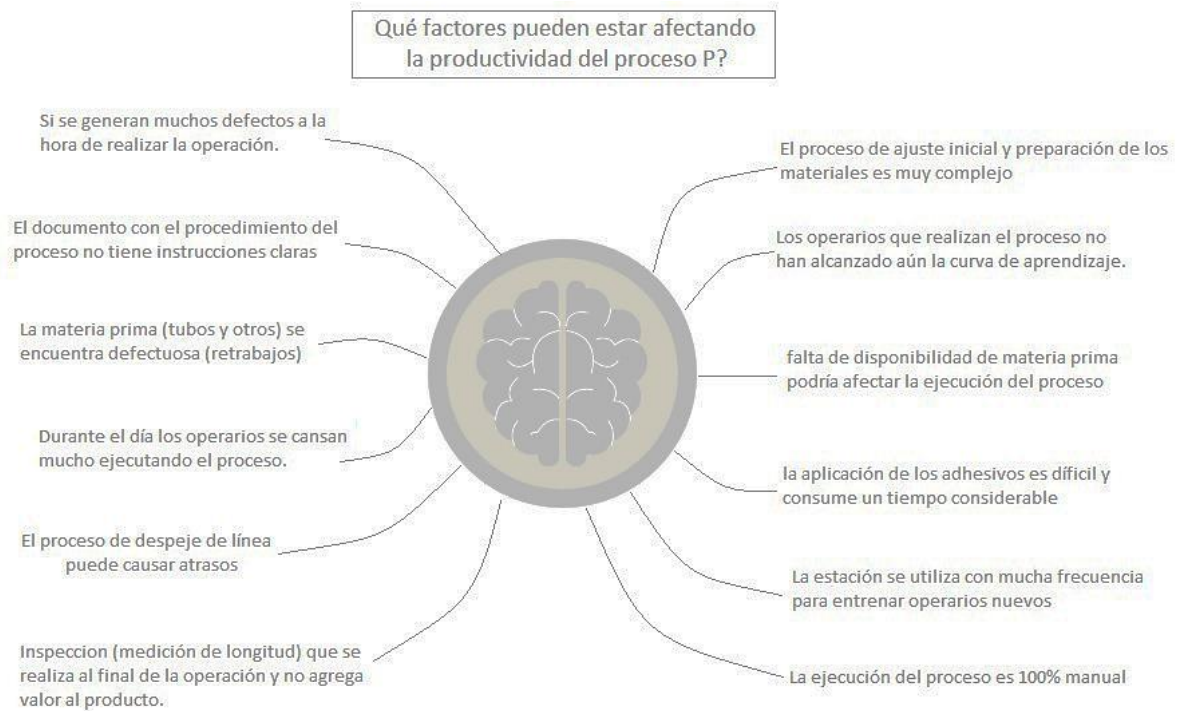
Fuente: elaboración propia

#### **4.2.2. Lluvia de ideas**

Continuando con la búsqueda de la causa raíz que está afectando el Proceso P, se decidió hacer una lluvia de ideas con la ayuda de un equipo multidisciplinario del área el cual conoce bien el proceso. Para esta lluvia de ideas se tomó en cuenta al ingeniero de proceso del área, al técnico de calidad, técnico de manufactura, al ingeniero de entrenamiento, entrenador del área y dos operarios entrenados en el proceso.

Para dar inicio a la lluvia de ideas como problema se definió la disminución en la productividad del Proceso P. Para la lluvia de ideas por parte del equipo se realizó la siguiente pregunta: ¿Qué factores pueden estar afectando la productividad del Proceso P? La figura 19 muestra las ideas documentadas.

Figura 20. Lluvia de Ideas factores que afectan productividad del Proceso



Fuente: elaboración propia.

### 4.2.3. Diagrama de Sipoc

Se desarrolla un diagrama de SIPOC con el fin de poder tener un mejor entendimiento de cómo se involucran todas las partes dentro del proceso y poder tener una mejor visión a nivel macro del mismo.

Se explicará más a detalle cada etapa que contiene el diagrama de flujo del proceso.

#### 4.2.3.1 Contar y seleccionar el material

Al inicio de cada orden de producción se deben preparar 60 unidades lo cual corresponde a un orden, se deben preparar 60 unidades del tubo grande, 120

unidades del tubo pequeño, esto debido a que el tubo pequeño se coloca a ambos lados del tubo grande y 120 unidades del tercer componente.

#### **4.2.3.2 Enhebrado del tubo pequeño al tubo grande**

Una vez preparado y contado el material se procede hacer el enhebrado de las 120 unidades del tubo pequeño sobre el tubo grande.

#### **4.2.3.3 Unión del tubo pequeño al tubo grande**

Con el uso de adhesivo Loctite 4306 se unen los tubos pequeños al tubo grande en toda su circunferencia, lo que significa que hay que hacer 120 uniones.

#### **4.2.3.4 Unión de los al tercer componente**

Una vez ambos tubos fueron unidos se hace el uso del adhesivo 4307 para hacer la unión del tercer componente a los tubos ya previamente pegados. Este proceso se hace de igual manera 120 veces por lote de producción.

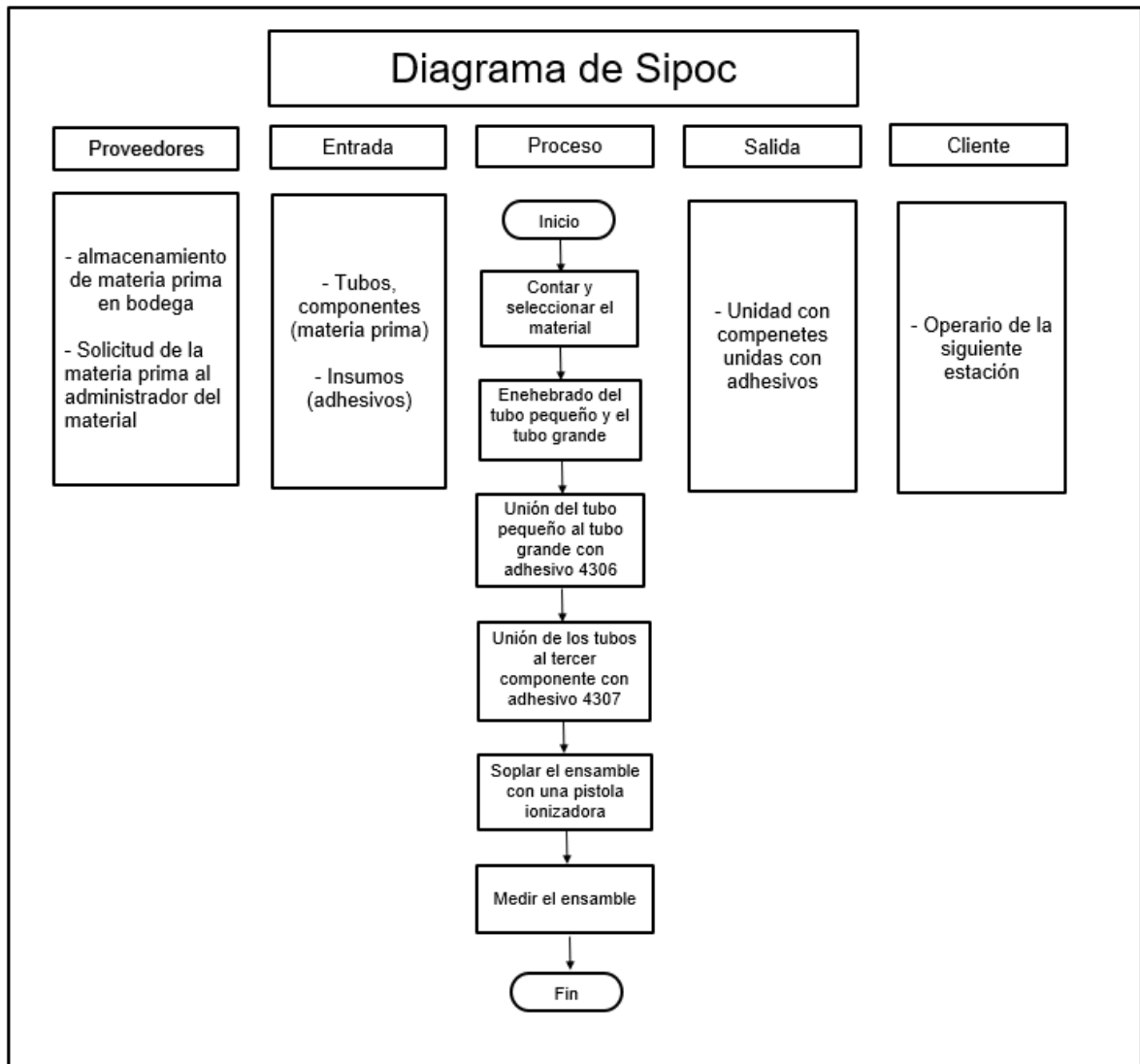
#### **4.2.3.5 Soplar el ensamble con una pistola ionizadora**

Ya una vez las tres materias primas están unidas se debe soplar con una pistola de aire ionizante para poder remover cualquier tipo de partícula que se les haya adherido a las unidades durante el proceso.

#### **4.2.3.6 Medición del ensamble**

Al final de todo el ensamble se debe hacer una medición en cada una de las unidades para verificar que las unidades permanezcan dentro del rango especificado en el procedimiento.

Figura 21. Diagrama de Sipoc de Proceso P



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.4. Clasificación de Causas Herramienta 6 M

Con base a la información recopilada en la lluvia de ideas, se hace una clasificación según su grado de importancia. Estas causas son trasladadas a una matriz para su respectivo análisis.

A continuación, se podrán ver las causas detectadas en el análisis de causa raíz, las cuales nos guiarán en la causa raíz del problema.

Tabla 14. Clasificación de causas

#	Causas	Clasificación	ID
1	La aplicación de adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable	Método	2.7
2	Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso	Método	2.3
3	La ejecución del proceso es 100 % manual	Método	2.9
4	La medición que se realiza al final de la operación no agrega valor al producto	Medición	4.1
5	Los operarios que realizan la operación no han alcanzado aun la curva de aprendizaje	Mano de obra	1.3
6	La estación se utiliza mucho para entrenamientos	Mano de obra	1.4
7	El procedimiento de ajuste inicial y preparación de los materiales es muy complejo	Método	2.5
8	La estación se utiliza con mucha frecuencia para entrenar operarios nuevos	Mano de obra	1.1
9	Se generan muchos defectos a la hora de realizar la operación	Mano de obra	1.2
10	La falta de disponibilidad de materia prima podría afectar la ejecución del proceso	Materia prima	3.1
11	La materia prima (tubos y otros) se encuentra defectuosa (retrabajos)	Materia prima	3.2
12	El procedimiento no tiene instrucciones claras	Método	2.1

Fuente. Elaboración Propia

Con ayuda del uso de la herramienta de 6 M se puede observar el comportamiento de cada una de las causas en su clasificación operativa. A cada una de estas causas se les asigna un identificador único que será de ayuda para ubicarlas de manera más fácil en herramientas posteriores.

La elección de estas causas proviene de reuniones en grupo, las cuales ayudaron a la eliminación de causas y mantener solo aquellas que tienen mayor participación en la generación del problema.

