Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Industrial

Trabajo final de graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis en mejora continua

Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica.

Autor:

Kenneth Hernández Campos

Tutor:

Jorge Eduardo Pereira Calvo

Heredia, abril 2022

Carta de aprobación del tribunal examinador

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
POWERED BY Arizona State University

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: **Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica**, por el estudiante: **Kenneth Hernandez Campos**, fue aprobaba por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial:

JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)
Firmado digitalmente por JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)
Fecha: 2022.05.12 11:16:11 -06'00'

JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO

TUTOR

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.05.14 16:42:58 -06'00'

JOSUE CHARPANTIER DIAZ

LECTOR

LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Firmado digitalmente por LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.05.19 23:46:21 -06'00'

LUCIA SANCHEZ RAMIREZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Carta del Comité Asesor

COMITÉ ASESOR

JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)

Firmado digitalmente por JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)
Fecha: 2022.05.12 11:17:07 -06'00'

JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO

TUTOR

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)

Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.05.14 16:42:08 -06'00'

JOSUE CHARPANTIER DIAZ

LECTOR

LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por LUCIA CATALINA SANCHEZ RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2022.05.19 23:46:58 -06'00'

LUCIA SANCHEZ RAMIREZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Carta del Tutor

Heredia, 6 de mayo de 2022

Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Tutor, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "**Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica**", elaborada por el estudiante **Kenneth Hernandez Campos**, cédula de identidad **207710888**.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Lector y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular

JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)

Firmado digitalmente por JORGE EDUARDO PEREIRA CALVO (FIRMA)
Fecha: 2022.05.12 11:16:46 -06'00'

Jorge Eduardo Pereira Calvo
Tutor

Carta del Lector

Heredia, 6 de mayo de 2022

Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Lector, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "**Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica**", elaborada por el estudiante **Kenneth Hernandez Campos**, cédula de identidad **207710888**.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Tutor y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular

Josue Charpantier Diaz
Lector

JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)

Digitally signed by JOSUE CHARPANTIER DIAZ (FIRMA)
Date: 2022.05.14 16:43:38 -06'00'

Carta del Filólogo

Carta de revisión filológica

San José, 18 de mayo de 2022

Señores

Escuela de Ingeniería Industrial

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores:

He revisado y corregido en todos los extremos filológicos: la redacción, la ortografía, la puntuación, la morfología, la sintaxis y los vicios del trabajo titulado **"Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica"**, presentado por el estudiante Kenneth Hernández Campos, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial con énfasis Mejora Continua.

Con las correcciones realizadas en este trabajo de investigación, este es un documento con valor filológico y cumple con los requisitos necesarios para ser presentado ante las autoridades universitarias correspondientes.

Atentamente,

MARGARITA SIRLENE CHAVES BONILLA (FIRMA)

Firmado digitalmente por MARGARITA SIRLENE CHAVES BONILLA (FIRMA)
Fecha: 2022.05.18 07:10:25 -06'00'

Margarita Sirlene Chaves Bonilla

Filóloga

Cédula 2 0717 0620

Carné 83791 (COLYPRO)

Carta de autorización del CRAI

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)

Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Kenneth Hernandez Campos
De la Carrera / Programa:	Ingenieria Industrial
Modalidad de TFG:	Proyecto
Titulado:	**Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica**

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "**AUTOR**"), declara lo siguiente: **PRIMERO**: Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "**OBRA**"). **SEGUNDO**: El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "**UNIVERSIDAD**"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO**: El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO**: El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO**: El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD SEXTO**: La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO**: El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.,** el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día** 06 **de** Mayo **de** 2022 **a las** 6 PM

Firma del estudiante(s):

Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Kenneth Hernandez Campos estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto final de graduacion titulado:

Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la linea de produccion PolarMap, mediante herramientas de mejora continua, para el primer cuatrimestre del 2022, en Heredia, Costa Rica.

Por lo que librero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Alajuela, 6 de mayo del 2022

Kenneth Hernandez Campos

Carta de aceptación empresa

Boston Scientific
Advancing science for life™

Heredia, 04 de mayo del 2022

Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información

Estimados señores:

Por medio de la presente yo, **Jorge Vindas Villalobos**, actuando en mi condición de Ingeniero Senior de Ingeniería Industrial de la empresa **BOSTON SCIENTIFIC DE COSTA RICA, SOCIEDAD DE RESPONSABILIDAD LIMITADA**, hago constar la aceptación de **Kenneth Hernandez Campos** para la elaboración de su proyecto final de graduación, el cuál consiste en una Propuesta de mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la linea de produccion PolarMap, mediante herramientas de mejora continua.

Sin más por el momento, se despide atentamente,

4-0215-0308

Jorge Vindas Villalobos

Agradecimientos

Quiero agradecerle a toda mi familia que fue parte de este largo proceso, siempre apoyándome y alentándome a hacer las cosas mejor. También a mi pareja, que siempre estuvo en las buenas y en las no tan buenas apoyándome y motivándome todos los días.

Quiero agradecer también a las diferentes empresas por las cuales he pasado, ya que gracias a la experiencia y el conocimiento que he logrado adquirir, hoy soy el ingeniero que soy.

Dedicatorias

Quiero dedicarle este trabajo final de graduación primeramente a Dios, que es quien me ha permitido llegar donde estoy hoy, que es quien me da las fuerzas todos los días de seguir adelante y seguir dando lo mejor de mí.

También a toda mi familia y a mi pareja, que definitivamente, sin el apoyo y motivación de ellos, hoy no estaría donde estoy.

Resumen

El presente trabajo final de graduación expone diferentes propuestas de mejora enfocadas en reducir mudas del proceso productivo, así como cuellos de botella y, de este modo, maximizar la eficiencia de los recursos humanos, con el fin de optimizar el flujo de la línea de producción PolarMap de la empresa Boston Scientific de la planta de Heredia, Costa Rica.

Las principales dificultades que está presentando la línea de producción PolarMap son las altas cantidades de mudas, como, por ejemplo, los desplazamientos. Actualmente, en una de las estaciones un operario recorre 157,96 metros para poder obtener la materia prima necesaria para el proceso productivo, este recorrido lo realizan aproximadamente de 2 a 3 veces por día. De igual manera, en la estación de inspección final, los contribuidores actualmente están realizando un desplazamiento de 62,62 metros para poder solicitar a los técnicos de la línea soporte.

Otro de los principales problemas que está presentando esta línea de producción es que los manuales de procedimiento no están siendo concisos y, por ende, estos solicitan operaciones innecesarias que están incrementando el tiempo de la línea, este tiempo extra no es considerado como efectivo. Asimismo, algunos de los equipos utilizados en las estaciones no están dando abasto, debido a su poca capacidad.

Se realizaron diferentes propuestas de mejora en algunas de las estaciones que son las que actualmente tienen los tiempos más altos o mayores cuellos de botella, aplicando la metodología DMAIC. Esto se logró utilizando herramientas ingenieriles, con el fin de poder evidenciar la disminución de desperdicios y así poder tener un flujo continuo.

Una vez propuestas las ideas de mejora, se prosiguió con establecer diferentes indicadores de control y desempeño para poder asegurar que estas se ejecuten correctamente y que los objetivos planteados efectivamente se logren cumplir. Por último, se procedió a realizar una evaluación financiera, con el propósito de cuantificar la inversión de las propuestas, considerando los diferentes costos asociados y, asimismo, el retorno de inversión de estas.

Finalmente, se logra concluir que las propuestas establecidas en este proyecto final de graduación logran solventar las necesidades de la empresa, ya que los tiempos de las diferentes estaciones alcanzan las metas establecidas por le compañía para el 2022.

Tabla de contenido

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN xxv

1.1 Antecedentes del estudio 2

1.1.1 Mejora de procesos productivos basado en herramientas lean. 2

1.1.2 Mejora de procesos productivos 3

1.1.3 Mejora de procesos productivos mediante la metodología PDCA y manufactura esbelta 5

1.2 Justificación del estudio 6

1.3 Planteo del problema 8

1.3.1 Pregunta de investigación 9

1.4 Objetivo general 9

1.5 Objetivos específicos 9

1.6 Alcance 10

1.7 Limitaciones 10

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 11

2.1 Filosofías y conceptos 12

2.1.1 DMAIC 12

2.1.2 Kaizen (mejora continua) 13

2.1.3 Mudas (desperdicios) 14

2.2 Herramientas 15

2.2.1 Diagrama de flujo 16

2.2.2 Reuniones con el personal 17

2.2.3 Manual de procedimientos 18

2.2.4 Gemba Walk (lugar real donde suceden las cosas) 18

2.2.5 Entrevistas 19

2.2.6 Diagrama de Ishikawa 19

2.2.7 Toma de tiempos 21

2.2.8 Tiempo estándar 21

2.2.9 5 porqués 22

2.2.10 Takt time 22

2.2.11 Balanceo de línea 23

2.2.12 KPI (Indicadores claves de desempeño) 24

2.2.13 JDI (Just do it) 24

2.2.14 Plan de control 25

2.2.15 Checklist 25

2.2.16 Work content graph (gráficos de contenido) 26

2.2.17 Valor actual neto (VAN) 26

2.2.18 Tasa interna de retorno (TIR) 27

2.2.19 Retorno de inversión (ROI) 29

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 30

3.1 Tipo de investigación 31

3.2 Alcance de investigación 31

3.3 Fuentes de información 32

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de información 33

3.5 Procedimientos metodológicos de la investigación 34

3.6 Instrumentalización de variables 35

3.7 Cronograma del proyecto 37

CAPÍTULO IV: MARCO SITUACIONAL 39

4.1 Introducción 40

4.2 Historia de la empresa 40

4.3 Ubicación 41

4.4 Productos 43

4.5 Estrategia empresarial 46

4.5.1 Misión 46

4.5.2 Visión 47

4.5.3 Valores 47

4.5.4 Análisis FODA 48

4.5.5 Política de calidad 50

4.5.6 Clientes meta 50

4.5.7 Proveedores 51

4.5.8 Competencia 51

4.6 Organigrama (planta Costa Rica Heredia) 52

4.7 Procesos y descripciones 53

4.7.1 Macroprocesos 53

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL 56

5.1 Situación actual de la línea de producción PolarMap (Boston Scientific) 57

5.2 Proceso actual de la línea de producción PolarMap 57

5.2.1 Subensambles 58

5.2.2 Ensamble de producto 59

5.2.3 Empaque y etiquetado 61

5.3 Definir 62

5.3.1 Gráfico de contenido de trabajo (work content graph) 62

5.3.2 Diagrama de Ishikawa 64

5.3.3 Herramienta 5 porqués 66

5.3.4 Resumen etapa definir 67

5.4 Medir 67

5.4.1 Recorrido caja fuerte 67

5.4.2 Recorrido a estación de técnicos 69

5.4.3 Tiempos y cantidad de unidades producidas 70

5.5 Analizar 72

5.5.1 Resumen etapa analizar 73

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE LA PROPUESTA 75

6.1 Mejora 76

6.1.1 Propuesta de eliminación de operaciones innecesarias 76

6.1.2 Propuesta de eliminación de desplazamientos e implementación de fixture 81

6.1.3 Actualizar los manuales de procedimientos 89

6.2 Plan de implementación 90

6.3 Resumen etapa mejora 92

6.4 Control 94

CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN FINANCIERA 96

7.1 Costo de propuestas 97

7.1.1 Costo de propuesta para nueva caja fuerte 97

7.1.2 Costo de propuesta de implementación de fixture 98

7.1.3 Costo de propuesta de implementación de radios 98

7.1.4 Costo de propuesta de actualización de manuales de procedimiento 99

7.2 Tabla de costos 99

7.3 Ahorro general de la propuesta 100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 102

8.1 Conclusiones 103

8.2 Recomendaciones 104

BIBLIOGRAFÍA 105

GLOSARIO 109

Lista de tablas

Tabla 1. Propuesta para registro de reentrenamiento 90

Lista de figuras

Figura 1. Work Content Graph actual. 7

Figura 2. Pasos DMAIC 13

Figura 3. Tipos de desperdicios 15

Figura 4. Simbología Diagrama de flujo 16

Figura 5. Ejemplo de diagrama de flujo 17

Figura 6. Ejemplo de diagrama de Ishikawa 20

Figura 7. Ejemplo/ fórmula Takt time 23

Figura 8. Fórmula para calcular el VAN 27

Figura 9. Fórmula para calcular el TIR 28

Figura 10. Fórmula para calcular el ROI 29

Figura 11. Cuadro de fuentes de información 33

Figura 12. Cálculo del tamaño de muestra para una población 34

Figura 13. Cuadro de instrumentalización de variables 36

Figura 14. Cronograma 38

Figura 15. Ubicación de Boston Scientific Coyol 41

Figura 16. Ubicación de Boston Scientific Heredia 42

Figura 17. Catéter de ablación térmica 44

Figura 18. Sistema de stent transhepatico biliar 45

Figura 19. Sistema de válvula aortica 46

Figura 20. Análisis FODA 48

Figura 21. Política de calidad de Boston Scientific 50

Figura 22. Organigrama 52

Figura 23. Macroprocesos 54

Figura 24. Macroproceso PolarMap 55

Figura 25. Diagrama de flujo subensambles 58

Figura 26. Diagrama de flujo ensamble del producto 60

Figura 27. Diagrama de flujo empaque y etiquetado 61

Figura 28. Work content graph 63

Figura 29. Diagrama de Ishikawa PolarMap 64

Figura 30. Herramienta 5 porqués 66

Figura 31. Desplazamiento a caja fuerte 68

Figura 32. Recorrido a estación de técnicos 69

Figura 33. Toma de tiempos 71

Figura 34. Cantidad de unidades producidas 72

Figura 35. Resumen de problemas 74

Figura 36. Diagrama analítico Threading 78

Figura 37. Propuesta de eliminar testeo 79

Figura 38. Propuesta de eliminar acomodo de anillos 79

Figura 39. Diagrama analítico Threading propuesto 80

Figura 40. Caja fuerte actual 81

Figura 41. Diagrama analítico conector soldering 82

Figura 42. Propuesta de ubicación para nueva caja fuerte 83

Figura 43. Propuesta de Fixture 85

Figura 44. Diagrama analítico propuesto 86

Figura 45. Diagrama analítico final inspection 87

Figura 46. Propuesta de radios 88

Figura 47. Diagrama analítico propuesto 89

Figura 48. Plan de implementación 91

Figura 49. Resumen etapa mejora 92

Figura 50. Work content graph después de la mejora 93

Figura 51. Ejemplo de plantilla KPI 95

Figura 52. Costos caja fuerte 97

Figura 53. Costos de fixture 98

Figura 54. Costo de radios 98

Figura 55. Costo actualización de manuales 99

Figura 56. Tabla de costos 99

Figura 57. Ahorro general 100

Figura 58. Retorno de inversión 100

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del estudio

A continuación, se presentan diversas investigaciones que han sido desarrolladas bajo una temática similar al tema de investigación de este proyecto, de esta manera, se logra recopilar lo que se pretendía hacer, así como los resultados obtenidos y sus respectivas conclusiones.

1.1.1 Mejora de procesos productivos basado en herramientas lean.

Camilo Andrés Camargo López y Gabriel Eduardo Rodríguez Cardona en su proyecto de grado de licenciatura de ingeniería industrial en la Universidad Santo Tomas titulado *Propuesta de mejora para la línea de producción de implementos médicos, basado en la aplicación de herramientas lean, en la empresa NLopez Confecciones* (López y Cardona, 2021).

En la investigación de los autores antes mencionada se establece que el problema de la empresa radica en que, a pesar de que la compañía tiene experiencia en la industria textil, están produciendo prendas que no habían elaborado anteriormente y utilizan técnicas de la elaboración de otro tipo de ropa, pero no son óptimos para la elaboración de batas; por lo tanto, buscan disminuir el tiempo actual por cada unidad.

Lo primero que hacen los autores es una breve presentación de la empresa NLopez Confecciones, para ello, se empleó el método TASCOI, detallando los colaboradores, proveedores, clientes y su trasformación. Seguidamente, realizan un análisis para lograr evidenciar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA), que presenta la empresa. Con ayuda de este análisis, logran identificar fortalezas que pueden maximizar las oportunidades que encontraron, como, por ejemplo, a pesar de ser una empresa pequeña, los clientes siempre prefieren sus servicios frente a otros, debido a la calidad del material entregado, buena atención al cliente y cumplimiento de entrega.

Por otro lado, observando los procesos, identifican que es necesario implementar la metodología de 5s, eliminando objetos que no sean necesarios en el puesto de trabajo y dejar solo lo que realmente se requiere para el proceso productivo. Lograron designar espacios específicos

para ciertas herramientas de trabajo y materia prima que antes eran encontrados en lugares aleatorios.

Para la oportunidad de mejora que identificaron en cuanto a sistematizar el control de procesos, los autores propusieron una herramienta de Excel que facilitara el manejo de los datos de los clientes, la recepción y el estado de los pedidos realizados. Esta herramienta propuesta serviría como una base de datos que se debe alimentar cada vez que llegue un cliente nuevo o bien actualizar la información del comprador. Además de la recopilación de datos de los clientes, se procedió a generar una tabla en la que se muestra el listado de órdenes, con su respectivo cliente, el estado de la orden, las unidades a producir y las medidas de las prendas a elaborar. Finalmente, los autores realizaron un diagrama bimanual que les permitió observar y medir las actividades que tomaban más tiempo en realizarse, describirlas y analizar el factor, por el cual se toma más tiempo en dicha actividad para poder proponer mejoras en esas operaciones.

La utilidad de la información de esta investigación es bastante alta, ya que, bajo el objetivo del presente proyecto, se pretenden identificar puntos de mejora dentro del proceso productivo que permita disminuir la duración de las operaciones, también se requiere la identificación de factores que podrían estar produciendo mudas dentro del proceso productivo que eventualmente permitiría lograr eliminarlas. Un punto muy importante para destacar es la forma en la que se desarrolla y se estructura la investigación en donde primero se hace una breve presentación y su análisis FODA que permite ver el panorama actual de una manera macro hasta llegar a identificar potenciales propuestas de mejoras.

1.1.2 Mejora de procesos productivos

Lester Antonio Blas Guevara, David Moisés Grillo Caldera y Yulián José Hernández Mora desarrollaron su tesis de ingeniería industrial de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, titulada *Propuesta de mejora en la línea de producción 1 DILLAR en la empresa BWA, Diriamba Carazo, para el aumento de los niveles de productividad dentro del periodo de marzo a noviembre del 2020* (Blas Guevara, Grillo Caldera y Hernández Mora, 2020).

Los autores de dicha tesis presentan un proyecto de mejora continua en una empresa considerada líder en el mercado de la franela de algodón. Actualmente, en el proceso productivo de la línea 1, se observa que existen fallas con respecto a la estandarización de métodos, la organización de los materiales, la ubicación de los puestos y los equipos de trabajo, lo que repercute en una excesiva cantidad de transportes y generación de demoras en el proceso productivo de la línea. Esta situación de desorganización genera cuellos de botellas, aumento de ciclos de procesos, baja productividad, cansancio en los operarios por realizar movimientos innecesarios y disminución de su ritmo de trabajo (Blas Guevara, Grillo Caldera y Hernández Mora, 2020).

Como parte del análisis que realizaron los autores dentro de su tesis, crearon un diagrama de Ishikawa, con el fin de determinar cuáles eran las principales causas que generaban el problema, el cual era la baja productividad en la creación de los pijamas. Los autores lograron definir que hay 6 causas básicas que hacen que el proceso no sea considerado como un flujo continuo, las cuales estaban dentro de los materiales, el personal, el entorno, los métodos y las maquinas.

La empresa posee un boletín de operación, el cual demuestra cada una de las operaciones que intervienen en el proceso de la elaboración de los pijamas. Este boletín es utilizado por los contribuidores para poder confeccionar sus productos, sin embargo, no lo realizan bajo una secuencia lógica; debido a esto, la mayoría de las veces no se utilizan principios ingenieriles para montar las líneas de producción. Con esta información, los autores realizan una propuesta de un nuevo diagrama de flujo, en donde la línea de producción tenga una secuencia lógica y se pueda detallar bien las distintas piezas que entran en el proceso productivo.

Seguidamente, realizan un estudio de tiempos de cada una de las operaciones con sus respectivas muestras y logran obtener los tiempos estándares de estas; con esta información, propusieron un nuevo balance de línea que, basados en fórmulas teórica, definieron la cantidad de tiempo que realmente se debe durar por cada unidad producida, según la demanda del cliente y, además, el número de operadores necesarios. Una vez obtenidos los datos calculados con el nuevo balance de línea propuesto, hicieron una comparación de la productividad del antes y después y se obtuvo un incremento de un 30 %.

En relación con el proyecto actual, las herramientas utilizadas en esta tesis son de gran ayuda, ya que aplican propósitos ingenieriles similares a los esperados en este proyecto, como reducir desperdicios y tiempos. Además, en cuanto a los planes estructurados de cómo llevar a cabo la implementación son de gran utilidad, puesto que evidencia la importancia de conocer las diferentes causas que generan el problema principal de la empresa y así poder tener definido lo que se debe reducir o bien eliminar.

1.1.3 Mejora de procesos productivos mediante la metodología PDCA y manufactura esbelta

Anthony Moisés Espinoza Arias (2019) desarrollo su tesis para ingeniería industrial en la Pontifica Universidad Católica, titulada *Propuesta de mejora continua en el proceso de producción de una planta de plásticos mediante la metodología PDCA y manufactura esbelta,* en Lima, en el año 2019.

El autor de esta tesis propone una mejora en los procesos productivos de la empresa productora de plásticos utilizando la metodología PDCA, por ende, en su primera fase (Planear) realiza la identificación de la mejora, o bien del problema mediante un diagrama de Ishikawa; seguidamente, comprende el problema y documenta el proceso, a través de un diagrama de SIPOC y, por último, determina las casusas potenciales y críticas del problema mediante un diagrama de Pareto. Una vez identificadas las principales causas, se procede con la técnica de los 5 porqués para determinar las causas raíz de los grupos detectados previamente.

Como parte de su segunda fase (Hacer), el autor propone realizar el despliegue de las principales contramedidas determinadas, ejecutando los cambios necesarios para después evaluar su impacto dentro del proceso productivo. Dentro de estas propuestas esta una robusta implementación de una metodología 5 y la eliminación de desperdicios.

En su tercera fase (Verificar), se crean pruebas de normalidad y gráficos de control de cada presentación obteniendo el límite de control superior (LCS), límite de control inferior (LCI) y la línea central (LC) con la cantidad de muestras respectivas. Con estos gráficos, se realiza una

comparativa del antes y el después y se logra apreciar que los indicadores cumplen con la meta o están muy próximos en su mayoría.

La última fase (Actuar) permite generar retroalimentación sobre la planeación, realización y verificación desarrollados en los pasos anteriores, con el fin de generar aprendizaje sobre todas las acciones previamente analizadas, esto incluye el análisis, puesta en marcha y control.

Los resultados obtenidos durante este proyecto son de gran utilidad, ya que muestran de una manera muy explícita todas las herramientas y la secuencia de pasos utilizada para ir desarrollando cada una de las fases. Viéndolo desde un punto de vista estructural, la forma del desarrollo del proyecto es muy óptima y clara.

1.2 Justificación del estudio

El presente trabajo final de graduación tendrá como fin lograr alcanzar los tiempos estándares de las diferentes estaciones, propuestos por la empresa para el 2022 en la línea de producción PolarMap, mediante la reducción de mudas, cuellos de botella, optimización de procesos y eliminación de transportes innecesarios para poder reducir su tiempo estándar.

Es necesario estudiar adecuadamente los requerimientos que tiene la empresa con este proyecto para poder, de esta manera, realizar una propuesta de mejora que solvente de forma adecuada dichas necesidades; para esto, es necesario identificar causas raíz y los métodos óptimos para poder atacarlas.

Una de las primeras necesidades que la empresa requiere es que la línea de producción tenga un flujo continuo, sin cuellos de botella ni las causas que los generen.

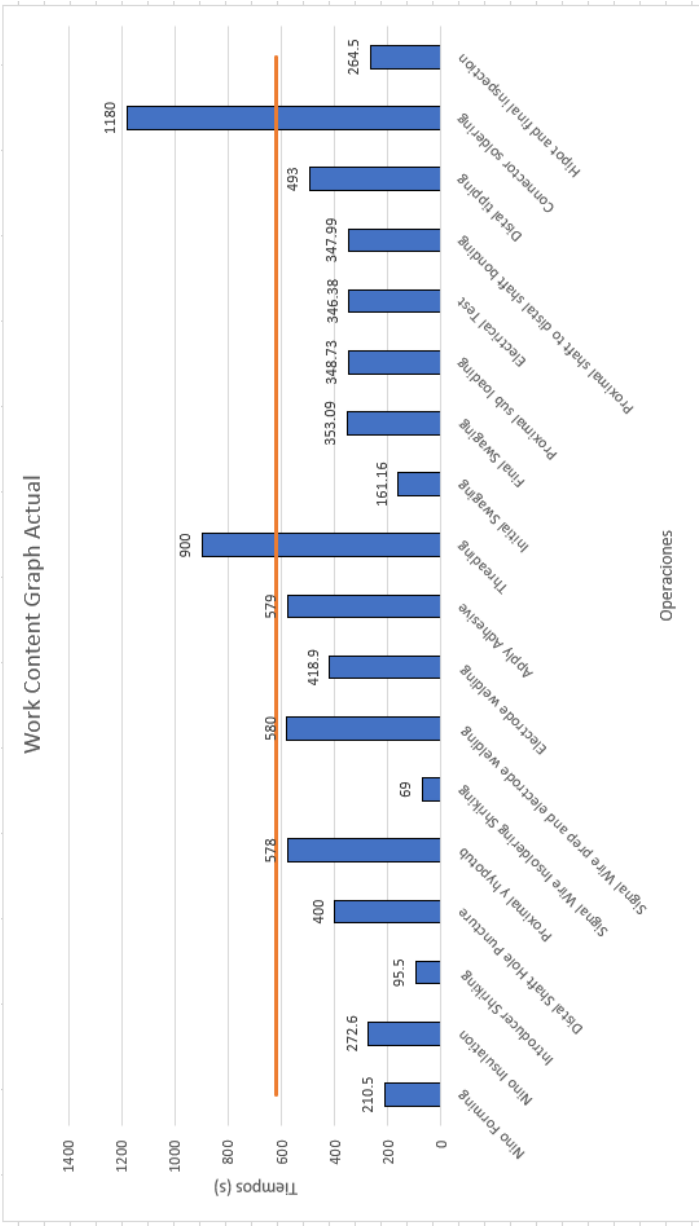


Figura 1. Work Content Graph actual.

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente el *work content graph* del proceso productivo logra describir de manera gráfica la duración de las operaciones, como se puede ver en la figura 1, algunas superan la meta esperada para el 2022, la cual se puede denotar mediante la línea naranja. En el presente proyecto, utilizará como referencia esta información para poder ir más a detalle a revisar operaciones

específicas y determinar por qué no están logrando llegar a sus metas mediante herramientas ingenieriles y, de esta forma, proponer soluciones óptimas para poder cumplir con los objetivos.

Para poder combatir los principales problemas de la línea de producción, es necesario evaluar metodologías de mejora continua que nos permitan identificar aspectos a mejorar, planear cómo realizar las mejoras, implementarlas y verificar los resultados y actuar de acuerdo con ellos, ya sea para corregir desviaciones o para proponer nuevas metas. Ciertas de estas metodologías que son de alta utilidad para el presente proyecto, como DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar).