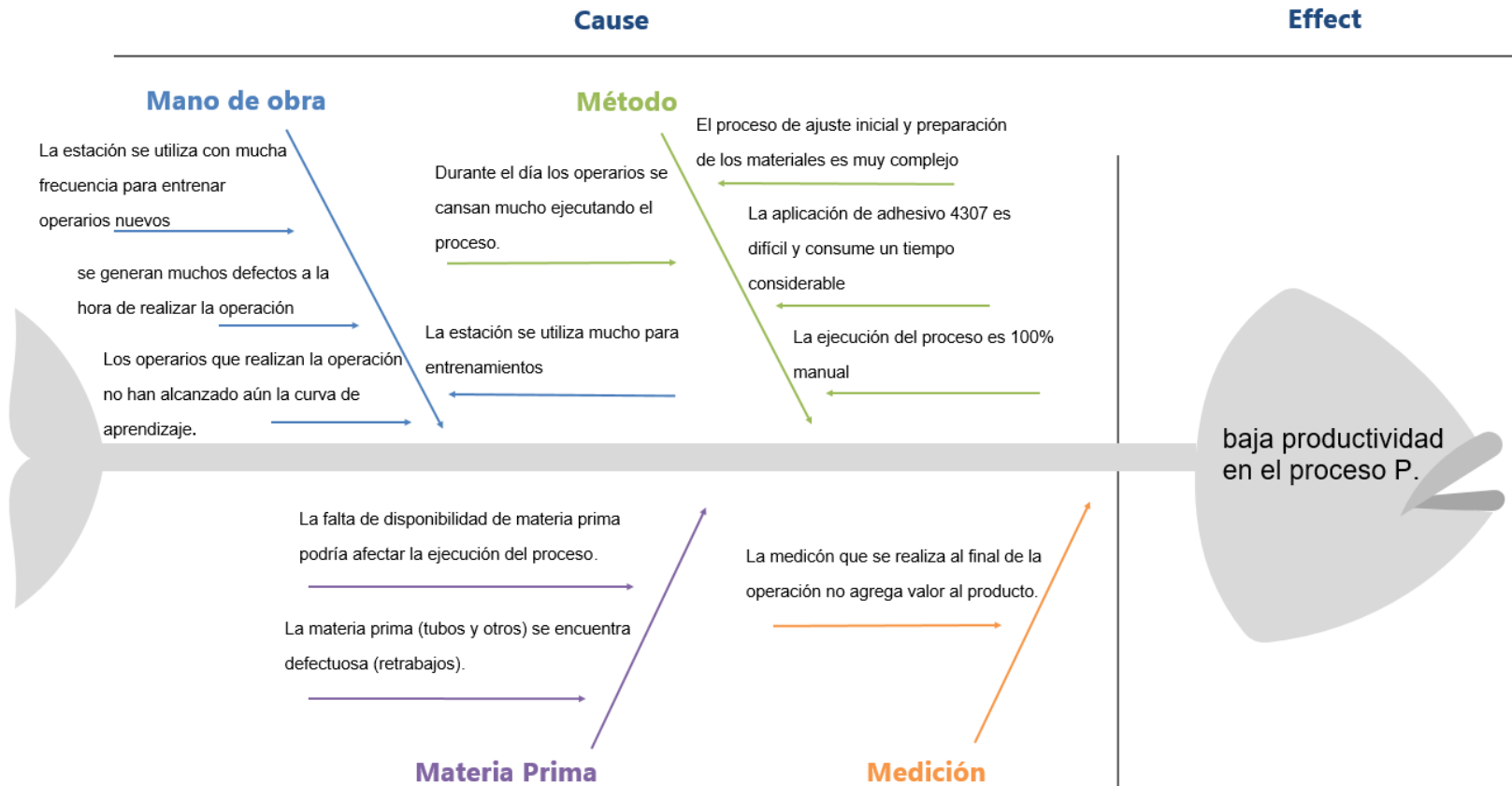
#### **4.2.5. Diagrama de Ishikawa**

Con base a la información obtenida en el piso de producción, por medio de observaciones, lluvia de ideas por parte del equipo y entrevistas a los colaboradores se hace un mejor análisis del proceso y se identificaron ciertas causas que provocan el problema raíz en la baja productividad del proceso P.

Una vez identificadas las causas más relevantes se procede a realizar la asignación de estas causas según las 6 M utilizadas en el diagrama de Ishikawa (medida, máquina, material, mano de obra, método y medio ambiente).

A continuación, se muestra el diagrama de Ishikawa para una mejor apreciación de las causas identificadas.

Figura 22. Diagrama de Causa y Efecto



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el diagrama de Ishikawa, la distribución de cada una de las causas en cada M, se identificaron 12 causas directas posibles que pueden estar perjudicando la productividad del Proceso P.

Estas causas se clasifican de la siguiente manera: 5 causas en método, 4 causas en mano de obra, 2 causas en materia prima y 1 causa en medición.

A continuación, se detallará cada una de estas causas.

### **Método:**

**La aplicación de adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable:** Este adhesivo es considerablemente espeso, la botella donde se encuentra el adhesivo es bastante dura, esto con el fin de proteger la consistencia del adhesivo que se ve afectado si está expuesto a la luz. Esto provoca que a la hora de hacer la aplicación del adhesivo requiera hacer una fuerza importante para poder aplicarlo, lo cual hace que su aplicación sea difícil y lenta a su vez.

**Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso:** según lo conversado con los operarios certificados en la estación, debido a la dureza y consistencia del adhesivo provoca fatiga en manos y brazos durante el transcurso del día, lo que afecta directamente el ritmo con el cual se producen las unidades y se va disminuyendo el ritmo debido a esa fatiga.

**La ejecución del proceso es 100% manual:** La ejecución del Proceso P es 100 % manual, los operarios de producción no cuentan con ningún fixture o equipo que facilite la aplicación de los adhesivos 4306 y 4307.

**El procedimiento de ajuste inicial y preparación de los materiales es muy complejo:** Al inicio de cada lote se debe hacer el enhebrado de los 120 tubos pequeños dentro de los 60 tubos largos (Se enhebran 60 tubos pequeños en ambos extremos de los 60 tubos largos). Contar todos los materiales necesarios para el inicio de cada lote se tarda aproximadamente entre 30 y 40 minutos. Es importante mencionar que durante el día se hacen 2 cambios de lote.

**El procedimiento no tiene instrucciones claras:** En la realización de la lluvia de ideas se mencionó que el procedimiento no tenía instrucciones claras, para esto se hizo una lectura con el departamento de entrenamiento para determinar qué oportunidad de mejora tenía el procedimiento y si era necesario hacer cambios.

#### **Mano de obra:**

**Los operarios que realizan la operación no han alcanzado la curva de aprendizaje:** Hay dos operarios certificados en la operación que aún no han alcanzado la curva de aprendizaje según el área de entrenamiento, esto debido a la complejidad del mismo en la aplicación de los adhesivos, en especial el adhesivo 4307.

**Se generan muchos defectos a la hora de realizar la operación:** En el proceso P hay defectos especialmente en los entrenamientos, sin embargo,

son pocos los defectos y no hay indicios que este sean un factor que afecte la productividad del proceso.

**La estación se utiliza mucho para entrenamientos:** Por temas de rotación para poder cubrir ausentismos, por ergonomía, entre otros, pueden que haya entrenamientos abiertos en el proceso P cada cierto tiempo, sin embargo, no está el 100% del tiempo con entrenamientos de operarios.

**La estación se utiliza con mucha frecuencia para entrenar operarios nuevos:** La estación no es utilizada constantemente para el entrenamiento de nuevos operarios de producción, más sin embargo cuando hay entrenamientos abiertos afecta considerablemente la productividad del proceso debido a la complejidad del mismo en la aplicación de adhesivo.

### **Materia prima:**

**La de materia prima (tubos y otros) se encuentra defectuosa:** En ocasiones ha llegado materia prima con defectos, sin embargo, esto no es motivo para que haya atrasos en la producción diaria.

**La falta de disponibilidad de materia prima podría afectar la ejecución del proceso:** El operario debe de estar pendiente de no quedarse sin adhesivos a nivel físico, esto debido a que en caso de que se acabe el adhesivo hay que hacer la solicitud a las personas encargadas de los materiales. Los encargados de materiales tienen un tiempo de respuesta, por lo tanto, en caso de quedarse sin material van a tener paros en el proceso,

sin embargo, es responsabilidad del operario pedir los adhesivos con anticipación para no tener estos paros en el proceso. Esto no debería ser un factor por el cual no se esté alcanzando la meta de producción en el proceso P.

#### **4.2.6. Clasificación de las causas encontradas que están afectando la productividad del proceso P, según importancia de impacto.**

En este apartado se podrá observar los resultados que se obtuvieron en el análisis de las causas, estas causas fueron previamente revisadas con el personal para determinar los valores de ponderación. Para determinar estos valores fue necesario un equipo multidisciplinario en el cual se tomó en cuenta dos operarios certificados en la operación.

Con ayuda de la tabla número 14 clasificación de las causas nos permitirá de manera ordenada agregar un valor de peso según el grado de importancia e impacto, y de esta manera poder determinar el número de prioridades de impacto, este número de prioridades de impacto (N. P. I) ayudara a determinar cuáles de estas causas son las más representativas e importantes en el problema raíz para poder trabajarlas y minimizarlas o bien eliminar del sistema, con el fin de generar las soluciones más adecuadas y óptimas para el problema.

Tabla 15. Clasificación de causas N.P.I

#	Causas	Clasificación	ID	Impacto (A)	Frecuencia (B)	Duración (C.)	(A)*(B)*(C.)= D	% Participación	% Acumulado
1	La aplicación de adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable	Método	2.7	10	10	10	1000	26.0%	26.0%
2	Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso	Método	2.3	8	10	10	800	20.8%	46.8%
3	La ejecución del proceso es 100 % manual	Método	2.9	8	10	10	800	20.8%	67.6%
4	La medición que se realiza al final de la operación no agrega valor al producto	Medición	4.1	6	8	8	384	10.0%	77.5%
5	Los operarios que realizan la operación no han alcanzado aun la curva de aprendizaje	Mano de obra	1.3	6	4	8	192	5.0%	82.5%
6	La estación se utiliza mucho para entrenamientos	Mano de obra	1.4	6	4	6	144	3.7%	86.3%
7	El procedimiento de ajuste inicial y preparación de los materiales es muy complejo	Método	2.5	6	4	6	144	3.7%	90.0%
8	La estación se utiliza con mucha frecuencia para entrenar operarios nuevos	Mano de obra	1.1	4	4	6	96	2.5%	92.5%
9	Se generan muchos defectos a la hora de realizar la operación	Mano de obra	1.2	4	4	6	96	2.5%	95.0%
10	La falta de disponibilidad de materia prima podría afectar la ejecución del proceso	Materia prima	3.1	4	4	6	96	2.5%	97.5%
11	La materia prima (tubos y otros) se encuentra defectuosa (retrabajos)	Materia prima	3.2	4	4	4	64	1.7%	99.2%
12	El procedimiento no tiene instrucciones claras	Método	2.1	2	4	4	32	0.8%	100.0%
								100.0%	

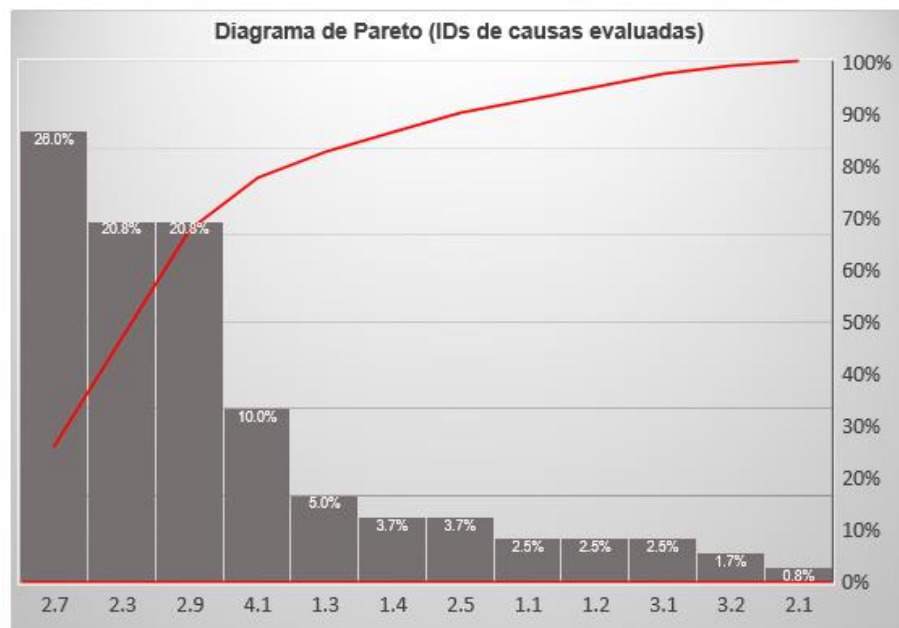
Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla número 15 se toman en consideración tres variables para medir el impacto, la frecuencia y duración, así como el porcentaje acumulado permitiendo identificar las causas más importantes que están afectando la productividad del proceso P.