La metodología DMAIC nos permitirá plantear una secuencia de pasos lógica para las fases del presente proyecto, en donde todas las variables serán capturadas para proponer la mejor solución y control. Por otro lado, la visita a los pisos de producción, la interacción con los contribuidores, escucharlos, entenderlos y preguntarles es de suma importancia hacerlo, a través de los *Gemba walks*, es ahí en donde se pueden observar los procesos, entender la manera como se está desarrollando el trabajo para así poder plantear soluciones, o bien ideas de mejora.

El *Kaizen* es considerado dentro del presente proyecto como otra de las herramientas de utilidad, que nos permitirá, a través de un grupo multidisciplinario, reconocer las necesidades de los clientes internos y externos, reducir los desperdicios y maximizar el tiempo de las operaciones potenciando el recurso humano.

1.3 Planteo del problema

El presente proyecto tiene dentro de su perspectiva la disminución de mudas, eliminación de cuellos de botella y optimización de los procesos productivos, con el fin de poder bajar el tiempo estándar del producto para poder cumplir con la meta de la empresa para el 2022.

Actualmente, el proceso de la línea de producción de PolarMap no es continuo; debido a las diferentes mudas, existen muchos cuellos de botella que están generando mucho atraso en la línea de producción y, en consecuencia, mucho ocio en otras estaciones. Además, se ha detectado una cantidad significante de distancias recorridas por contribuidores para poder obtener materia

prima que se encuentra muy largo de sus estaciones, o bien para poder comunicarse con un técnico de calidad o manufactura para notificarles un posible *scrap* detectado. Por otro lado, se han identificado operaciones en las cuales los equipos utilizados no dan abasto, debido a su poca capacidad, estos no están automatizados, lo cual está generando un incremento en el tiempo de la línea respectiva.

1.3.1 Pregunta de investigación

De acuerdo con los problemas anteriormente expuestos, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué impacto generaría una mejora en los procesos productivos y eficiencia de los recursos humanos en la línea de producción PolarMap de la empresa Boston Scientific?

1.4 Objetivo general

Diseñar una propuesta de mejora para reducir las mudas del proceso productivo, cuellos de botella y maximizar la eficiencia de los recursos humanos, para optimizar el flujo de la línea de producción PolarMap de la empresa Boston Scientific, utilizando la metodología DMAIC, para el primer cuatrimestre de 2022.

1.5 Objetivos específicos

1. Interpretar el proceso productivo actual de la línea de producción PolarMap.
2. Identificar los principales defectos y puntos críticos presentes en el proceso productivo.
3. Diseñar una propuesta de mejora para la optimización de los procesos.
4. Establecer indicadores de desempeño para el seguimiento y el control adecuado del proceso.
5. Evaluación del impacto financiero de la propuesta de mejora.

1.6 Alcance

El proyecto se realizará en la empresa Boston Scientific ubicada en la zona franca “Global Park”, en La Aurora de Heredia. Los requerimientos y aspectos relacionados con el proyecto se realizarán de acuerdo con las necesidades propuestas por la empresa y el departamento de mejora continua.

Este se llevará a cabo en la línea de producción de PolarMap, la cual se enfocará desde las primeras estaciones, donde se realizan subensambles del producto hasta las últimas estaciones, donde se ejecutan inspecciones finales y empaque del producto.

1.7 Limitaciones

Cierta información confidencial de la empresa no podrá ser presentada; por ende, es necesario modificarla. Por otro lado, debido al COVID-19, hay restricciones dentro de la planta de producción que restringen la cantidad de personas en salas, por ello, no se podrá ser partícipe de algunas reuniones importantes que requieran presencia física.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Filosofías y conceptos

En esta sección, se plantearán todas las filosofías que serán utilizadas para el desarrollo del presente proyecto.

2.1.1 DMAIC

Esta metodología es utilizada en la mayoría de los casos para la mejora de procesos. DMAIC es el acrónimo en inglés para cinco pasos: Definir, Medir, Analizar, Controlar y Mejorar (*Define, Measure, Analyze, Improve* y *Control*). Cada uno de estos pasos debe realizarse en orden y, si al final del ciclo el resultado esperado no se alcanza, el ciclo debe reiniciar (Minetto, 2019). Los diferentes aspectos de cada uno de los pasos se pueden reflejar en la siguiente figura:

Definir	Oportunidades
	Alcances
	Objetivos
	Participantes
	Áreas
	Riesgos
	Requisitos
Medir	Recolectar datos
	Evaluar el escenario actual
	Toma de tiempos
	Calcular distancias
	Medir indicadores
Analizar	Identificar causas raíz
	Analizar datos
	Crear oportunidades de mejora
Mejorar	Identificar y crear soluciones
	Centrar fuerzas en las soluciones más fáciles y sencillas de implementar (Alto impacto, poco esfuerzo)

	Probar las soluciones
	Crear un plan de acción
	Implementar las mejoras
Controlar	Crear planes de control del proceso
	Documentar el historial de las mejoras implementadas
	Crear *checklist*
	Establecer metas

Figura 2. Pasos DMAIC

Fuente: Elaboración propia.

En el presente proyecto, esta herramienta será de gran ayuda, ya que contribuye en la realización de las actividades por fases, esto será de gran utilidad para poder darle una mejor estructura al proyecto en general. Por otro lado, especifica muy bien cada proceso a realizar en cada fase y pretende precisar la problemática en etapas tempranas para poder proponer mejoras óptimas, de acuerdo con los requerimientos de la empresa.

2.1.2 Kaizen (mejora continua)

Esta metodología es utilizada para poder erradicar todos los desperdicios identificados, despilfarros, o bien ineficiencias dentro del proceso productivo de la línea de producción, específicamente para el presente proyecto. Si atendemos a la traducción literal del término, *Kai* significa “cambio” y *Zen* “mejora”. El uso común de su traducción al castellano es “mejora continua” (Díaz, 2019).

El método Kaizen es principalmente caracterizado en mejorar procesos sin tener que incurrir en grandes inversiones, es decir, identificar mejoras de alto impacto, pero que requieran poco esfuerzo. Asimismo, procura involucrar a miembros de la misma línea de producción, que son quienes conocen realmente le proceso, ya que pasan en este todos los días.

Excesos de producción, defectos, inventarios, transportes, demoras y procesos innecesarios son su principal objetivo para poder erradicar todo lo posible dentro de los procesos productivos. Esta metodología será utilizada para el presente proyecto de manera que los mismos operarios puedan participar y así poder proponer soluciones a problemas de alto impacto y poco esfuerzo, por ende, es considerar como una herramienta muy importante para este proyecto.

2.1.3 Mudas (desperdicios)

Para el presente proyecto, es de suma importancia poder realizar un análisis profundo para poder identificar todos los desperdicios encontrados dentro del proceso productivo, para que, de esta forma, se puedan centrar fuerzas y recursos en erradicar, o bien minimizar cualquier muda presente en las operaciones. Para esto, es vital conocer los diferentes desperdicios que existen y, de esta forma, poder clasificarlas. Actualmente, existen 7 mudas, las cuales se pueden ver ejemplificadas en los siguientes puntos.

- Sobreproducción: en este punto, se habla específicamente cuando no se tiene un plan definido ya que se produce más de lo que se requiere o bien se produce antes de que sea requerido. La sobreproducción conduce a exceso de inventario que requiere un gasto extra de recursos que no beneficia a los clientes (Romero, 2014).
- Esperas: la espera es el tiempo, durante la realización del proceso productivo, en el que no se añade valor, esto incluye esperas de material, información, maquinas, etc. (Méndez, 2014).
- Transporte: el transporte hace referencia a los movimientos innecesarios del producto o bien de las materias primas, por ende, los mismos deben ser minimizados todo lo posible. La transportación no hace ninguna transformación al producto que el cliente está dispuesto a pagar (SPC consulting group, 2013).
- Procesos inapropiados o sobre procesos: este punto hace referencia específicamente al trabajo extra que se realiza sobre un producto. La optimización de los procesos y revisión constante de este es fundamental para reducir fases que pueden ser innecesarias al haber mejorado el proceso (Méndez, 2014).

- Exceso de inventario: esta muda se refiere al inventario del producto terminado, semielaborado o materia prima generada durante el proceso productivo y que podemos encontrar tanto al principio como al final del proceso (Medina, 2019).
- Movimientos innecesarios: esta muda hace referencia a todos los movimientos realizados que no generan ningún valor agregado provocado en la mayoría de los casos por eficiencia baja de los trabajadores, falta de ordenl o bien malos métodos de trabajo.
- Defectos: los defectos de producción y los errores de servicio no aportan valor y producen un desperdicio enorme, ya que consumimos materiales, mano de obra para reprocesar y/o atender las quejas y, sobre todo, pueden provocar insatisfacción en el cliente (Méndez, 2014).

Figura 3. Tipos de desperdicios

Fuente: Méndez (2014).

2.2 Herramientas

Seguidamente, se presentarán las herramientas con las que se desarrollará el presente proyecto, para poder realizar propuestas óptimas a la problemática presentada.

2.2.1 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo nos va a permitir conocer la secuencia de pasos productivos de una manera macro, en donde se pueden detallas todas y cada una de las operaciones necesarias para poder producir un producto. El diagrama de flujo, también conocido como diagrama de actividades, es una manera de representar gráficamente un algoritmo o un proceso de alguna naturaleza, a través de una serie de pasos estructurados y vinculados que permiten su revisión como un todo (Editorial Etece, 2021).

Debido a que esta herramienta va a ser de gran utilidad en el presente proyecto para conocer el flujo de la línea de producción, es de suma importancia determinar la simbología perteneciente a este diagrama, tal y como se muestra en la siguiente figura:

SÍMBOLO	NOMBRE	FUNCIÓN
	Inicio / Fin	Es el inicio y el final de un proceso
	Línea de flujo	Es el orden que llevan las actividades u operaciones
	Entrada / Salida	Son las lectura de los datos de la entrada y la impresión de datos en la salida
	Proceso	Representa las operaciones de cualquier tipo
	Decisión	Se analiza una situación con verdadero o falso

Figura 4. Simbología Diagrama de flujo

Fuente: Añez (s.f.).

Seguidamente. se puede ver reflejado un ejemplo de cómo se realiza un diagrama de flujo.

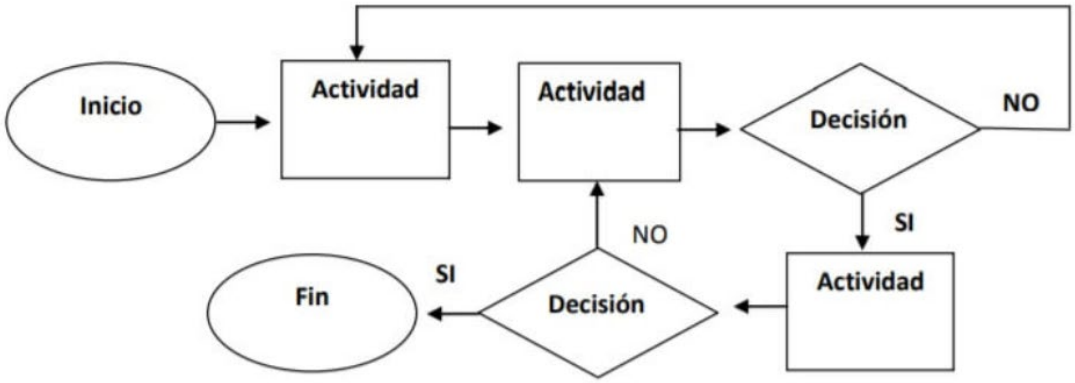


Figura 5. Ejemplo de diagrama de flujo

Fuente: Gonzales (2020).

2.2.2 Reuniones con el personal

Es de suma importancia escuchar las necesidades del cliente, los requerimientos solicitados por parte de la empresa, las incomodidades que poseen los contribuidores y, a la vez, las ideas de los operarios. Por ello, las reuniones son trascendentales, ya que contribuyen a tener esa interacción humana y a conocer las necesidades reales solicitadas por los diferentes miembros de la organización. Esta herramienta será una de las principales a desarrollar en el presente proyecto, ya que, en primera instancia, se necesitan conocer cuáles son los problemas presentados y cuáles son los requerimientos por parte de la empresa, por ende, se pretende desarrollar diferentes reuniones, con el fin de llegar a estas respuestas.

Actualmente, existen reuniones conocidas como *Stand up meetings*, las cuales buscan revisar avances, estatus actual, metas, actualizaciones de la producción, o bien de un tema en

específico en un corto tiempo. Las preguntas que se buscan solventar en este tipo de reuniones son: ¿qué hice ayer?, ¿qué voy a hacer hoy?, y ¿qué impedimentos puedo tener para cumplir con la tarea? Es una reunión de sincronización diaria del equipo, pero, además, y muy importante, pretende eliminar cualquier obstáculo, dejándolo a la vista para ser resuelto con prioridad, luego de la reunión (Peiretti, 2021).

2.2.3 Manual de procedimientos

Los manuales de procedimientos son los documentos más importantes para poder seguir una secuencia lógica de pasos para la manufactura de los productos. Una vez creado un manual de procedimientos, los operarios requerirán entrenamiento sólido, basado en los pasos descritos del manual, para poder así conocer qué deben hacer antes y después de cada operación, respectivamente. El manual de procedimientos es una herramienta indispensable para la implementación del sistema de control interno, se deben incluir todas las actividades a realizar y establecer las responsabilidades de los funcionarios implicados para el cumplimiento de los objetivos (Gómez, 2020).

En el presente proyecto, una de las principales actividades por realizar es revisar detalladamente los manuales de procedimientos de la línea de producción para poder evaluar si se logran detectar mudas dentro de los procesos productivos y erradicarlas, tomando en cuenta que cualquier modificación con este documento, deberá pasar por el proceso de calidad y aprobación respectivo de acuerdo con los lineamientos de la empresa.