#### 4.2.7. Diagrama de Pareto

Con base a la información obtenida por medio del análisis de N.P.I de la tabla número 15, el cual fue realizado en el piso de producción en la línea B, Se procede a representar la información en un Diagrama de Pareto con el fin de una mejor visualización grafica lo cual facilitara la interpretación de la misma.

Gráfico 2. Diagrama de Pareto N.P.I



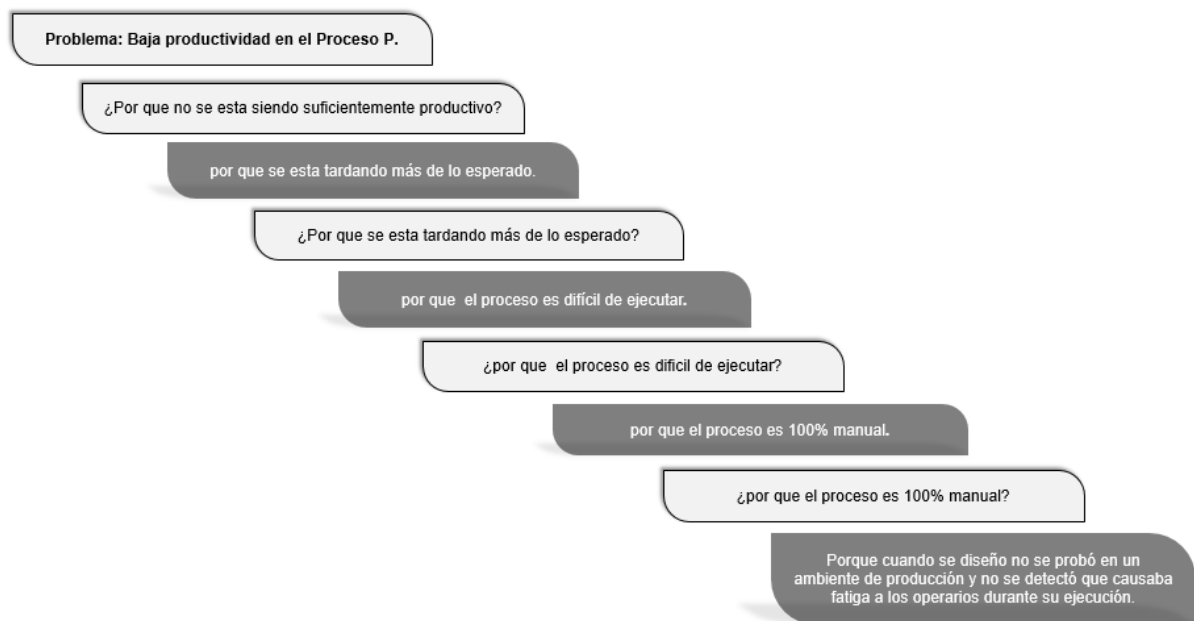
Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en el grafico número 2, las tres primeras causas (2.7, 2.3, 2.9 – Ver Tabla 15) son sumamente importantes dado que solamente

estas tres causas representan según el porcentaje acumulado un 67.6% del problema, tal como se puede ver en la tabla número 15 en la columna de % acumulado. Las 9 causas restantes acumulan un 32.4% del resto de la problemática que afecta la productividad del proceso P.

#### 4.2.8 Cinco porqués

Figura 23. Cinco porqués



Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en los cinco porqués, se llega a la conclusión que la causa raíz del problema que ocasiona una baja productividad en el Proceso P es la fatiga ocasionada durante el día debido a que el proceso fue diseñado 100% manual y este a la hora de su implementación no se consideró que a lo largo del día iba a cansar, fatigar al operario provocando que el ritmo en el que produce vaya disminuyendo con el transcurso de las horas.

Adicional a esto cuando se realizó anotaciones del proceso en la bitácora de observación se documenta como parte de lo conversado con los operarios de producción, que el segundo adhesivo a utilizar el 4307 tiene una textura más espesa y que justamente esta parte de proceso, la aplicación de este adhesivo 4307 era la parte más complicada y la que les tomaba más tiempo de realizar.

En el diagrama de Pareto se puede observar que las causas que tienen un mayor porcentaje de participación están directamente relacionadas a la causa raíz identificada en los 5 porqués, las cuales son las siguientes:

- Causa 2.7: La aplicación del adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable. Siendo esta la causa con el porcentaje de participación más alto, de un 26.0%.
- Causa 2.3: Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso. Teniendo esta causa un porcentaje de participación 20.8%.
- Causa 2.9: La ejecución del proceso es 100% manual. Teniendo está un 20.8 también de porcentaje de participación.

Todas estas causas están directamente relacionadas y las tres están clasificadas en el apartado de método de las 6 M del diagrama de Ishikawa.

## **4.3 Estudio de tiempos**

### **4.3.1 Estado actual del proceso**

Para poder determinar el estado actual del Proceso P, se realizó un estudio de tiempos tomando en cuenta a tres operarios distintos, donde se tomaron un total de 10 muestras para cada uno de los operarios (un total de 30 muestras).

El estudio de tiempos permite confirmar con datos medidos si efectivamente las causas raíz del problema identificadas durante la utilización del diagrama de Ishikawa y el estudio de Pareto coinciden con lo observado a nivel de ejecución del proceso P. Si el estudio de tiempo demuestra que ciertos pasos del proceso son los que más tiempo consumen entonces esto reforzaría la validez del resultado durante el estudio de causa raíz realizado.

Debido a que se identificó como causa raíz del problema que el proceso es difícil y consume un tiempo considerable y además que durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso, esto por ser un proceso 100% manual, se decidió hacer el estudio de tiempos después de las 12:00 PM cuando el turno llevaba un poco más de la mitad transcurrido. Esto con el fin de no hacer la toma de tiempos al inicio del turno debido a que el operario está sin ningún tipo de cansancio, ni al final del turno cuando ya están completamente fatigados por el esfuerzo requerido a la hora de hacer la aplicación del adhesivo.

Como herramienta para el estudio de tiempos se tomaron videos de los operarios realizando la operación y luego los videos fueron analizados para poder obtener un desglose de tiempos promedio de los diferentes pasos del proceso.

### 4.3.2 Desglose de tiempos del Proceso P

Para el estudio de tiempos se realizó un desglose de los tiempos medidos para poder identificar los tiempos que toman los diferentes pasos de la operación. Para este desglose se consideró que la ejecución del proceso P requiere la ejecución de los siguientes pasos (ejecutados de forma secuencial):

- Paso 1: Enhebrado del tubo pequeño y del tubo grande.
- Paso 2: Unión del tubo pequeño al tubo grande con adhesivo 4306.
- Paso 3: Unión de los tubos al tercer componente con adhesivo 4307.
- Paso 4: Soplado del ensamble con pistola ionizadora.
- Paso 5: Medición del ensamble.

La tabla 16 muestra el desglose de los tiempos promedio medidos para cada uno de los pasos del proceso P a los 3 operarios que participaron durante el estudio de tiempos.

Tabla 16. Desglose tiempos promedio para cada paso proceso P actual

Desglose de tiempos promedios en pasos de Proceso P - Proceso Actual - <b>Operarios 1, 2 y 3</b> (Tiempos mostrados en minutos)						
Operario	Tiempo Paso 1	Tiempo Paso 2	Tiempo Paso 3	Tiempo Paso 4	Tiempo Paso 5	Tiempo Promedio Total
1	0.85	1.15	3.86	0.47	0.44	6.78
2	0.93	1.28	4.03	0.46	0.43	7.13
3	0.90	1.30	4.10	0.50	0.40	7.20
Promedio	0.89	1.24	4.00	0.48	0.42	7.03
% Promedio	13%	18%	57%	7%	6%	100%

Fuente: Elaboración Propia.

Tal y como se observa en la tabla 16, las mediciones obtenidas confirman que efectivamente el tiempo promedio del Paso 3 (aplicación de adhesivo 4307) es el mayor entre los tiempos promedio medidos para los pasos del proceso, representando un 57% del promedio del de tiempo medido.

Esta observación confirma los resultados del estudio de causa raíz realizado y documentado en la sección 4.2 en donde se había identificado al paso de aplicación de adhesivo 4307 como una de las principales causas que afectan actualmente la productividad del proceso P (ver gráfico 2 que muestra el Pareto de las posibles causas evaluadas usando como entrada las posibles causas identificadas durante la lluvia de ideas y representadas en el diagrama de Ishikawa) y también refuerza los resultados obtenidos durante el análisis de los 5 porqué.

#### **4.3.2 Tiempos estándar del Proceso P actual**

La tabla 17 muestra el análisis para la obtención del tiempo estándar del proceso P actual obtenido a partir de las mediciones realizadas durante el estudio de tiempos. Según este estudio se logra observar que el operario 1 tiene un tiempo estándar de 9.73 minutos, el operario 2 un tiempo de 10.23 minutos y el operario 3 un tiempo de 10.33 minutos, obteniendo un promedio total de 10.10 minutos por cada unidad para los tres operarios. La tabla 18 muestra los factores de calificación en base al sistema Westinghouse y la tabla 19 muestra los suplementos considerados para los cálculos.

Tabla 17. Estudio de tiempos del proceso actual.

Colocación de adhesivos (Tiempos mostrados en minutos)				
Hora de Inicio:	12:15 PM			
Estación:	Proceso P			
Fecha:	11 enero 2023	12 enero 2023	13 enero 2023	N/A
Num de Observación	Tiempo T(O) Operario 1	Tiempo T(O) Operario 2	Tiempo T(O) Operario 3	Promedio
1	6.76	7.46	7.06	7.09
2	7.10	7.10	7.52	7.24
3	6.72	6.96	6.92	6.87
4	7.00	6.84	7.50	7.11
5	6.80	7.34	7.36	7.17
6	6.70	6.78	6.90	6.79
7	6.96	7.04	6.78	6.93
8	6.62	7.42	7.24	7.09
9	6.58	6.98	7.30	6.95
10	6.54	7.38	7.38	7.10
T.O	6.78	7.13	7.20	7.03
F.C	1.27	1.27	1.27	1.27
T.N	8.61	9.06	9.14	8.93
Suplementos	1.13	1.13	1.13	1.13
T.ES.	9.73	10.23	10.33	10.10

Siglas	
T.O	Tiempo Observado
F.C	Factor de Calificación
T.N	Tiempo Normal
T. ES.	Tiempo Estándar

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18. Factores de Calificación.

Factores de Calificación en base al sistema Westinghouse		
Factor	Clasificación	Valor
Habilidad	B1	0.08
Esfuerzo	A2	0.12
Condiciones	B	0.04
Consistencia	B	0.03
<b>TOTAL (C.)</b>		<b>0.27</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Suplementos usados para cálculo de Tiempo Estándar.

Suplementos usados para cálculo de Tiempo Estándar			
Tipo de Suplemento	Descripción	%	Valor
Suplementos Constantes	A. Suplemento por necesidades	7%	0.07
	B. Suplemento base por fatiga	4%	0.04
Suplementos variables	A. Suplementos por trabajar de pie	0%	0.00
	B. Suplementos por postura anormal	1%	0.01
	C. Uso de fuerza/energía muscular	1%	0.01
<b>TOTAL</b>		<b>13%</b>	<b>0.13</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Según el estudio de tiempos realizado se pudo determinar la producción diaria por operario, la cual se puede observar en la Tabla 20. En este caso, la producción por hora se obtuvo dividiendo los 60 minutos que tiene una hora entre el Tiempo Estándar correspondiente de cada operario (esto nos da la cantidad de unidades por hora que cada operario puede producir) y la producción esperada por día se calculó multiplicando la producción por hora por la cantidad de horas del

turno de producción (8.5 horas por día) y donde el resultado se muestra redondeado para simplificar.

Tabla 20. Producción diaria por operario

	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Producción por hora	6.17	5.86	5.81
Producción por día	52	50	49

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21. Promedios de cálculos según estudio de tiempos.

	Promedio
T.ES. (minutos)	10.10
Unidades por hora	5.94
Cant. de estaciones en la línea	2
Unidades por día	101
Unidades por mes (Jun)	2223
Unidades por mes (Jul)	2223
Unidades por mes (Ago)	2324
Unidades por mes (Set)	2223

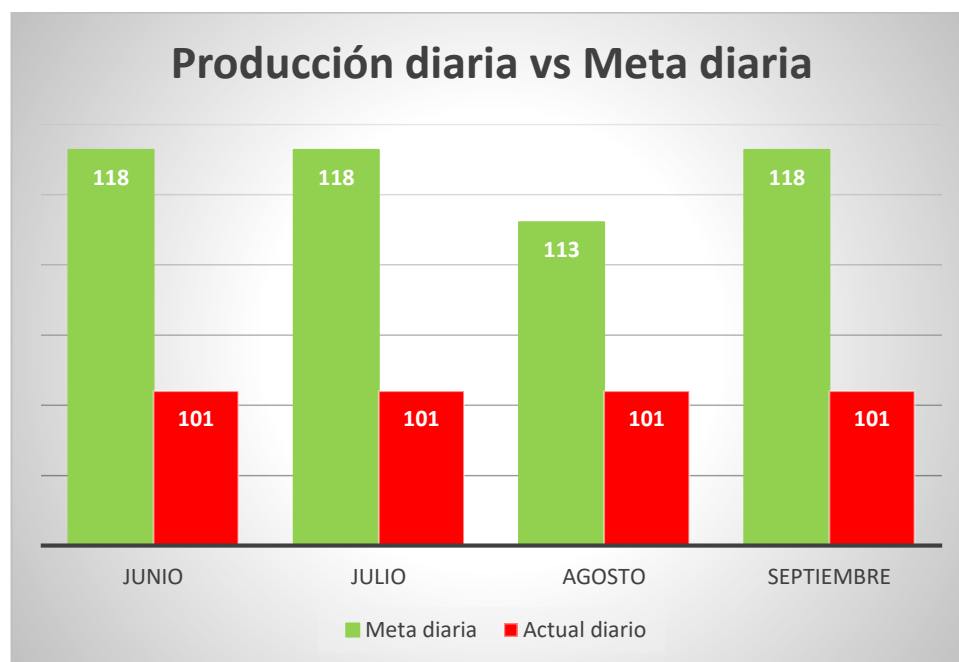
Fuente: Elaboración Propia.

En este apartado se pueden observar los promedios de los cálculos realizados en el estudio de tiempos. En las primeras cuatro filas se puede observar los cálculos realizados para determinar el promedio de lo producido diario para dos estaciones de trabajo, lo que corresponde a 101 unidades.

En las últimas cuatro filas correspondientes a los meses (junio, julio, agosto y septiembre), según el estudio de tiempos realizado, se puede determinar cuál hubiera sido la producción para los respectivos meses.

#### 4.4 Análisis de la información

Gráfico 3. Producción diaria vs Meta diaria



Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en el gráfico 3 la meta en promedio de producción diaria es de 118 unidades y el del actual es de 101, lo cual quiere decir que hay en promedio 17 unidades menos diarias.

Tabla 22. Producción actual vs Producción según estudio de tiempos

Meses	Producción actual gráfico 1	Producción según estudio de tiempos
Junio	2300	2223
Julio	2390	2223
Agosto	2420	2224
Septiembre	2250	2223

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede concluir como parte de análisis del estudio de tiempos que la producción calculada por mes según el estudio de tiempos se ajusta a lo observado en el gráfico número 1 en capítulo 1, para los meses junio, julio, agosto, septiembre del 2022. Por lo tanto, en este estudio de tiempos se obtiene datos confiables que puede ser utilizados para hacer una comparación entre el estado actual del proceso, contra el estado futuro una vez ya haya sido la propuesta de mejora implementada.

El departamento de finanzas de Boston Scientific indicó que el costo de cada una de las unidades de subensamble es \$10.42, esto quiere decir que las 17 unidades que se dejan de producir por día tienen un costo (asociado a las unidades no producidas dentro del turno de producción) de \$177.14. Esto no solamente representa un impacto económico sino también un impacto a nivel de productividad de la línea (lo cual se definió como el efecto/problema en el diagrama de Ishikawa y el resto del estudio de causa raíz realizado).

## **CAPITULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

## 5.1. Propuesta de Mejora

En esta sección se utiliza la fase de Implementación y Control de la metodología DMAIC con el fin de poder presentar una propuesta de mejora que permita contrarrestar o disminuir los efectos de las causas del problema raíz previamente identificadas.

En el capítulo IV se identificaron las siguientes principales causas raíz del problema:

- La aplicación del adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable.
- Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso.
- La ejecución del proceso es 100% manual.

Todas estas causas están directamente relacionadas y las tres están clasificadas en el apartado de método de las 6 M del diagrama de Ishikawa.

Teniendo esto en cuenta se determinó como propuesta de mejora lo siguiente:

Implementar como parte del proceso el uso de un equipo que ayude durante la ejecución del paso de aplicación de adhesivo 4307 en el proceso P.

La justificación principal para esta propuesta es simple, dado que la raíz del problema radica fundamentalmente en la naturaleza manual del proceso, especialmente enfocada en el paso de aplicación manual de adhesivo 4307,

entonces la solución debe ir orientada a cambiar esa situación y la forma más directa es mediante la implementación de un sistema que permita apoyar a los operarios para facilitar el paso de aplicación de dicho adhesivo.

### **5.1.1. Selección del equipo para aplicación de adhesivo**

Para la selección del equipo se utilizaron los siguientes parámetros de entrada como criterios de selección del fabricante y modelo más adecuado:

- Costo del equipo.
- Historial de uso del equipo en aplicaciones similares en otras líneas de producción de la empresa.
- Reputación del fabricante.
- Recomendaciones del departamento de ingeniería y el departamento de mantenimiento de equipos de Boston Scientific.
- Existencia de documentación relacionada al equipo tales como documentos de especificación, protocolos de validación, etc., que simplifiquen una eventual implementación y validación para su uso en la línea de producción B.
- Disponibilidad del equipo para realización de pruebas y validación de la solución propuesta.
- Que exista confirmación de parte del fabricante que dicho equipo se puede utilizar para realizar la aplicación del adhesivo usado en el proceso P.

Considerando los parámetros anteriores se determinó que un equipo adecuado para su implementación en la línea de producción es el dispensador de fluidos del fabricante Nordson EFD, modelo ULTIMUS I. Ver figura 23.

Figura 24. Dispensador ULTIMUS I



Fuente. Nordson.com.

El ULTIMUS I es un dispensador de fluidos de fácil utilización e instalación y que se puede utilizar para el dispensar de forma controlada fluidos tales como adhesivos, aceites, grasas, silicón, sellantes, cianoacrilatos, pastas de soldadura y otros mediante el uso de jeringas con pistones y puntas dispensadoras (ver Anexos 1 y 2 con documentación generada por el fabricante y disponible en su sitio web).

Este dispensador utiliza el control de un sistema de vacío y de presión aplicadas para el dispensado y dosificación de fluidos y permite ajustes simples para controlar los niveles de presión y vacío y así poder regular la cantidad de fluido dispensado. El dispensado es activado mediante un interruptor que por lo general se presenta en forma de un pedal, es decir, el interruptor es presionado con el pie para iniciar la aplicación del fluido mientras que el operario manipula la jeringa y la punta dispensadora sobre el área de aplicación.

#### **5.1.2. Ventajas identificadas del equipo seleccionado**

El dispensador ULTIMUS I propuesto cumple con todos los criterios de selección listados en la sección anterior dando especial énfasis a dos de ellos que se consideran muy importantes para efectos de este proyecto y posterior análisis:

1. El costo del dispensador es considerado bastante accesible (lo que lo hace que sea ampliamente usado no solo a nivel de Boston Scientific, sino que a nivel de la industria). Consultando al departamento de ingeniería se confirmó que el costo promedio de estos dispensadores es de \$2,000 (dos mil dólares americanos) y que el costo de estos puede bajar después de una negociación de precio dependiendo del volumen de compra. Este valor se utilizará posteriormente para el análisis de costo-beneficio de la propuesta).
2. La empresa cuenta con una cantidad de estos dispensadores disponibles en inventario y que pueden ser solicitados e instalados con facilidad para la

realización de pruebas que permiten verificar la eficacia de la solución propuesta.

### **5.1.3. Plan para verificación de la propuesta**

Para verificar la propuesta se estableció la siguiente secuencia de actividades:

1. Solicitar el préstamo e instalación de un dispensador en una de las estaciones de entrenamiento de la línea de producción P.
2. Dar una capacitación al personal con respecto al uso del equipo y sus accesorios (ejecutando el proceso varias veces para familiarizarse con el uso de este).
3. Coordinar con el personal de producción la realización de pruebas para la ejecución de un nuevo estudio de tiempos para el proceso en cuestión, pero con el paso de aplicación del adhesivo 4307 utilizando el dispensador ULTIMUS I. Para este nuevo de estudio el plan fue de replicar las condiciones que se asemejaran lo más posible a las utilizadas durante la ejecución del estudio de tiempos documentados en la sección 4.3, es decir, tres operarios distintos (usando los mismos operarios que se usaron para el estudio de tiempos), tomando 10 muestras por operario y realizando la toma de tiempos después de las 12:00 PM.
4. Realizar un nuevo estudio de tiempos con las condiciones descritas arriba.