2.2.4 Gemba Walk (lugar real donde suceden las cosas)

Las caminatas *Gemba* ayudan a conocer el espacio físico en donde se desarrollan las operaciones y transformaciones del producto dentro del proceso productivo, nos permite poder aprender y, a su vez, escuchar de los operarios en el escenario real de lo que sucede día a día. La caminata *Gemba* es una parte fundamental de la filosofía *Lean* que tiene como objetivo principal

conocer el proceso, observar y verificar lo que está ocurriendo; cada líder debería practicar periódicamente para impulsar una cultura de mejora continua (Pérez, 2020).

El *gemba walk* será, sin duda alguna, de suma importancia para el presente proyecto, con el fin de ir a las líneas de producción, preguntar directamente a cada contribuidor, observar los procesos, verificar y así aprender de lo que se vive el día a día.

2.2.5 Entrevistas

Esta herramienta nos permitirá realizar preguntas clave a personas que realmente conocen el proceso productivo, ya que es algo que realizan todos los días; con esta información, se podrá realizar un análisis profundo que nos ayude a tomar decisiones y también servirá como entradas de información que se puedan utilizar en otras herramientas. La entrevista es una técnica de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; se define como una conversación que se propone un fin determinado distinto al simple hecho de conversar (Díaz, 2013).

En el presente proyecto, en definitiva, es necesario realizar constantemente entrevistas que abarcan desde la gerencia hasta los operarios de producción, para poder tener toda la información necesaria que se requerirá para el apto desarrollo del trabajo.

2.2.6 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa y efecto, nos va a permitir conocer las causas principales y secundarias de un problema en específico de una manera sistemática y completa. Por medio de esta herramienta va a ser posible detectar distintos niveles de una problemática, desde pequeñas fallas de bajo impacto hasta graves obstáculos que pueden afectar de una manera drástica la producción. El diagrama de Ishikawa es una herramienta de la calidad que ayuda a levantar las causas raíz de un problema, analizando todos los factores que involucran la ejecución del proceso (Arenhart, 2018).

Esta herramienta será vital para el presente proyecto, ya que se pretende poder identificar las principales causas que están atentando contra la problemática presentada en la empresa, conociendo el significado y el propósito de la herramienta, se le dará el uso adecuado correspondiente. Los siguientes son los elementos que componen el diagrama:

- Cabeza: en este sector se denota el problema principal que atenta contra el proceso.
- Espinas: establecen las posibles causas que estén provocando el problema principal destacándolas según su categoría.
- Espinas menores: logran determinar causas menores de las espinas.

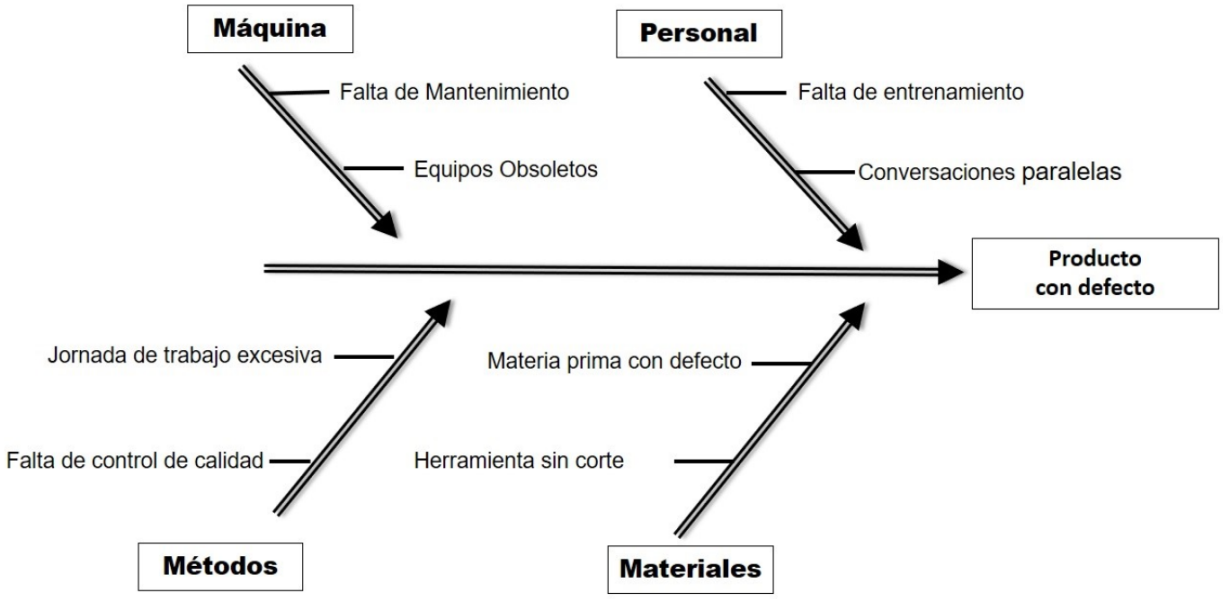


Figura 6. Ejemplo de diagrama de Ishikawa

Fuente: Arenhart (2018).

2.2.7 Toma de tiempos

La toma de tiempos nos va a permitir conocer una estimación de cuánto debería estar durando una persona promedio ejecutando una operación en específico, en la cual se está entrenada. El estudio de tiempo consiste en la medición del tiempo de una muestra del desempeño de un trabajador con el objetivo de emplearla como base para establecer un tiempo estándar (Salazar, 2019).

De igual manera, con ayuda de esta herramienta, podremos conocer el tiempo ineficiente en operaciones consideradas como cuellos de botella y poder alimentar con esta información, otras herramientas como el diagrama de Ishikawa, lo cual, a su vez, nos permitirá observar las oportunidades de mejora, en cuanto a secuencia de pasos y eliminación de mudas, con el fin de hacer una comparación de tiempo del antes y el después de las propuestas de mejora, por ende, esta herramienta será de gran utilidad para el presente proyecto final de graduación.

2.2.8 Tiempo estándar

El tiempo estándar es de suma importancia para una empresa de manufactura ya que es un indicador clave para poder determinar muchos criterios del producto manufacturado. El tiempo estándar se define como el tiempo que necesita un operador calificado, preparado y entrenado para ejecutar una operación, trabajando a una velocidad normal (Resultae, s.f.).

Actualmente, uno de los principales problemas de las empresas de manufactura es su baja productividad, ya que esto las convierte en poco competitivas y, por consiguiente, que no sean tan rentables, es por esto por lo que datos cuantitativos, como lo es el tiempo estándar de las operaciones, son tan importante para poder eventualmente reducir tiempo improductivo y estudiar posibles mejoras, determinar variaciones y la carga de trabajo de una persona, o bien de un equipo de trabajo.

2.2.9 5 porqués

Esta técnica es bastante sencilla, pero una de las más utilizadas para averiguar a fondo las razones del problema, la cual consiste en preguntar un simple "¿por qué?" al problema, y a la respuesta se le pregunta nuevamente un "¿por qué?", y así sucesivamente hasta completar las 5 fases. Los 5 porqués son una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar sus posibles causas principales (QAEC, s.f.).

Esta herramienta será de gran utilidad para este proyecto, ya que facilitará encontrar las razones de los problemas presentados y, además, ayudará a clarificar las posibles soluciones a las dificultades de las líneas de producción.

2.2.10 Takt time

Referente al *Takt time*, el sitio Mecalux (2021) define:

> El Takt time es un concepto empleado en producción que hace referencia al ritmo de fabricación que debemos mantener para responder a las demandas de los clientes. Esta estrategia de producción es especialmente útil cuando disponemos de un tiempo de producción limitado y una demanda constante por parte de los clientes (párr. 1).

Como es mencionado anteriormente, el *Takt time* es una herramienta guía para las empresas, la cual les permite conocer cuál es el ritmo de producción al cual una empresa debe mantenerse para poder cumplir con la demanda que tienen. Este tiempo es vital poder conocerlo en el presente proyecto, pues nos determinará la situación actual del proceso productivo, en cuanto a la duración por unidad para, posteriormente, lograr reducir este.

Demanda del cliente mensual	1600	Unidades mensuales
Día de trabajo (Suponiendo que son 8 horas)	480	Minutos diarios
Días labrables de un mes	20	Días
Minutos de descanso	60	Minutos diarios
Disponibilidad de las máquinas	90%	
Porcentaje de scrap	2%	

$$\text{TAKT} = \frac{[\ 480\ \text{min} - 60\ \text{min}\ ]\ (\ 0{,}90\ )}{[\ 1600\ /\ 20\ ]\ (\ 1{,}02\ )} = \frac{378}{81.6} = 5\ \text{min / unidad}$$

Figura 7. Ejemplo/ fórmula Takt time

Fuente: Gil Pérez (s.f.).

2.2.11 Balanceo de línea

Sobre el balanceo de línea, el autor Bryan Salazar (2019) define:

> El balance o balanceo de línea es una de las herramientas más utilizadas para la gestión del flujo de un sistema de producción, dado que parte de la base teórica de la fabricación equilibrada; de la cual depende el mejoramiento de ciertas variables que afectan la productividad de un proceso, variables tales como lo son los inventarios de producto en proceso, los tiempos de fabricación y las entregas parciales de producción (párr. 1).

Si bien es cierto, el balanceo de línea es muy importante cuando el objetivo de una empresa es poder tener un flujo continuo; sin embargo, para poder implementar esto hay que tomar en consideración ciertas variables vitales, como, por ejemplo, la cantidad de producción que tiene la empresa y el costo asociado para poder ver de la misma manera un potencial ahorro que se tendría

aplicado al volumen proyectado de la producción. Por otro lado, un punto muy importante es la continuidad, deben tomarse en cuenta estrategias que permitan asegurar un flujo continuo de materiales, piezas, subensambles, entre otros. Por último, es necesario considerar inclusive las inversiones económicas que conllevan un balanceo de línea, ya que no siempre el mismo justifica una mejora en el proceso. Esta herramienta será de gran utilidad para el presente proyecto para poder mantener un flujo continuo en la línea de producción.

2.2.12 KPI (Indicadores claves de desempeño)

Los KPI son indicadores muy importantes que las empresas utilizan para poder determinar si van en el camino correcto, o bien requieren realizar alguna mejora. Estos indicadores son todas las variables, factores y unidades de medida para generar una estrategia de marketing (ISDI, 2017).

De acuerdo con la definición anterior, es muy importante tener en cuenta que, para que un KPI funcione, debe ser medible, cuantificable, temporal, es decir, que pueda medirse en el tiempo y sea verificable. Los KPI serán indicadores utilizados en el presente proyecto, con el fin de determinar el desempeño y establecer un control adecuado del proceso después de que las propuestas de mejora sean establecidas.

2.2.13 JDI (Just do it)

El JDI es una herramienta de mejora de procesos que es normalmente utilizada para problemas de menor escala, los cuales pueden ser completados o solucionados en rangos de tiempo pequeños, inclusive horas, y no requieren de un gran equipo de trabajo. Esta produce mejoras que pueden ser implementadas en algunos casos de inmediato.

En el presente proyecto, esta herramienta será de gran utilidad para solventar problemas que estén presentes en los procesos y puedan ser resueltos a primera instancia y que, de esta manera, generen un gran impacto en los tiempos.

2.2.14 Plan de control

El plan de control es de suma importancia, con el fin de monitorear las mejoras implementadas en un proceso determinado. Un plan de control es un documento que describe las características críticas para la calidad, las X o Y críticas, de la parte o proceso (Rodríguez, 2019).

Existen diversos pasos para una buena ejecución de un plan de control, dentro de estos se pueden ver reflejados:

- Proporcionar un título para el plan de control.
- Asignar un numero específico de control.
- Seleccionar los miembros del equipo.
- Asignar una persona de contacto para el proyecto.
- Asignar una fecha original de emisión del plan de control.
- Fecha de revisión del plan de control.
- Enumerar el número de parte o proceso que se va a trazar.
- Identificar una variable de entrada.
- Identificar una variable de salida.
- Indicar si hay alguna característica especial la cual deba de ser monitoreada.

En el presente proyecto final de graduación, sin duda alguna, un plan de control debe ser uno de los indicadores de desempeño para el seguimiento y el control adecuado del proceso, ya que nos permitirá de forma estructurada, seguir una secuencia lógica de inspecciones.

2.2.15 Checklist

Los *checklist* son muy importantes para la realización de actividades en las que es importante que no se olvide ningún paso o que se deban hacer tareas con un orden en específico. Las listas de chequeo son formatos creados para realizar actividades repetitivas, controlar el cumplimiento en una lista de requisitos de forma sistemática (Gonzales y Jimeno, 2012).

Esta herramienta va a ser una muy buena, especialmente, con los planes de control, para poder verificar aspectos que deben cumplir los procesos, de acuerdo con las mejoras propuestas del presente proyecto, y así optimizar el proceso productivo.

2.2.16 Work content graph (gráficos de contenido)

El gráfico de contenido de trabajo es una representación total del tiempo de ciclo del operario, o bien de cada estación de las líneas de producción, si hay varios contribuidores o varias estaciones se debería sumar el tiempo de ciclo de todos y cada uno para conocer el gran total.

El *work content graph* es aplicado cuando se hace referencia al contenido del trabajo para poder construir en su totalidad un producto o ejecutar completamente un servicio. Esta herramienta será utilizada en el presente proyecto, con el propósito de reflejar, de manera actualizada, los tiempos de ciclo de cada una de las estaciones y compararlo con los tiempos meta; por ende, se considera esta herramienta como una de las primordiales para el desarrollo de este trabajo final de graduación.

2.2.17 Valor actual neto (VAN)

El VAN es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión (Velayos, 2014). En la siguiente figura se puede apreciar la fórmula para poder conocer el VAN.

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{FNC_t}{(1+i_t)^t} = C_0 - P_0 + \frac{C_1 - P_1}{1+i_1} + \frac{C_2 - P_2}{(1+i_2)^2} + \cdots + \frac{C_n - P_n}{(1+i_n)^n}$$

Donde:

- t es el tiempo, es decir, el número de períodos que han transcurrido desde el inicio. Suele ser habitual medirlo en años, en cuyo caso el tipo de interés también será anual.
- FNC_t es el flujo neto de caja del período t, es decir, la diferencia entre cobros y pagos de dicho período.
- C_t es la cuantía de los cobros realizados en el período t.
- P_t es la cuantía de los pagos efectuados en el período t.
- i_t es el tipo de interés al que actualizamos los flujos de caja en el período t. Normalmente, suele ser el mismo para todo el tiempo.
- 0 es el momento del tiempo en el que comienzan a realizarse cobros y pagos. Normalmente, será el momento del desembolso inicial.
- n es el momento final en el que tienen lugar los últimos cobros y pagos relacionados con el proyecto. Si es de duración indefinida, podemos considerar que es ∞. No obstante, los cobros y pagos de períodos muy lejanos en el tiempo que, una vez actualizados, tienen un valor actual muy pequeño, que tiende a ser despreciable a medida que nos alejamos en el tiempo.

Figura 8. Fórmula para calcular el VAN

Fuente: Gonzalo Garcia (2018).

En el presente proyecto, el valor del VAN será un dato para que la empresa pueda tomar decisiones, pues reflejará si con las propuestas, el producto pueda tener o no beneficios, por ello, es de suma importancia saber interpretar este valor.

- VAN > 0, significa que la inversión planificada generara beneficios.
- VAN < 0, significa que la inversión generara perdidas, por ende, no sería rentable.
- VAN = 0, significa que la inversión no generara ningún beneficio adicional.

2.2.18 Tasa interna de retorno (TIR)

En cuanto a la tasa interna de retorno, el sitio BBVA (s.f.) define:

La tasa interna de retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto de inversión, y sirve para que los inversionistas decidan si participar o no en él, ya que su cálculo permite comparar el valor actual de los gastos con los ingresos que se han proyectado para más adelante.

El valor del TIR, junto con el VAN y el ROI, son vitales para que las empresas puedan evaluar si implementar un proyecto de mejora, o bien una inversión, ya que estos generarán resultados respecto a las ganancias o pérdidas respectivas. Para poder calcular el TIR, se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \cdots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

F_t: flujos de dinero en cada periodo t

I_0: es la inversión realizada en el momento inicial (t = 0)

n: es el numero de periodos de tiempo

Figura 9. Fórmula para calcular el TIR

Fuente: Garcia (2018).

Para que el presente proyecto pueda definir si es viable o las inversiones específicas son viables o no, se deben tomar en cuenta criterios de selección. En estos, “k” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

- TIR > k, el proyecto de inversión será aceptado.
- TIR = k, se podría llevar a cabo la inversión si no hay más alternativas favorables.
- TIR < k, el proyecto debe rechazarse.

2.2.19 Retorno de inversión (ROI)

El ROI es una métrica que les va a permitirá a las empresas concluir qué tanto beneficio se obtuvo de una inversión realizada. Es una métrica de rendimiento que se utiliza para evaluar qué tan beneficiosa fue una inversión en relación con su costo (Da Silva, 2021). En este proyecto, el cálculo del ROI será indispensable, para concluir el beneficio obtenido al ejecutar este trabajo final de graduación.

La siguiente fórmula es la utilizada para poder calcular el ROI:

$$ROI = \frac{\text{Ingresos - Costos}}{\text{Costos}} \text{ X } 100$$

Figura 10. Fórmula para calcular el ROI

Fuente: Maram (2013)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Actualmente, existen 3 tipos de investigación, cuantitativa, cualitativa y mixta. En el presente proyecto, es importante saber la diferencia entre cada uno de estos tipos para conocer las respectivas características y definir el que se utilizará. La investigación cuantitativa es una forma estructurada de recopilar y analizar datos obtenidos de distintas fuentes, lo que implica el uso de herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados (Alan y Cortez, 2018).

En el presente proyecto, predominan aspectos cuantitativos para la obtención de datos; sin embargo, también existen ciertos apartados que cumplen con la definición de investigación cualitativa. La investigación cualitativa es un conjunto de métodos de investigación basados en la observación que se utiliza para comprender en profundidad un fenómeno sin utilizar datos numéricos para ello (Rodríguez, 2020). Dicho esto, el presente proyecto es considerado como una investigación mixta, en donde, primeramente, se analizarán aspectos cualitativos del problema presentado y, posteriormente, con la recolección de datos, se realizará una propuesta de mejora que solvente las necesidades de la empresa.

3.2 Alcance de investigación

El presente proyecto es de carácter descriptivo, ya que es necesario realizar un análisis detallado de todos los procesos productivos, con la finalidad de entender el flujo actual de la línea de producción. En este alcance de la investigación, ya se conocen las características del fenómeno y lo que se busca, es exponer su presencia en un determinado grupo humano (Ramos, 2020).

También es considerado de carácter correlacional, debido a que es posible que en el presente proyecto se puedan relacionar varias problemáticas y sus respectivas causas raíz. La investigación correlacional es un tipo de método de investigación no experimental, en la cual un investigador mide dos variables (QuestionPro, s.f.).

Por último, es también considerada de carácter explicativo, puesto que uno de los principales propósitos de este proyecto es lograr identificar las causas raíz a los problemas

presentados en la línea de producción, para poder proponer oportunidades de mejora óptimas. La investigación explicativa se llevaba a cabo, con el objetivo de investigar, de forma puntual, un fenómeno que no se había estudiado antes, o que no se había explicado bien con anterioridad (QuestionPro, s.f.).

3.3 Fuentes de información

Las fuentes de información son de suma importancia en una investigación o un proyecto, a la hora de referenciarse y lograr obtener los datos necesarios para el proyecto. Las fuentes de información son instrumentos para el conocimiento, acceso y búsqueda de la información (Conceptodefinicion, 2019). Existen 3 categorías de las fuentes de información:

- Primarias: son objetos, imágenes o documentos creados en un momento histórico que proporciona una mirada personal a un evento o periodo de tiempo (Sistema de biblioteca, 2021).
- Secundarias: proporciona información organizada, elaborada, producto de análisis de terceros, traducciones, o la reorganización de una información obtenida de una fuente primaria (Coll, 2021).
- Terciarias: esta proporciona información depurada que ha sido extraída de fuentes primarias y secundarias (Coll, 2021).

A continuación, se presenta una tabla resumen con las diferentes fuentes de información con las que se ha obtenido información y que también serán utilizadas para poder llevar a cabo el presente proyecto.

Fuentes primarias	Fuentes secundarias	Fuentes terciarias
1) Reuniones con el Ingeniero Senior del departamento, C*oreteam* y *Stake Holders* 2) Reuniones con los operarios de la línea de producción 3) Proyectos semejantes ejecutados en la misma empresa 4) Libros 5) Artículos académicos 6) Tesis académicas	1) Bibliografía de libros 2) Fuentes electrónicas	No se identifican fuentes terciarias para el presente proyecto

Figura 11. Cuadro de fuentes de información

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Instrumentos y técnicas de recolección de información

En el presente proyecto, se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos.

- Observación: *gemba walks* que nos permitan ir a la línea de producción, ver lo que está sucediendo con claridad, entender el proceso actual y poder preguntar para aprender y entender.
- Sesiones grupales y preguntas: estas sesiones son de suma importancia, ya que nos permite reunirnos con el grupo de colaboradores para poder escuchar sus inquietudes e inclusive las posibles oportunidades de mejora que proponen. Asimismo, las sesiones grupales se pueden dar con los *stake holders* y el *coreteam* para poder ir evaluando ideas de mejora y las implicaciones de estas. De igual manera, nos permite realizar preguntas a los operarios, con el fin de tener una amplia recolección de datos de diferentes personas sobre los factores que puedan estar atentando contra la problemática actual.

- Análisis causa y efecto: nos va a permitir identificar las posibles causas o bien los motivos de la problemática en específico y poder categorizarla.

3.5 Procedimientos metodológicos de la investigación

- Población de interés: el presente proyecto tiene una población de interés que abarca a todos los recursos de la línea de producción PolarMap, desde el material hasta el humano.
- Tipo de muestreo: para el presente proyecto, se utilizará un tipo de muestro aleatorio simple, ya que nos permitirá elegir de manera al azar los sujetos pertenecientes a la muestra.
- Tamaño de la muestra: para conocer el tamaño de la muestra en el presente proyecto, se requiere conocer el tamaño de la población, niveles de confianza, errores de estimación y probabilidades de que ocurra o no ocurra el evento estudiado.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^{2} * p * q}{e^{2} * (N - 1) + Z_{\alpha}^{2} * p * q}$$

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño de la Población o Universo

z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Figura 12. Cálculo del tamaño de muestra para una población

Fuente: QuestionPro (s.f.).

- Selección y distribución de la muestra: en el presente proyecto, para la selección y la distribución de la muestra, se ejecutarán reuniones con los *stake holders* y los *seniors* del departamento de ingeniería industrial, con el fin de enlistar los puntos a atacar.

- Unidad de muestreo e informante: en el presente proyecto, la unidad de muestreo serán las personas y las unidades producidas. En cuanto a la unidad informante, será específicamente el departamento de ingeniería industrial.

3.6 Instrumentalización de variables

En el cuadro presentado a continuación, se pueden observar las distintas variables involucradas en el desarrollo del presente proyecto.

Objetivo especifico	Variables de la investigación	Conceptualización de variable	Definición instrumental	Indicadores
Interpretar el proceso productivo actual de la línea de producción PolarMap	Método de ejecución del proceso productivo	El proceso productivo de la línea PolarMap abarca 25 estaciones las cuales desarrollan diferentes procesos de la manufactura del producto, desde la recepción de la materia prima hasta el empaque del producto final.	Diagrama de flujo del proceso actual Manual de procedimientos Gráfico de contenido de trabajo	Recolección de información Mediciones de tiempos Conocimiento de la problemática
Identificar los principales defectos y puntos críticos presentes en el proceso productivo	Requerimientos obligatorios del proceso productivo	Lista de materiales y requisitos necesarios para la manufactura exitosa del producto	Manual de procedimientos Diagrama de flujo Diagrama de Ishikawa	Identificación de los cuellos de botella Flujo de proceso estándar
Diseñar una propuesta de mejora para la optimización de los procesos	Optimización de los procesos productivos	Proceso de mejora desde la recepción del material hasta el empaque de este	DMAIC	Disminución de desplazamientos

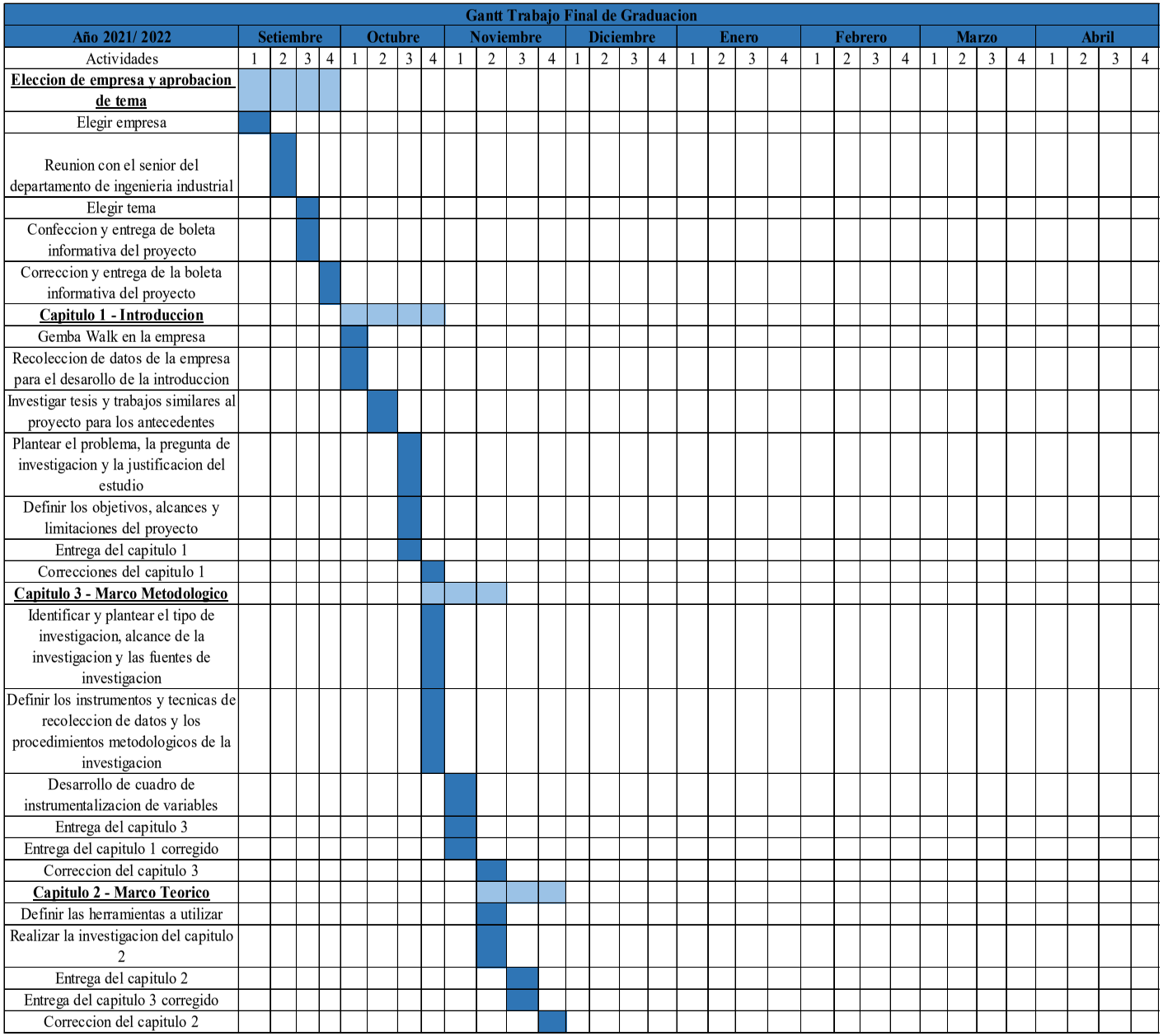
Objetivo especifico	Variables de la investigación	Conceptualización de variable	Definición instrumental	Indicadores
			Checklist del proceso Optimización Medición de transporte	Disminución de tiempos Optimización
Establecer indicadores de desempeño para el seguimiento y el control adecuado del proceso	Mecanismos de control y seguimiento	Los controles y seguimientos son herramientas con las cuales se podrá evaluar que la propuesta de mejora sea exitosa y cumpla con los requerimientos	Preguntas a los contribuidores Matriz de KPI Plan de control	Satisfacción de los contribuidores Flujo correcto de trabajo Tiempo estándar del producto
Evaluación del impacto financiero de la propuesta de mejora	Valoración de la propuesta	Determinar el impacto financiero de la propuesta	Tasa interna de retorno Retorno de inversión	Costo/ beneficio de la propuesta de mejora

Figura 13. Cuadro de instrumentalización de variables

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Cronograma del proyecto

A continuación, se mostrará el cronograma de actividades utilizado durante el desarrollo del presente proyecto.