#### 5.1.4. Estado futuro esperado del proceso con mejora

El nuevo estudio de tiempos se realizó y los resultados se muestran en las tablas 23, 24 y 25. La tabla 23 muestra los nuevos tiempos promedio medidos para la ejecución de los principales pasos del proceso P y en la tabla 23 estos valores se comparan con los obtenidos durante el estudio de tiempos del proceso actual (previamente documentados en tabla 16).

Tabla 23. Tiempos de cada paso de proceso con mejora

Desglose de tiempos promedios en pasos de Proceso P - <b>Proceso con Mejora - Operarios 1, 2 y 3</b> (Tiempos mostrados en minutos)						
Operario	Tiempo Paso 1	Tiempo Paso 2	Tiempo Paso 3	Tiempo Paso 4	Tiempo Paso 5	Tiempo Promedio Total
1	0.84	1.17	3.38	0.45	0.47	6.31
2	0.91	1.26	3.55	0.43	0.46	6.62
3	0.91	1.27	3.57	0.47	0.46	6.67
Promedio	0.89	1.23	3.50	0.45	0.47	6.53
% Promedio	14%	19%	54%	7%	7%	100%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24. Comparación de tiempos para cada paso de proceso

		Comparación de tiempos promedios en pasos de Proceso P. Operarios 1, 2 y 3. Proceso actual vs proceso con mejora (Tiempos mostrados en minutos)					
		Promedio Tiempo Paso 1	Promedio Tiempo Paso 2	Promedio Tiempo Paso 3	Promedio Tiempo Paso 4	Promedio Tiempo Paso 5	Tiempo Promedio Total
Proceso Antes de Mejora	Promedio	0.89	1.24	4.00	0.48	0.42	7.03
	% Promedio	13%	18%	57%	7%	6%	100%
Proceso después de Mejora	Promedio	0.89	1.23	3.50	0.45	0.47	6.53
	% Promedio	14%	19%	54%	7%	7%	100%

Fuente: Elaboración Propia.

De los tiempos observados durante el estudio de tiempos se puede determinar que la implementación del uso del dispensador de fluidos tiene un impacto en la cantidad de tiempo que toma ejecutar el Paso 3 del proceso significando una disminución del tiempo promedio observado de 0.5 minutos (30 segundos) por cada unidad.

La tabla 25 muestra los nuevos tiempos estándar medidos con la mejora del proceso implementada, es decir, realizando el paso de aplicación de adhesivo 4307 con ayuda del equipo dispensador de fluidos.

Tabla 25. Tiempos estándar del proceso después de mejora

Colocación de adhesivos (Tiempos mostrados en minutos). Aplicación de adhesivo 4307 usando dispensador ULTIMUS I				
Hora de Inicio:	12:15 PM			
Estación:	Proceso P			
Fecha:	22 febrero 2023	23 febrero 2023	24 febrero 2023	N/A
Num de Observación	Tiempo T(O) Operario 1	Tiempo T(O) Operario 2	Tiempo T(O) Operario 3	Promedio
1	6.39	6.79	6.80	6.66
2	6.19	6.49	6.58	6.42
3	6.38	6.60	6.66	6.55
4	6.26	6.54	6.72	6.51
5	6.09	6.35	6.57	6.34
6	6.52	6.63	6.76	6.64
7	6.42	6.84	6.53	6.60
8	6.16	6.76	6.91	6.61
9	6.44	6.69	6.53	6.55
10	6.29	6.46	6.62	6.46
T.O	6.31	6.62	6.67	6.53
F.C	1.27	1.27	1.27	1.27
T.N	8.02	8.40	8.47	8.30
Suplementos	1.13	1.13	1.13	1.13
T.ES.	9.06	9.49	9.57	9.37

Siglas	
T.O	Tiempo Observado
F.C	Factor de Calificación
T.N	Tiempo Normal
T. ES.	Tiempo Estándar

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los resultados obtenidos en el nuevo estudio de tiempos se pueden realizar una serie de análisis comparativos adicionales para poder dimensionar el impacto de la mejora en el proceso a nivel de mejora en productividad en donde se observa como con la mejora implementada la cantidad de unidades producidas por hora y por día aumentó para los 3 operarios

involucrados en el estudio de verificación. Las siguientes tablas muestran los resultados:

Tabla 26. Producción proceso actual vs proceso con mejora propuesta

	Proceso Actual	Proceso con Mejora	Proceso Actual	Proceso con Mejora	Proceso Actual	Proceso con Mejora	Proceso Actual	Proceso con Mejora
	Operario 1		Operario 2		Operario 3		Promedio	
Producción por hora	6.17	6.62	5.86	6.32	5.81	6.27	5.94	6.40
Producción por día	52	56	50	54	49	53	51	54
% de Mejora observado	7.35%		7.79%		7.92%		7.69%	

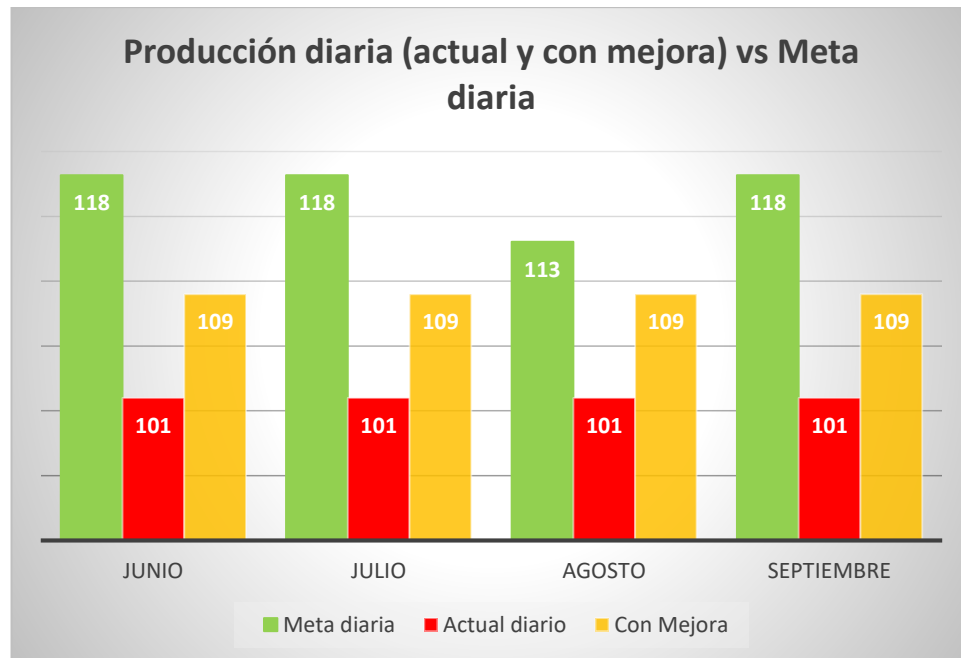
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27. Promedios de cálculos según nuevo estudio de tiempos.

	Proceso actual	Proceso con Mejora propuesta
T.ES. (minutos)	10.10	9.37
Unidades por hora	5.94	6.40
Cant. de estaciones en la línea	2	2
Unidades por día	101	109
Unidades por mes (Jun)	2223	2394
Unidades por mes (Jul)	2223	2394
Unidades por mes (Ago)	2324	2503
Unidades por mes (Set)	2223	2394

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 4. Producción diaria actual y con mejora vs Meta diaria



Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.5. Análisis de resultados medidos del proceso con mejora

Los resultados obtenidos durante el nuevo estudio de tiempos y los cálculos realizados indican que la implementación del uso del dispensador de fluidos ULTIMUS I en el proceso para el paso de la aplicación del adhesivo 4307 podría representar una mejora a nivel de productividad de un 7.69% (8 unidades de subensamble más por día tomando en cuenta que la línea de producción cuenta con dos estaciones del proceso P) en promedio (tabla 21). Esto tomando en cuenta que durante la ejecución del nuevo estudio de tiempos los operarios aún no se encontraban al 100% de la curva de aprendizaje del proceso con la nueva mejora y que dicho porcentaje podría subir a lo largo del tiempo.

La mejora propuesta representa una solución integral que resuelve las 3 principales causas del problema identificadas durante el estudio de causa raíz:

Tabla 28. Causas raíz identificadas y solución propuesta.

Causa raíz	Cómo la mejora propuesta ataca esta causa
La aplicación del adhesivo 4307 es difícil y consume un tiempo considerable.	El uso del dispensador elimina el paso de aplicación del adhesivo de forma manual.
Durante el día los operarios se cansan mucho ejecutando el proceso.	La utilización del dispensador elimina uno de los factores del proceso que causa cansancio al operario conforme avanza el día.
La ejecución del proceso es 100% manual.	El uso del dispensador hace que el proceso ya no sea 100% manual.

Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto al objetivo general de este proyecto, que proponía mejorar la productividad del proceso en un 7%, para el proceso P de la línea de producción B de subensamble se puede observar que la implementación del dispensador de fluidos permitiría lograr dicho objetivo (logrando una mejora estimada de 7.69%).

La implementación de la mejora permitiría producir en promedio 8 unidades más por día, que tomando en cuenta el costo por unidad de \$10.42, la mejora propuesta significaría una producción adicional de unidades diarias con un costo total de \$83.36 (aproximadamente \$1,834 al mes).

Si bien el costo de cada subensamble de la línea de producción P no es muy elevado en comparación con el costo del ensamble final de las unidades del catéter INTELLAMAP ORION™, la mejora en el proceso de la línea de subensamble permite tener mayor disponibilidad de subensambles para el ensamble del catéter principal y disminuye el riesgo de impactar la capacidad de producción de la misma.

El análisis de costo beneficio para este proyecto se realizó basándose solamente en el impacto directo sobre la producción de las unidades de subensamble.

Otro beneficio adicional considerado de gran impacto es el hecho de que el uso del dispensador elimina uno de los factores que generaba cansancio a los operarios durante el día (dado que la aplicación del adhesivo 4307 requiere de mucho esfuerzo manual), esto se esperaba se vea reflejado en una mayor motivación para los operarios y en una menor necesidad de rotación a nivel de la estación de trabajo debido a cansancio o riesgos de ergonomía.

#### **5.1.6. Instrucciones para uso del Equipo EFD**

Un paso de suma importancia para la implementación de la mejora es la creación de instrucciones para el uso del equipo que se deben incorporar como parte del procedimiento de manufactura asociado al proceso P. Los operarios a cargo de ejecutar este proceso deben ser entrenados y capacitados en el uso del equipo y demostrar capacidad para una ejecución adecuada mediante la ejecución de repeticiones del proceso supervisados por un entrenador.

Las siguientes son instrucciones que se propusieron para incluir en el procedimiento de manufactura. Los ajustes propuestos para el equipo (rango de valores de presión) se definieron durante un periodo inicial de pruebas realizado para poder encontrar ajustes adecuados.