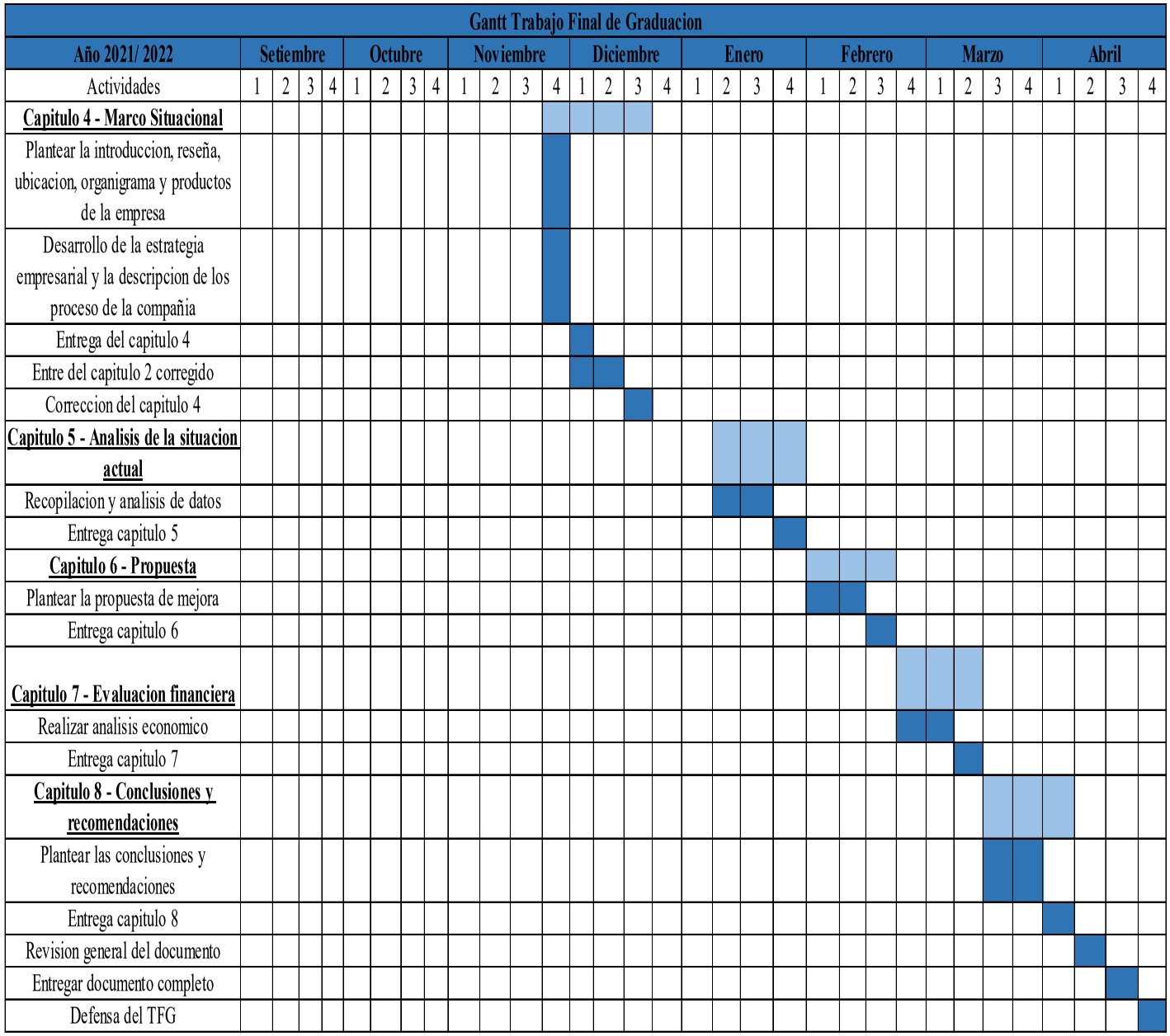


Figura 14. Cronograma

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: MARCO SITUACIONAL

4.1 Introducción

Boston Scientific es una empresa que desarrolla, fabrica y comercializa dispositivos médicos a escala mundial, con una plantilla de 29 000 empleados e ingresos de 9 millones de dólares, tiene presencia en el mercado en aproximadamente 125 países. Su sede corporativa internacional está ubicada en Marlborough, Massachusets (EE. UU.).

Durante más de 35 años, Boston Scientific ha hecho progresar la práctica de la medicina menos invasiva al ofrecer una amplia y variada cartera de productos, tecnologías y servicios innovadores para una extensa gama de especialidades médicas, entre ellas:

- Cardiología intervencionista.
- Gestión del ritmo.
- Endoscopia.
- Neuromodulación.
- Intervenciones periféricas.
- Urología y salud pélvica.

Actualmente, en Costa Rica hay 2 plantas de producción ubicadas en El Coyol de Alajuela y en Heredia (Boston Scientific, s.f.).

4.2 Historia de la empresa

En 1978, John Abele y Pete Nicholas buscaban soluciones. Abele quería un inversos para Medi-Tech, una empresa a la que se unió en 1969, pionera en el campo de la medicina intervencionista. Quería un socio que compartiera su visión de crear nuevos mercados para la medicina menos invasiva y que difundiera los productos de Medi-Tech. Nicholas quería construir una empresa. El resultado fue Boston Scientific, fundada el 29 de junio de 1979, como una compañía con participaciones para comprar Medi-Tech. Abele y Nicholas fundaron Boston Scientific con un propósito claro, beneficiar la salud pública al brindar a las pacientes opciones medicas más accesibles, de bajo coste y de menor traumatismo y convertirse en líderes en todos los aspectos de la industria (Boston Scientific, s.f.).

En los años 80 la empresa hizo un gran avance, al realizar 3 adquisiciones estratégicas que les permitió poder ir desarrollando el campo de neurología, gastroenterología y también el campo pulmonar y cardiológico. Seguidamente, 10 años después alcanzo los 1,8 billones de dólares en beneficios y se logró convertir en líderes en el tratamiento de enfermedades cardiológicas y vasculares. Del año 2000 al 2009 realizaron 2 adquisiciones clave que les ayudo a entrar en el campo de la neuromodulación y poder catalogarse como líder global en medicina cardiovascular y, por último, del año 2010 a la actualidad la empresa es considerada como una de las más maduras en su ámbito y sigue creciendo con la integración de nuevos productos alrededor del mundo.

4.3 Ubicación

Boston Scientific tiene 2 plantas de producción en Costa Rica, la primera ubicada en El Coyol de Alajuela, PROPARKE:

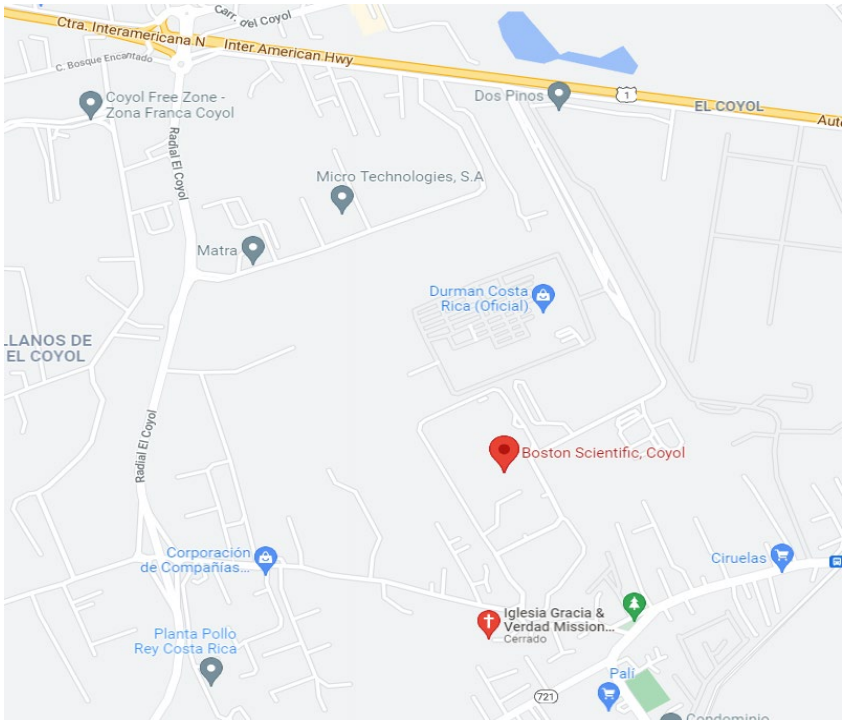


Figura 15. Ubicación de Boston Scientific Coyol

Fuente: Google Maps.

La segunda planta está ubicada en Heredia, Global Park:

Fuente: Google maps: **Fuente:** Google Maps.

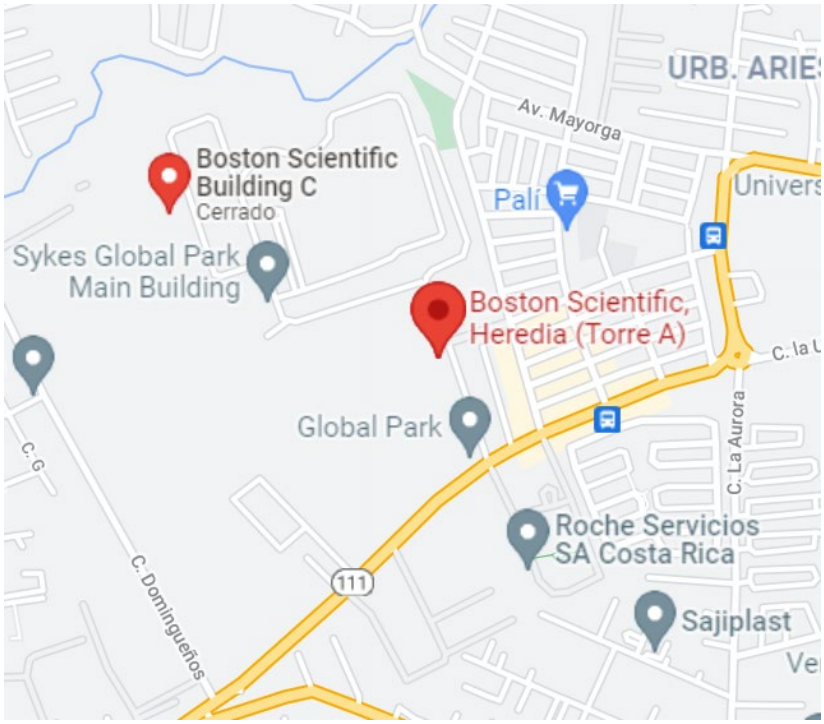


Figura 16. Ubicación de Boston Scientific Heredia

4.4 Productos

Boston Scientific tiene una amplia gama de productos a nivel mundial que se dividen por categorías como:

- Ablación por radiofrecuencia para el tratamiento del dolor
- Cabestrillos mesouretral
- Catéteres de ablación
- Dispositivos de extracción
- Esfínter urinario artificial
- Láseres y litotricia
- Protección embolica
- Prótesis peneana
- Sistema de cierre de la orejuela auricular izquierda
- Sistemas de aterectomía
- Sistemas de estimulación cerebral profunda
- *Stents* coronarios
- *Stents* gastrointestinal
- *Stents* Vascular
- Ureteroscopios
- Válvula cardiaca por catéter

Algunos de sus productos más destacados son los siguientes:

- Catéter de ablación térmica: el catéter de ablación INTELLATIP MIFI XP con mini-electrodos representa una nueva generación de catéteres de ablación de alta resolución. La tecnología que aporta INTELLATIP MIFI XP, exclusiva de Boston Scientific, se ha concebido para ofrecer información eléctrica altamente localizada-

con una claridad sin precedentes que le permite ver la información critica que necesita en la punta del catéter en tiempo real (Boston Scientific, s.f.).

Figura 17. Catéter de ablación térmica

Fuente: Boston Scientific (s.f.)

- Sistema de *stent* transhepático biliar: el *stent* biliar transhepático *wallflex* está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de los radiólogos intervencionistas. Esta plataforma de *stent* de tercera generación de Boston Scientific fue construida sobre evidencia clínica e innovación líder en la industria. Los *stents wallflex* están disponibles en opciones totalmente cubiertas, parcialmente cubiertas y descubiertas para el tratamiento paliativo de las estenosis biliares producidas por neoplasias malignas (Boston Scientific, s.f.).

Figura 18. Sistema de stent transhepatico biliar

Fuente: Boston Scientific (s.f.).