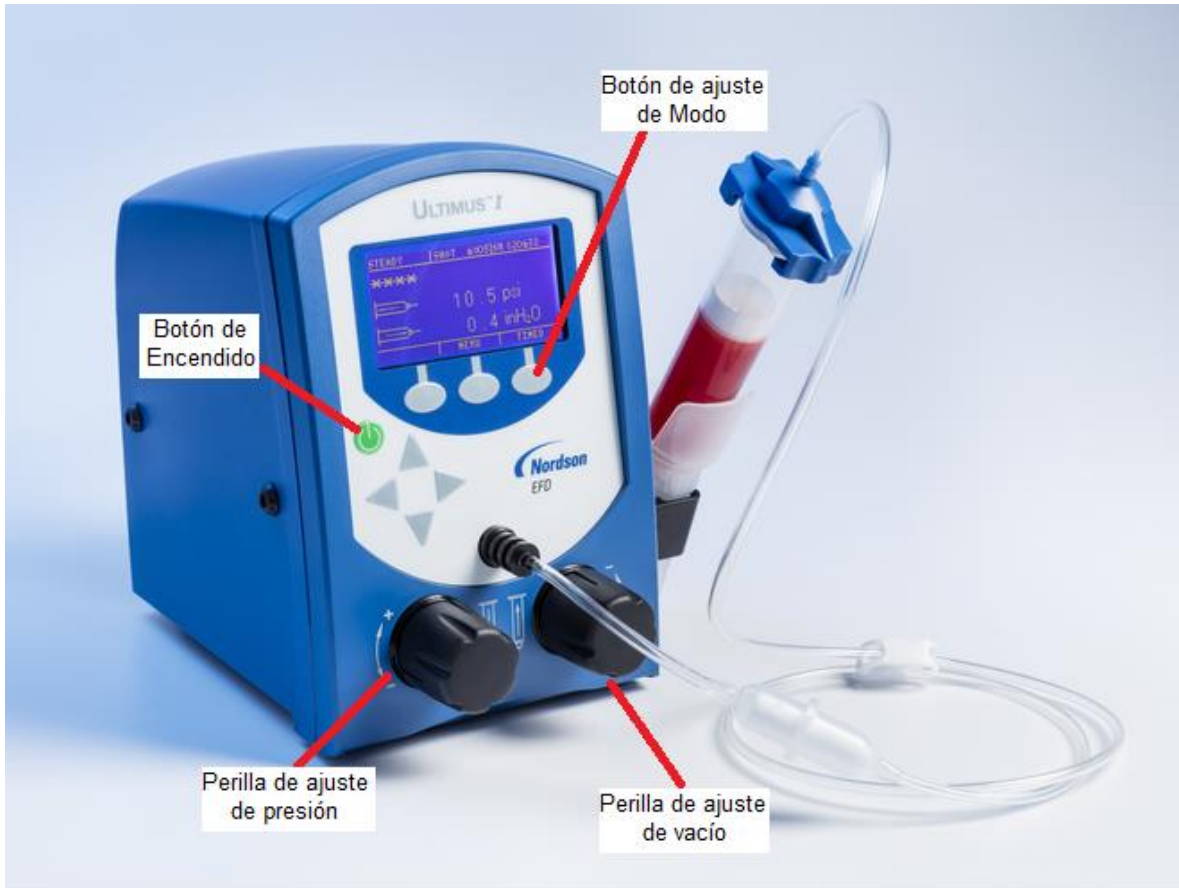
**Instrucciones para instalación del Equipo (para personal de mantenimiento):**

1. El dispensador de EFD debe ser colocado sobre una superficie plana en una ubicación de fácil alcance para el operario.
2. El equipo debe ser conectado a un tomacorriente de con un voltaje de entrada de 100–240 VCA  $\pm 10\%$  (a una frecuencia de 50/60Hz) y el consumo del equipo es de 0,6 Amperios.
3. Se requiere el uso de una línea de entrada de aire comprimido libre de aceite (deseable filtrado por partículas) con una manguera de 1/4 de pulgada y una presión de entrada entre 80 y 100 psi (libras por pulgada cuadrada).

**Instrucciones para ajuste Inicial del Equipo (para operario):**

1. Configuración del EFD.
  - a. Encienda el EFD usando el botón verde que se muestra en la Figura.

Figura 25. Ubicación de ajustes en Dispensador ULTIMUS I



Fuente.Elaboracion Propia.

- b. Establezca el Modo “Steady” usando el botón de selección que se muestra en Figura. El estado del modo se muestra en la esquina de la pantalla.  
**Nota:** en el modo “Steady” el equipo va a dispensar adhesivo durante todo el tiempo que el usuario presione el pedal de activación.
- c. Verifique que la presión (Pressure) de salida esté entre 30 y 40 psi. Si los valores del EFD están fuera de los límites, deténgase y contacte al personal de soporte.

- d. Establezca el vacío (Vacuum) en 0 inH<sub>2</sub>O. Si el valor observado en el EFD es diferente, deténgase y contacte al personal de soporte.
- e. Si aún no está presente, coloque un cilindro de adhesivo de 3cc en el conjunto del adaptador EFD de 3cc. Para esto haga lo siguiente:
  - i. Retire la tapa grande, luego la pequeña.
  - ii. Inserte y gire en el adaptador.
  - iii. Inserte el adaptador en el EFD si es necesario.
  - iv. Conecte una punta de aguja negra al luer.

**NOTA:** Reemplace la punta de la aguja negra y el adaptador EFD según sea necesario. Cada vez que se reemplaza la aguja, “purgue” la aguja aplicando adhesivo durante aproximadamente 30 segundos.

**Instrucciones para aplicación del adhesivo usando el Equipo (para operario):**

1. Deslice el componente sobre un extremo del tubo de forma que queden alineados de forma correcta para iniciar la aplicación del adhesivo.
2. Presione el pedal de activación del dispensador EFD y aplique adhesivo 4307 alrededor de la superficie externa del tubo, mantenga el pedal presionado durante todo el tiempo que desee que el adhesivo salga por la punta de dispensado, gire la unidad para que el adhesivo sea aplicado a lo largo de toda la circunferencia de forma uniforme.

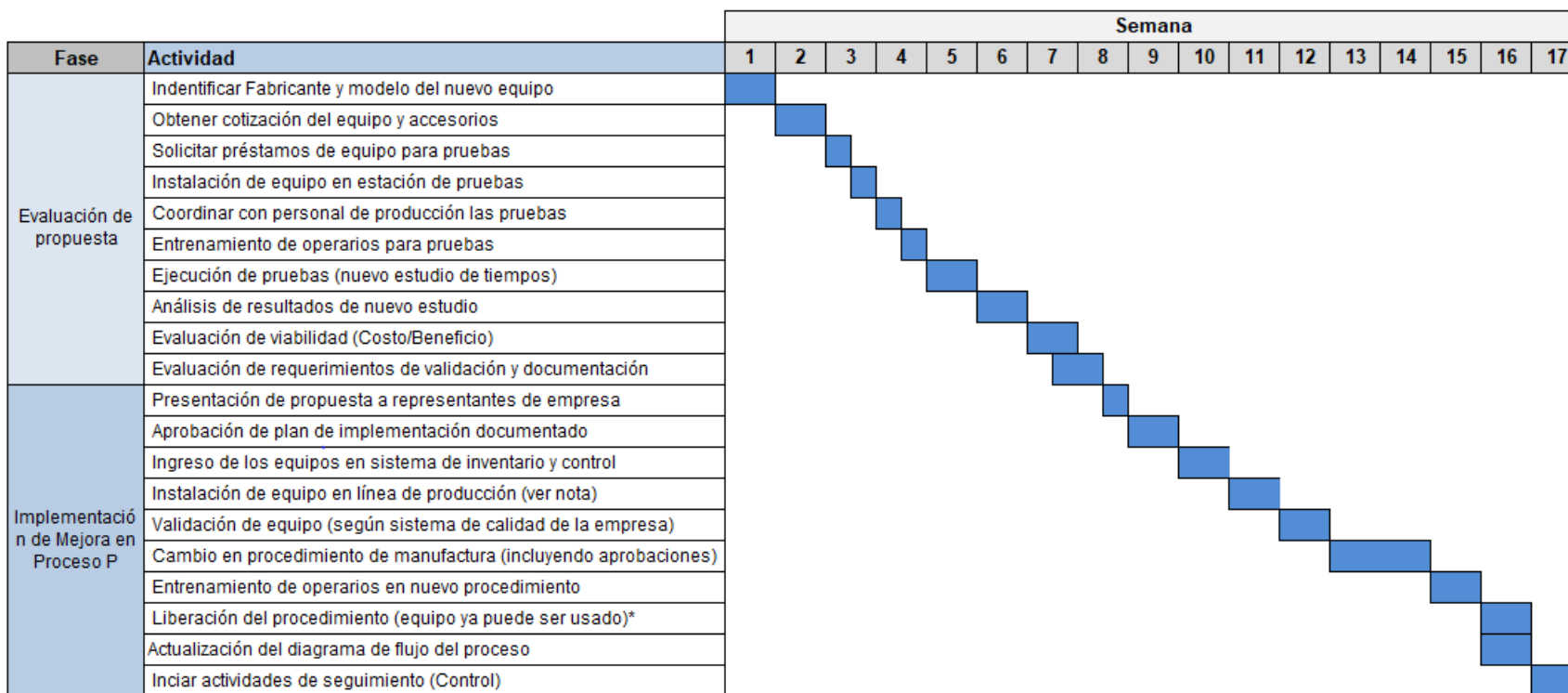
3. Inspeccione bajo microscopio a una magnificación de 10x y confirme que el adhesivo se haya aplicado de forma uniforme. Aplique más adhesivo en caso de ser necesario.
4. Si el adhesivo sobrepasa el área deseada utilice un hisopo para remover el exceso.
5. Una ambos componentes y colóquelos bajo la lámpara de luz UV para su respectivo curado.
6. Confirme que el punto de unión contenga adhesivo y se encuentre curado.

#### **5.1.7. Plan de implementación de mejora en proceso P**

En esta sección se presenta el diagrama de Gantt en donde se identifican las principales tareas y duraciones identificadas para la fase de evaluación y de implementación de la mejora propuesta para el proceso P. Para la elaboración del diagrama se consultó con el personal de ingeniería de la empresa quien basados en experiencias previas de esfuerzos similares ayudaron a estimar los tiempos asociados a cada una de las actividades.

El plan propone un tiempo total de 17 semanas desde que da inicio el proceso de identificación del equipo hasta que da inicio la fase de Control (última fase del DMAIC).

Figura 26. Diagrama de Gantt para implementación de mejora



**Nota:** para el proyecto se plantea usar equipos que ya están disponibles en inventario de la empresa.

\* la actualización del procedimiento de Manufactura implica la inclusión de instrucciones de cómo se debe ajustar y usar el nuevo equipo en el proceso P

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se brinda una descripción más ampliada de cada una de las actividades listadas en el Gantt de la Figura 26:

1. Identificar Fabricante y modelo del nuevo equipo: durante esta actividad se evalúan opciones y se identifica el fabricante y modelo específico del equipo que va a ser propuesto para la implementación de la mejora en el proceso. También se estudian las características y especificaciones del equipo, así como los requerimientos de instalación.
2. Obtener cotización del equipo y accesorios: una vez seleccionado el fabricante y modelo específico del equipo se procede a contactar a un representante distribuidor del mismo para solicitar una cotización por la cantidad de equipos y sus accesorios necesarios para instalación.
3. Solicitar préstamos de equipo para pruebas: dado que la empresa ya cuenta con inventario del equipo seleccionado entonces se procede a hacer una solicitud formal para el préstamo de uno de estos equipos para poder realizar pruebas de verificación de la mejora, así como pruebas para confirmar que el adhesivo se puede dispensar y dosificar de forma satisfactoria utilizando el nuevo equipo.
4. Instalación de equipo en estación de pruebas: se solicita al personal de mantenimiento que realice la instalación del equipo en una de las estaciones existentes que son utilizadas para entrenamiento y que también pueden ser utilizadas para pruebas. Los materiales y unidades generadas en este tipo

de estaciones no se consideran de uso comercial y son descartados después de ser utilizados.