- Sistema de válvula aórtica: la válvula aórtica ACURATEneo con sistema de entrega transfemoral y transapical es una válvula supra anular auto expandible única que ofrece un diseño intuitivo, despliegue predecible y ofrece excelentes resultados clínicos (Boston Scientific, s.f.).

Figura 19. Sistema de válvula aortica

Fuente: Boston Scientific (s.f.).

4.5 Estrategia empresarial

La estrategia empresarial de Boston Scientific se puede ver detallada en los siguientes puntos.

4.5.1 Misión

Boston Scientific (s.f.) define su misión de la siguiente manera:

La compañía Boston Scientific está dedicada a transformar la calidad de vida ofreciendo soluciones medicas innovadoras que mejoran la salud de los pacientes de todo el mundo (parr, 1).

4.5.2 Visión

Para su visión, Boston Scientific (s.f.) define:

Ser el proveedor global de soluciones medicas de mayor rendimiento.

4.5.3 Valores

En cuanto a los valores, Boston Scientific (s.f.) establece:

- Valoramos: Actuamos con integridad y dedicación para ayudar a nuestros pacientes y clientes en cada una de nuestras comunidades.
- Innovación: Fomentamos el progreso científico, desarrollando por medio de la tecnología médica la disminución del impacto en la salud física y emocional de los pacientes, a la vez que reducimos el coste de la asistencia sanitaria.
- Alto desempeño: Nos esforzamos por lograr un alto nivel de desempeño en nuestra organización buscando siempre el beneficio de nuestros pacientes, médicos y de los accionistas.
- Colaboración global: Trabajamos juntos para aprovechar todas las oportunidades globales que pongan a nuestro alcance todas las soluciones médicas.
- Diversidad: Acogemos la diversidad y valoramos los talentos, las ideas y las experiencias únicas de nuestros empleados.
- Espíritu vencedor: Nos adaptamos al cambio reaccionando con rapidez, agilidad y con gran responsabilidad para seguir mejorando en la atención al paciente (pag, 1).

4.5.4 Análisis FODA

En la siguiente imagen, se puede ver reflejado el análisis FODA de Boston Scientific.

ANÁLISIS FODA

Fortalezas	Oportunidades
- Innovación constante - Altos estándares de calidad. - Certificación de Shingo Prize (Excelencia operacional). - Compañía líder a nivel mundial en la manufactura de dispositivos médicos menos invasivos. - 40 años de experiencia. - Apoyo a grupos de inclusión y diversidad.	- Obtener diferentes certificaciones que le dan valor agregado a la empresa (Zero Waste, agua neutral, huella de carbono, etc). - Actualización de métodos estándares en las líneas de producción. - Expansión de operaciones. - Optimizar y automatizar procesos.
Debilidades	**Amenazas**
- Falta de recurso humano en turnos laborales. - Ciertas operaciones en líneas de producción no son estándar. - Altos costos de distribución.	- Cambios en regulaciones. - Obsolescencia de productos. - Demanda por daños y peligros de los productos.

Figura 20. Análisis FODA

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las fortalezas, Boston Scientific es considerada como una empresa madura, es decir, ya paso su curva de crecimiento y puede subsistir por sí sola, sin necesidad de ayuda, o bien

sin riesgos de no tener clientela, sin embargo, la compañía sigue diversificando sus productos para poder fortalecer todas y cada una de sus divisiones. Esta empresa que lleva más de 40 años en el mercado actualmente es considerada líder a nivel mundial en su ámbito y, a su vez, en 2019 obtuvo la posición número 27 en el *ranking* de empresas del sector comercio al por mayor de productos médicos.

Con respecto a las oportunidades, hay detalles que pueden ser pulidos para que la empresa logre tener aún más sobre nombre del que ya tiene, como, por ejemplo, poder aplicar y obtener certificaciones importantes de los países en donde tiene ubicadas plantas de producción, ejemplo certificaciones como *Zero Waste*, agua neutral, huella de carbono, etc. Asimismo, una oportunidad muy importante es la mejora continua, estar constantemente verificando procedimientos, operaciones, que puedan ser mejoradas y, a su vez, estandarizadas.

Por otro lado, en cuanto a las debilidades, la empresa en temporadas carece de personal que logre soportar turnos nocturnos, que son vitales para poder cumplir con los planes de producción y las demandas, también la logística de transporte (exportaciones e importaciones) en ocasiones se vuelve bastante costosa, más aún cuando por diversas razones algún producto genera *backorders*.

Por último, analizando las amenazas, una de las principales que atenta con la mayoría de las industrias medicas son los cambios en las regulaciones, de forma que, si la empresa no logra ajustarse a estos cambios, la comercialización de sus productos no se podría dar en las regiones específicas. Asimismo, la calidad de los productos manufacturados debe ser bastante alta y, a su vez, dentro de las líneas de producción deben existir diferentes puntos de control que permitan aprobar o rechazar la calidad de este, ya que estas empresas se ven con el riesgo de recibir cualquier tipo de demanda, debido a una mala funcionabilidad de sus productos, ya que podría atentar con la vida de un ser humano.

4.5.5 Política de calidad

En la siguiente figura, se puede ver definida la política de calidad de Boston Scientific.

Figura 21. Política de calidad de Boston Scientific

Fuente: Proporcionada por Boston Scientific.

4.5.6 Clientes meta

Los clientes meta de la empresa se encuentran en un campo muy detallada, el cual se puede resumir en salud, por ende, los clientes son:

- Doctores.
- Pacientes.
- Hospitales.
- Clínicas.

4.5.7 Proveedores

Los proveedores son un factor muy delicado para las industrias médicas, por ende, estos deben pasar por pasos muy rigurosos como validaciones, auditorías, entre otras, que deben cumplir para poder abastecer las bodegas de almacenamiento de este tipo de industria. Para el caso de Boston Scientific, tienen distintos suplidores que proveen materiales como:

- Cánulas.
- Hule.
- Tubos de metal y plástico.
- Cajas.
- Etiquetas.
- Moldes.
- Electrodos.
- Alambres de nitinol, resorte, revestido, etc.
- Plásticos.

4.5.8 Competencia

Los principales competidores de Boston Scientific son industrias que manufacturan dispositivos médicos, tales como:

- Hologic.
- Theragenics.
- Abbot.
- Medtronic.
- Cardinal Health.
- St Jude Medical.

4.6 Organigrama (planta Costa Rica Heredia)

De color naranja se detallan los departamentos en los que se enfoca este proyecto.

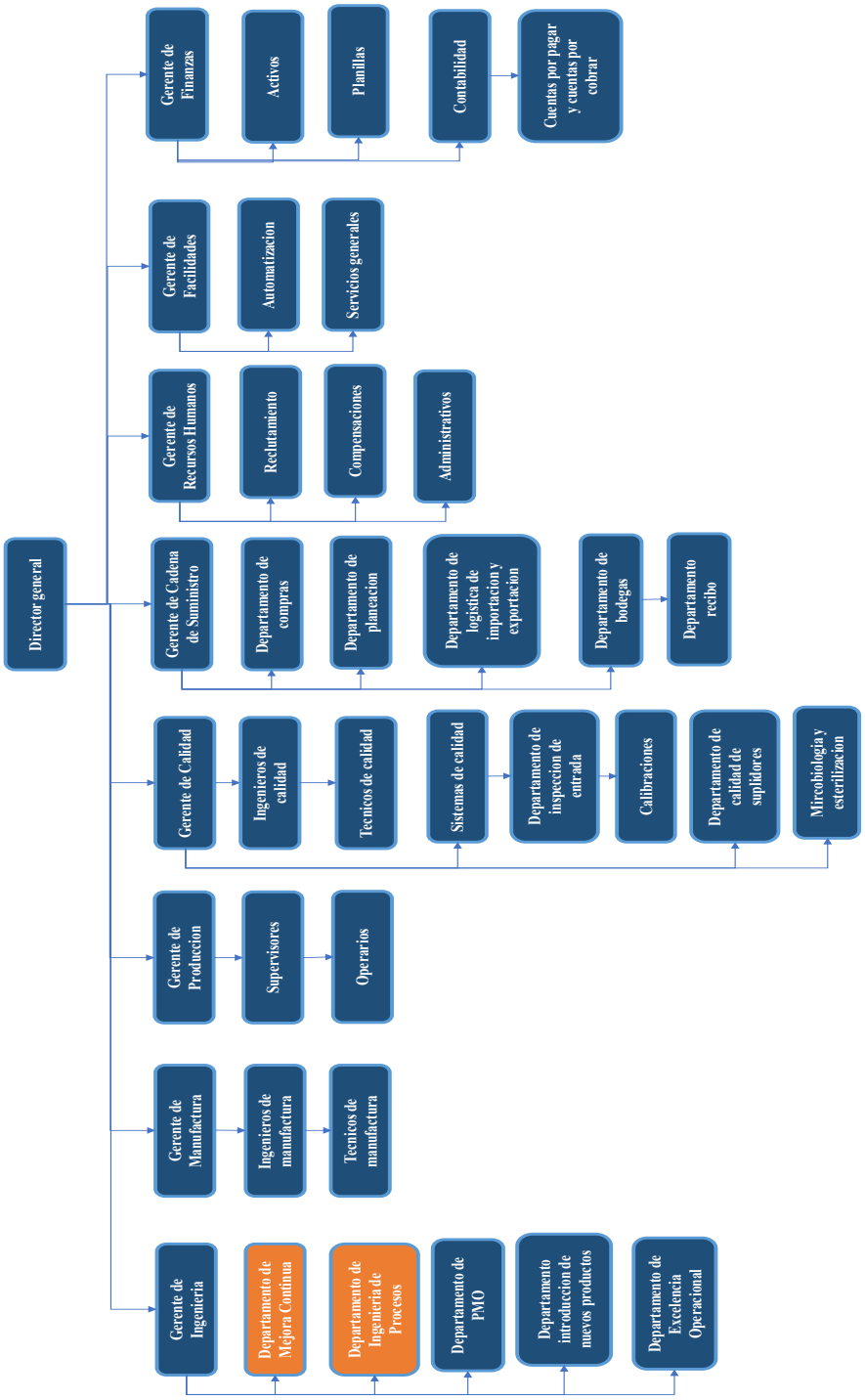


Figura 22. Organigrama

Fuente: Proporcionado por la empresa.

4.7 Procesos y descripciones

Seguidamente, se muestran detalladamente los macroprocesos de la empresa Boston Scientific.

4.7.1 Macroprocesos

Importaciones: en este punto se comienzan a colocar las diferentes órdenes de compra a los diferentes suplidores, de esta actividad específica, participan compradores y analistas de logística. Una vez que la orden de compra es recibida y confirmada por parte del suplidor, este comienza la manufactura de lo solicitado, o bien si la materia prima está disponible, la preparan y la envían a Costa Rica.

Recepción: este departamento de la empresa recibe en la planta de producción todas las facturas y los productos/ materias primas de los suplidores. Los encargados, de admitir esto, deben verificar en la factura, que la cantidad y los números de parte calcen con respecto a lo que se había solicitado, de no ser así, lo apartan y se lo hacen saber al comprador respectivo, si cumple con los requisitos, se lo envían al departamento de inspección de entrada, si requiere de alguna inspección, sino se envía directo a las bodegas.

Inspección de entrada: en este sector, los técnicos de calidad verifican los puntos de inspección con respecto a los planos de cada materia prima, cuando los componentes aprueban estas inspecciones, pasan al siguiente proceso, los que no, se consideran como componentes no conformes y son devueltos al suplidor.

Almacén: una vez que todos los componentes/materia prima sean aprobados, este departamento clasifica toda la materia prima, según sean los requerimientos de las líneas de producción, cuando estas soliciten los componentes, los delegados se encargan de llevarlos. Este departamento también se encarga de llevar un control de los componentes que estén prontos a vencer.

Cuarto limpio: en este sector es donde se realiza toda la manufactura de los dispositivos, en los cuales participan técnicos de calidad y manufactura, operarios, supervisores, ingenieros, etc. El presente proyecto se enfocará en la línea de PolarMap específicamente.

Empaque: este departamento está encargado de empacar y etiquetar el producto final de acuerdo con las especificaciones de este. Una vez empacado, proceden a colocarlo en pallets y prepararlos para ser posteriormente enviados a esterilizar.

Esterilización: este proceso es ejecutado por un tercero, mayormente es realizado por medio de radiación, la cual mata los gérmenes que puedan causar enfermedades y neutraliza otros organismos dañinos. Una vez que el producto es esterilizado, se prepara para ser enviado a los centros de distribución.

Exportaciones: este departamento se encarga de toda la logística para enviar los productos ya esterilizados a los centros de distribución, verificar si se envía vía marítima o área dependiendo de la urgencia y las especificaciones del producto.

El presente proyecto estará enfocado específicamente en el cuarto limpio en la línea de producción PolarMap.

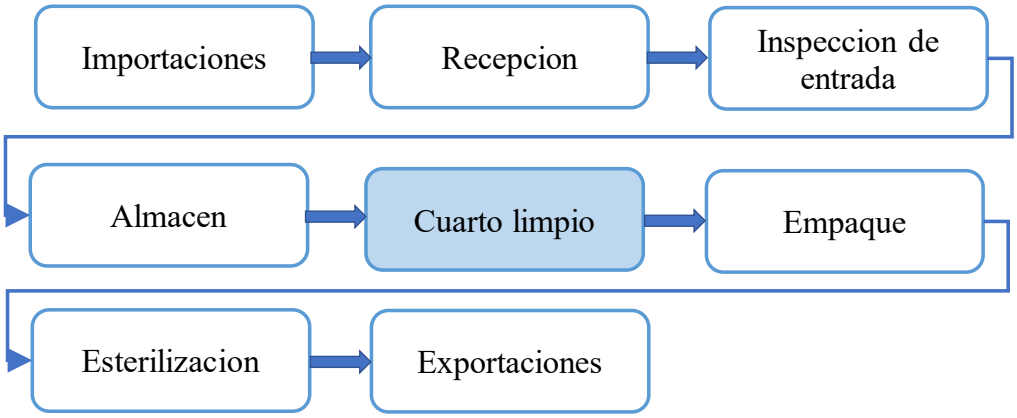


Figura 23. Macroprocesos

Fuente: Elaboración propia.