5. Coordinar con personal de producción las pruebas: la ejecución de pruebas con el nuevo equipo requiere de la participación de personal certificado en el proceso por lo que es necesario coordinar con suficiente anticipación la disponibilidad de los mismos para el día en que se van a realizar las pruebas.
6. Entrenamiento de operarios para pruebas: una vez que se ha logrado aprobación del uso de los operarios en este punto se brinda un entrenamiento en el uso del nuevo equipo y sesiones de práctica para realizar la aplicación del adhesivo con ayuda del nuevo dispensador.
7. Ejecución de pruebas (nuevo estudio de tiempos): se realiza un nuevo estudio de tiempos usando la estación de pruebas y con las condiciones lo más similares posibles a las utilizadas durante el estudio de tiempos realizado durante la etapa de evaluación del estado actual del proceso.
8. Análisis de resultados de nuevo estudio: una vez concluidas las pruebas y el nuevo estudio de tiempos entonces se analiza la información producto tanto de observaciones como de mediciones realizadas para evaluar el impacto de la mejora propuesta sobre la productividad del proceso y cómo se reduce el impacto de las causas raíz del problema.
9. Evaluación de viabilidad (Costo/Beneficio): se realiza un análisis costo beneficio que va a permitir tomar una decisión desde el punto de vista financiero en cuanto a la viabilidad de implementación de la mejora.

- 10.** Evaluación de requerimientos de validación y documentación: debido a que la mejora propuesta es para modificar un proceso de ensamble de componentes usados como parte de dispositivos médicos, la regulación internacional existente y el sistema de calidad de la empresa requieren que se identifique de forma correcta los requerimientos de validación y de cambios en documentación necesarios para implementar el cambio en el proceso garantizando que la salida del proceso se mantiene sin cambio y que no haya un impacto negativo en el producto final.
- 11.** Presentación de propuesta a representantes de empresa: se lleva la propuesta de mejora a representantes de la empresa que tienen el rol de aprobar o no su implementación tomando en cuenta toda la información disponible con especial énfasis en los resultados del análisis costo beneficio.
- 12.** Aprobación de plan de implementación documentado: el sistema de calidad de la empresa exige que una vez que se haya aprobado la iniciativa de mejora entonces se genera un documento controlado en donde se documente el plan de implementación y todos los requerimientos de validación, así como una evaluación de los riesgos y mitigaciones asociadas a la implementación del proyecto. Este plan debe ser aprobado a través del sistema de documentación de la empresa por representantes de todas las áreas involucradas (mantenimiento, ingeniería de manufactura, ingeniería de calidad, representantes de producción, etc.)

- 13.** Ingreso de los equipos en sistema de inventario y control: esta actividad es requerida para asegurar que los nuevos equipos que van a ser usados en la línea estén debidamente identificados como activos a nivel financiero y como activos a nivel de validación (se requiere un identificador único y trazable para cada equipo de forma que se pueda mantener trazabilidad de las actividades de calibración, mantenimiento y validaciones a lo largo del tiempo)
- 14.** Instalación de equipo en línea de producción: en este punto se solicita al personal de mantenimiento la ayuda para la instalación de los nuevos equipos en las estaciones del proceso en donde van a ser utilizadas. Es importante hacer notar que en este punto los equipos aún no pueden ser utilizados con producto comercial pues se encuentra a la espera de su validación respectiva y actualización de documentación requerida.
- 15.** Validación de equipo (según sistema de calidad de la empresa): se ejecutan las actividades de validación asociadas a la instalación y uso del equipo. Acá se verifica que el equipo esté instalado y funcione correctamente y que la salida del proceso no se ve afectada por el uso de este.
- 16.** Cambio en procedimiento de manufactura (incluyendo aprobaciones): una vez completada una validación de los nuevos equipos y del proceso asociado al uso de estos entonces se deben actualizar el procedimiento de manufactura asociado a la operación del proceso P. Esto con el fin de

garantizar un procedimiento estandarizado para todos los usuarios que realizan la operación.

- 17.**Entrenamiento de operarios en nuevo procedimiento: una vez que se apruebe el cambio en los pasos del procedimiento de manufactura entonces se debe entrenar a los operarios que van a realizar el proceso actualizado tanto en el uso correcto del equipo, la técnica correcta de aplicación del equipo y todas las nuevas instrucciones que se hayan agregado al procedimiento.
- 18.**Liberación del procedimiento (equipo ya puede ser usado): en este el equipo se considera validado y la documentación requerida ya ha sido actualizada de forma tal que el equipo puede ser empezado a usar en producción con unidades de producto comercial. En este punto se considera que la mejora ya ha sido implementada de forma oficial.
- 19.**Actualización del diagrama de Proceso: en este caso solo se requiere indicar que ahora uno de los pasos para aplicar adhesivo se va a realizar con ayuda de un equipo de dispensado.
- 20.**Iniciar actividades de seguimiento (Control): una vez implementada la mejora entonces se inicia la fase de control en donde se le va a dar seguimiento a los indicadores de productividad y de cumplimiento de plan de producción para confirmar la efectividad de la mejora en el proceso después de su implementación.

## **5.2. Análisis Costo-beneficio de la mejora propuesta**

Para efectos de este proyecto se planteó hacer un análisis de costo-beneficio simplificado para el cual se consideró como el costo total del proyecto el costo de los dos dispensadores ULITMUS I (dado que la línea de producción tiene 2 estaciones del proceso P) al que se le agregó un 25% adicional para contar con un inventario de repuestos y accesorios adicionales. En este caso el costo de instalación se considera igual a cero debido a que las estaciones del proceso ya cuentan con las facilidades necesarias para utilizar el equipo y que para instalarlos simplemente se requiere su colocación y conexión.

También para efectos de simplificar el análisis, se consideró como beneficio del proyecto únicamente el costo asociado a las unidades diarias adicionales que se espera poder producir con la implementación de la mejora. Esto deja por fuera la cuantificación de otros posibles beneficios tales como la disminución del pago de horas extras y la disminución del impacto a nivel de los operarios debido al menor cansancio que va a generar la ejecución de la operación durante el día (menor rotación requerida, mayor satisfacción del operario).

En este proyecto se estimó la relación que existe entre el costo total estimado de implementación y el valor asociado a los beneficios esperados después de su implementación. Para el cálculo de la relación costo beneficio (B/C) que también podemos llamar como el índice neto de rentabilidad se consideró un estimado de los beneficios esperados a lo largo del primer año después de la implementación.

Y se consideró que el beneficio se va a empezar a ver reflejado hasta el segundo mes de implementación. Las siguientes tablas muestran los cálculos.

Tabla 29. Costos de Inversión y beneficio esperado.

<b>Detalle de Costos de Inversión</b>	
Costo del Dispensador ULTIMUS I	\$ 2,000.00
Cantidad requerida	2
Subtotal	\$ 4,000.00
25% adicional para accesorios y repuestos	\$ 1,000.00
<b>Total de Inversión</b>	<b>\$ 5,000.00</b>

<b>Detalle de beneficio esperado</b>	
Cantidad de unidades diarias adicionales	8
Costo por unidad	\$10.42
Costo de unidades adicionales diarias	\$83.36
<b>Beneficio mensual esperado*</b>	<b>\$1,833.92</b>

\* Promediando 22 días laborales al mes.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30. Cálculo del índice neto de rentabilidad.

Inversión	\$5,000.00
TIR	36%

Mes	Ingresos	Egresos	Flujo de Efectivo
0	\$0.00		(\$5,000.00)
1	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
2	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
3	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
4	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
5	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
6	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
7	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
8	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
9	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
10	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
11	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92
12	\$1,833.92	\$0.00	\$1,833.92

Valor Actual de Ingresos	\$3,683.48
Valor Actual de Egresos	\$0.00
Costos + Inversión	\$5,000.00
Índice neto de rentabilidad	<b>1.36</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Como se muestra en la tabla 30, al obtener una tasa interna de retorno de 36% y un índice neto de rentabilidad de 1.36 entonces se considera que el proyecto es rentable.

Una forma aún más simplificada de realizar el análisis es si se considera que el costo total de implementación es de \$5,000 y el beneficio esperado promedio es de \$1,833.92 entonces en términos simples se podría decir que se tardaría al menos 2.73 meses en recuperar el monto invertido (obtenido al dividir el monto de la inversión entre el beneficio esperado mensual).

### **5.3. Fase de Control de la mejora propuesta**

A continuación, se mencionarán los pasos requeridos para la fase de control de la mejora de la propuesta.

- Como parte de la mejora de la propuesta se le hace la respectiva validación a los equipos implementados en las estaciones de trabajos, los cuales son dispensadores de adhesivo.
- Se hace actualización en el procedimiento que le aplica al proceso P, donde se incluye el dispositivo nuevo, los pasos nuevos necesarios para la utilización de mismo, lo cual también de forma directa se actualiza y mejora el diagrama de flujo con los nuevos cambios.
- Se entrena al personal en el nuevo proceso el cual incluye como configurar el equipo y la nueva técnica por utilizar con el nuevo método de trabajo.

El Inicio de la fase de control depende de que la mejora haya quedado implementada mediante la actualización del procedimiento de manufactura que contenga los pasos de cómo se debe utilizar y hacer los ajustes en el equipo para poder ser utilizado en el proceso y de que los operarios hayan recibido el entrenamiento necesario demostrando que pueden ejecutar el proceso con los cambios implementados.

En este caso en particular el diagrama del proceso se mantiene con los mismos pasos, con la única diferencia de que ahora el paso de aplicación de adhesivo se realiza con ayuda del equipo y no de forma manual. Es decir, los pasos

del proceso no cambian ni en cantidad ni en intención, sin embargo, lo que cambian son las herramientas con las que se ejecutan.

Para la fase de Control de este proyecto se propone darle continuidad y seguimiento a los indicadores de productividad que ya están implementados y siendo utilizados en la línea de producción P. En este caso en particular, el indicador de cantidad de unidades producidas y las métricas relacionadas al cumplimiento de los planes de producción.

La fase de control de esta mejora se propone que se realice durante un periodo de 6 meses después de implementada la mejora para confirmar que el aumento de la cantidad de subensambles producidos por día se mantiene constante con respecto al valor esperado.

## **CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

En este punto se da por concluido de forma satisfactoria el proyecto y se confirma que fue posible alcanzar tanto el objetivo general como los objetivos específicos planteados al momento de su inicio. Esto se logró mediante la aplicación en un escenario real de herramientas ingenieriles ampliamente utilizadas dentro del ámbito de la Ingeniería Industrial y que cuya utilización permitió profundizar durante el aprendizaje final para el cierre de la carrera.

Al finalizar la ejecución del proyecto se pueden generar las siguientes conclusiones:

- Mediante la aplicación del sistema DMAIC y el uso de herramientas de ingeniería en cada una de sus etapas fue posible identificar de forma satisfactoria la causa raíz del problema planteado, el estado actual del proceso y con la información recabada fue posible proponer una solución simple y directa que permite alcanzar el objetivo principal y lograr una mejora promedio en productividad estimada de 7.69% que está por encima del 7% propuesto en el objetivo general del proyecto.
- Durante la ejecución fue posible realizar un estudio de causa raíz haciendo uso de herramientas adecuadas que permitió hacer un planteamiento correcto del problema e identificar tres factores principales que afectan la productividad del proceso P en su estado antes de implementar la mejora.
- El estudio de tiempos se determinó como un elemento clave para poder crear un modelo que en este caso describe de forma correcta el estado del proceso

actual y que permitió ser utilizado como herramienta para analizar el impacto de la propuesta de mejora a nivel de tiempos observados y tiempos estándar del proceso.

- Durante la fase de implementación del proyecto fue posible identificar una solución con un buen balance costo / beneficio y que se considera de fácil implementación lo cual representa un escenario muy positivo a la hora de evaluar la viabilidad de implementación del proyecto. El equipo de dispensado propuesto cumple con los requerimientos definidos como deseables para la solución y se demostró con datos medidos que el uso del mismo tiene un impacto significativo en la productividad del proceso analizado.
- El análisis costo beneficio de la mejora propuesta determinó que con una inversión a nivel de capital de \$5,000 se podría obtener un beneficio asociado a la mejora en productividad del proceso que equivale a un beneficio con un valor asociado de \$1,834 al mes (\$22,000 después del primer año) asociado a la cantidad de subensambles adicionales que la línea de producción va a ser capaz de ensamblar durante el turno de trabajo, esto se ve reflejado una alta tasa de retorno de la inversión y un muy buen nivel de la relación costo beneficio (B/C) asociada a la implementación de la mejora propuesta.
- Se considera que la mejora propuesta es adecuada para contrarrestar los 3 factores que se identificaron durante el estudio de causa raíz que afectaban la productividad del proceso P analizado.

## 6.2. Recomendaciones

Tomando en cuenta todos los análisis realizados, las observaciones, la propuesta de mejora y las conclusiones asociadas a la ejecución de este proyecto se pueden generar las siguientes recomendaciones:

- Dado que quedó demostrado que la utilización de un equipo dispensador de fluidos ayuda a reducir la cantidad de tiempo requerida para ejecutar el paso de aplicación de adhesivo 4307 también se recomienda evaluar la opción y hacer un análisis costo beneficio para implementar un equipo similar o igual para ser usado en el paso 2 del proceso (aplicación del adhesivo 4306) que también podría ver una reducción de tiempo en el proceso y un consecuente aumento de productividad de la estación.
- Se recomienda que continuar un proceso de capacitación comprensivo y completo para que los operarios puedan conocer sobre las características de los dispensadores de fluidos y su correcta utilización.
- Se sugiere dar seguimiento a los indicadores de desempeño propuestos para la etapa de control y tomar nota en caso de que el beneficio observado a nivel de productividad aumente con el tiempo conforme los operarios alcanzan la curva de aprendizaje del proceso utilizando el nuevo equipo.
- Hacer una evaluación de diferentes áreas en otras líneas de producción de la empresa en donde se realicen procesos que tengan un problema identificado similar y utilizar como referencia la propuesta de mejora

planteada en este proyecto como una posible mejora que se puede implementar en otros procesos.

- Realizar sondeos de satisfacción a los operarios para evaluar la percepción de la mejora propuesta y tomar eso como un beneficio adicional obtenido para este tipo de mejoras en donde se reduce la carga física de esfuerzo al operario.



## BIBLIOGRAFIA

1. Neira, A. C. (2006). *Técnicas de medición del trabajo*. FC Editorial.
2. Vaughn, R. C. (1990). *Introducción a la ingeniería industrial*. Reverte.
3. Benjamin W. Niebel y Andris Freivalds (2009). *Ingeniería industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-hill.
4. Humberto Gutiérrez y Román de la Vara (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. McGraw-hill.
5. **Humberto Gutiérrez** (2010). *Calidad total y productividad*. McGraw-hill.
6. **Oficina Internacional del Trabajo**. (2005). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: OIT
7. Serope Kalpakjian y Steven R. Schmid (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson educación.
8. George Eckes (1954). *El Six Sigma para todos*. Grupo Editorial Norma.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Guía de selección de dosificadores de fluidos de precisión (Nordson EFD)

CARACTERÍSTICAS		DOSIFICADORES DE SOBREMESA				
						
		UltimusPlus™ I / II	Ultimus™ V	Ultimus I / II	Performus™ X100 / X15	Performus I
Información General	Tipo	Neumático	Neumático	Neumático	Neumático	Neumático
	Fluidos recomendados	Todos los fluidos / Fluidos de baja viscosidad	Todos los fluidos	Todos los fluidos / Fluidos de baja viscosidad	Todos los fluidos / Fluidos de baja viscosidad	Todos los fluidos
	Rango de presión de aire	0,7–7,0 bar (10–100 psi) / 0–1,0 bar (0,3–15 psi)	0–7,0 bar (0–100 psi)	0–7,0 bar (0–100 psi) / 0–1,0 bar (0–15 psi)	0–7,0 bar (0–100 psi) / 0–1,0 bar (0–15 psi)	0–7,0 bar (0–100 psi)
	Intervalo de tiempo	0-999.9999 s	9.9999 s	0-999.9999 s	0-99.9 s	—
	Garantía	5 años <sup>1</sup>	1 año	5 años <sup>1</sup>	2 años	1 año
Funciones	Modo constante	✓	✓	✓	✓	✓
	Modo instructor	✓	✓	✓	✓	—
	Modo temporizado	✓	✓	✓	✓	—
Pantalla	Monitor	Pantalla táctil	LCD	LCD	—	—
	Presión digital / Tiempo digital	✓	✓	✓	✓	Analógica
	Vacio digital	✓	✓	✓	Analógica	Analógica
	Multilingüe	✓	✓	✓	—	—
Bloqueo de tiempo	Tiempo / presión de bloqueo	Todos los parámetros	Tiempo y Presión	Tiempo	—	—
Programación	Ciclos múltiples	MultiShot <sup>2</sup>	Secuencia automática <sup>3</sup>	—	—	—
	Nº de programas	16 (tiempo, presión, vacío, código de barras)	400 (tiempo, presión, vacío)	16 (tiempo)	—	—
Conectividad (E/S)	Señal de arranque	✓	✓	✓	✓	—
	Retroalimentación de fin de ciclo	✓	✓	✓	✓	—
	RS-232	—	✓	—	—	—
	Ethernet	✓ <sup>4</sup>	—	—	—	—

<sup>1</sup> Dos años en Asia

<sup>2</sup> MultiShot permite múltiples disparos con solo presionar el pedal.

<sup>3</sup> Memoria programable que ajusta automáticamente los parámetros de dosificación a los cambios en la viscosidad.

<sup>4</sup> UltimusPlus permite el control remoto desde un PLC o computadora a través del protocolo NX.

✓ Aplicable | — No Aplicable

## Anexo 2

### Hoja de datos y especificaciones de dosificadores ULTIMUS I-II (Nordson EFD)



Los dosificadores Ultimus ofrecen un control de procesos excepcional a dispositivos médicos, electrónicos y otros procesos de dosificación de precisión.

Cuenta con una pantalla digital que despliega simultáneamente todos los parámetros de dosificación y permite el ajuste del tiempo de dosificación en incrementos de hasta 0,0001 segundos. Los dosificadores Ultimus proporcionan un control excepcional en los procesos de manufactura de dispositivos médicos, componentes electrónicos y otros procesos de dosificación críticos.

El dosificador Ultimus I posee un manómetro de 0-7,0 bar (0-100 psi) que se adapta a todos los fluidos. El dosificador Ultimus II posee un manómetro de 0-1,0 bar (0-15 psi) que proporciona un mayor control a la hora de dosificar fluidos líquidos.

Ambas unidades cuentan con una regulación de presión con purgado constante, que hace que el ajuste de la presión resulte más intuitivo. Esta regulación del aire de elevada precisión hace que los dispositivos Ultimus I-II resulten fiables y fáciles de manejar.



Dosificación de adhesivos en componentes médicos con la herramienta HPx™.



Dosificación de flujos en componentes electrónicos.

#### Características

- Pantalla digital, con múltiple funcionamiento
- 16 ajustes de memoria
- 4 decimales para el ajuste del tiempo
- Ajuste de bloqueo de tiempo de operario
- Pantalla multilingüe
- Fuente de poder universal

#### Ventajas

- Visualización digital de todos los parámetros de dosificación para un control superior de los procesos
- Guarda hasta 16 programas de dosificación para facilitar la transición entre aplicaciones
- Ajustes del parámetro de tiempo de  $\geq 0,0001$ , para un mayor nivel de precisión
- Bloqueo del operario para ayudar a mantener un proceso más homogéneo
- Fuente de alimentación universal y opciones de pantalla en varios idiomas que permiten un uso y un soporte

Nº de Referencia	Descripción
7017041	Dosificadores Ultimus I, 0-7 bar (0-100 psi)
7012584	Dosificadores Ultimus I, 0-7 bar (0-100 psi) calibrada a las especificaciones de EFD utilizando estándares rastreables al National Institute of Standards and Technology (NIST).
7002003	Dosificadores Ultimus II, 0-1 bar (0-15 psi)
7012586	Dosificadores Ultimus II, 0-1 bar (0-15 psi) calibrada a las especificaciones de EFD utilizando estándares rastreables al National Institute of Standards and Technology (NIST).

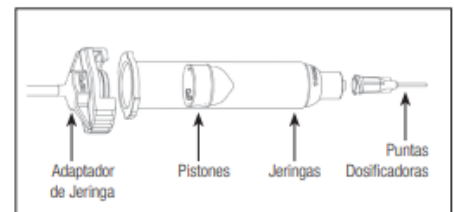
## Especificaciones

Art.	Especificación
Tamaño del gabinete	14,3 ancho x 18,1 alto x 17,3 prof. (cm)
Peso	2,3 kg
Adaptador de corriente	CA de entrada: 100–240 VCA $\pm$ 10%, 0,6 Amp, 50/60Hz CC de salida: Máximo 24 VCD, 1,04 Amp.
Frecuencia del ciclo	Excede los 600 ciclos por minuto
Rango de tiempo	0,0001 a 999,9999 s
Circuitos de retroalimentación de final de ciclo	5–24 VDC, máximo 100 mA
Circuitos de activación	Pedal, interruptor dactilar o señal de 5 a 24 VCD
Presión del aire de entrada	5,5–7,0 bar (80–100 psi)
Salida de aire	Ultimus I: 0–7,0 bar (0–100 psi) Ultimus II: 0–1,0 bar (0–15 psi)
Precisión de la pantalla de presión	Ultimus I: $\pm$ 0,1 bar ( $\pm$ 2,0 psi) Ultimus II: $\pm$ 0,2 bar ( $\pm$ 0,3 psi)
Certificaciones	Cumple con CE, UKCA, TUV, RoHS, WEEE y RoHS de China
Garantía	5 años, sin culpa alguna (América y Europa) 2 años, sin culpa alguna (Asia)

## No olvide pedir sus componentes.

Los componentes Nordson EFD Optimum® se han diseñado para funcionar con su dosificador como parte de un sistema completo e integrado que produce los depósitos más precisos y repetibles posible.

- Adaptadores de Jeringas
- Jeringas
- Pistones SmoothFlow™
- Puntas Dosificadoras
- Tapones de entrada y tapones de la punta



## Solicite una evaluación de proceso

Contacte con Nordson EFD para configurar un sistema de distribución automatizado que cubre sus necesidades específicas, con:

- Una evaluación de proceso gratuita realizada por expertos con experiencia en dosificación de fluidos
- Muestras procesadas para aprobación y evaluación por parte del cliente antes de la compra