Este diagrama de bloques logra detallar el flujo del macroproceso de la empresa, el presente proyecto estará enfocado en el cuarto limpio, específicamente en la línea de producción PolarMap.

Seguidamente, se puede apreciar el macroproceso de la línea de producción PolarMap específicamente, se extenderá un poco más la explicación de cada operación en el capítulo de análisis de la situación actual.

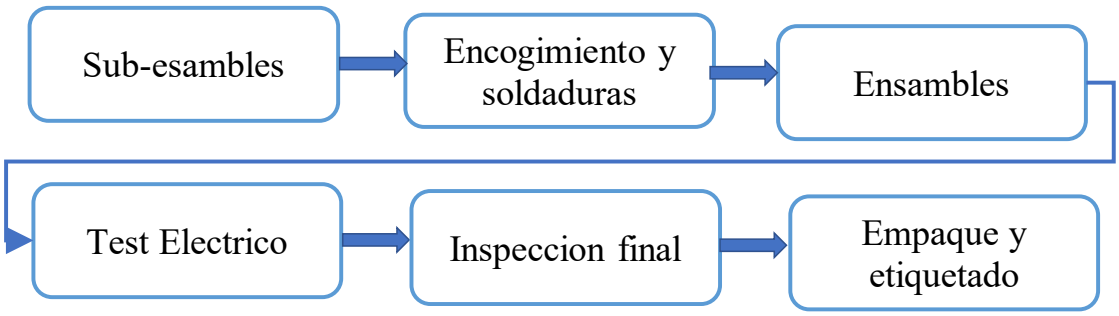


Figura 24. Macroproceso PolarMap

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

5.1 Situación actual de la línea de producción PolarMap (Boston Scientific)

Boston Scientific actualmente tiene diversas líneas de producción, en donde se manufacturan, ensamblan, empacan y distribuyen diferentes productos utilizados en una extensa gama de especialidades médicas como lo es la cardiología intervencionista, endoscopia, urología y salud pélvica, entre otros. Este proyecto final de graduación está enfocado específicamente en la línea de producción PolarMap.

En la línea de producción PolarMap, se manufactura un catéter utilizado para detectar señales eléctricas dentro del corazón, las cuales son mostradas en una consola. Actualmente, esta línea está presentando ciertos cuellos de botella y mudas las cuales están generando que el proceso productivo no sea continuo y por consecuencia, el producto no está cumpliendo con el tiempo estándar establecido por la empresa para el 2022. Debido a esto, se realizó un estudio en el cual se hizo una revisión detallada de los manuales de procedimiento, se realizó un gráfico de contenido actual y un diagrama de flujo para analizar diferentes puntos de mejora. También, se ejecutaron estudios de causa raíz con ayuda del Diagrama Ishikawa y el 5 porque, para poder identificar las causas de los problemas que están atentando contra la continuidad del proceso productivo.

Con este estudio realizado en todas y cada una de las fases de la línea de producción, se logró concluir cuáles son las etapas del proceso que tienen una oportunidad de mejora para proponer posteriormente hacer un cambio.

5.2 Proceso actual de la línea de producción PolarMap

A continuación, se describen las diferentes etapas por las cuales pasa la línea de producción PolarMap para la fabricación de su producto.

5.2.1 Subensambles

En esta etapa del proceso, se realizan 5 subensambles como se muestran en la figura 25, que serán utilizados posteriormente en el ensamble del producto final.

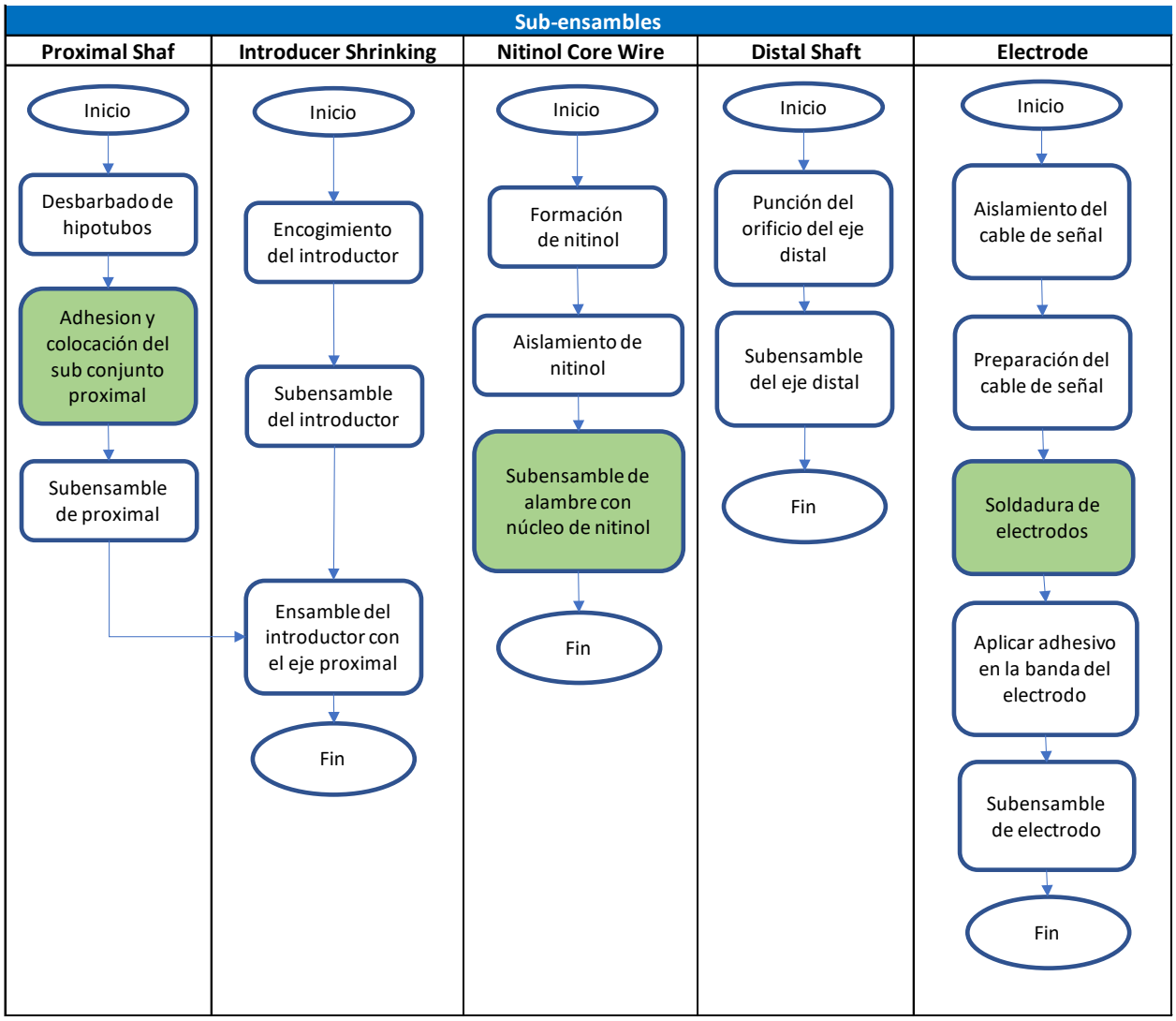


Figura 25. Diagrama de flujo subensambles

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 25, los procesos marcados en color verde son donde actualmente se están presentando cuellos de botella considerables, ya que se están realizando inspecciones de todos y cada uno de los electrodos y los alambres utilizados para crear el subensamble y, además, para que los contribuidores puedan adquirir estos materiales, deben trasladarse a otro cuarto de producción, pues están almacenados en una caja fuerte, debido a que son considerados como materiales preciosos, esta caja fuerte está ubicada en otro cuarto limpio, ya que también es utilizada para almacenar diferentes materiales de otras líneas de producción.

5.2.2 Ensamble de producto

En la siguiente figura se puede apreciar los procesos que se llevan a cabo para el ensamble del producto.

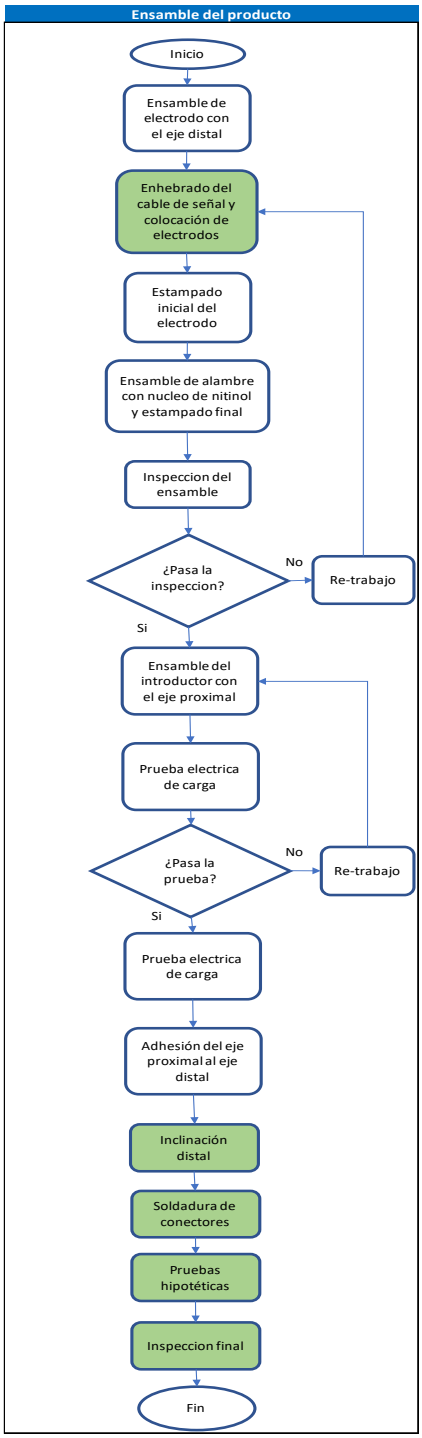


Figura 26. Diagrama de flujo ensamble del producto

Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de flujo del ensamble del producto, de igual manera, se puede apreciar en color verde las operaciones que más cuellos de botella tienen presentes, debido a carencia de herramientas para cortes de cable, falta de “fixtures” en las operaciones para realizar inspecciones de varias unidades al mismo tiempo, inspecciones de materiales uno a uno, duplicidad en los procesos, de acuerdo con los manuales de procedimientos, etc.

5.2.3 Empaque y etiquetado

En esta etapa del proceso, el ensamble de PolarMap pasa por su respectivo etiquetado y embalaje en las cajas que son apiladas en pallets, en una configuración determinada, de acuerdo con las especificaciones de diseño, este embalaje fue previamente validado, a través de una prueba de distribución.

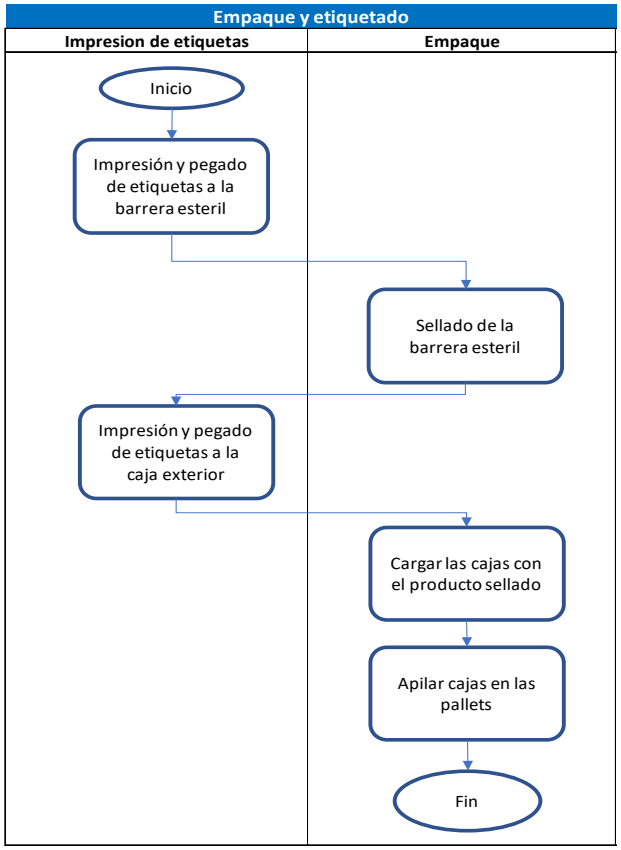


Figura 27. Diagrama de flujo empaque y etiquetado

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Definir

Esta es una de las fases más importantes de la metodología DMAIC que sea aplicada a cualquier proyecto lean *six sigma*, ya que en esta etapa se da a conocer cuál es la situación actual y detalla los objetivos que se quieren conseguir. Es decir, se define el propósito y el alcance del proyecto y se recopila información sobre el proceso y sus diferentes etapas. Seguidamente, se logra asignar un equipo multidisciplinario para poder examinar los diferentes procesos con detalle para posteriormente, lograr identificar oportunidades de mejora y dar recomendaciones que logren erradicar los problemas.

Al lograr conocer los procesos de la línea de producción PolarMap, se logran identificar mudas a simple vista que están atentando contra el tiempo efectivo de las estaciones, dentro de ellas se pueden denotar los desplazamientos, movimientos innecesarios, esperas, inspecciones, cuellos de botella, etc. Todo esto está generando el problema principal de este proyecto final de graduación, los tiempos estándares del producto establecidos por la empresa no están llegando a su meta para el 2022.

El objetivo principal de este proyecto es poder ajustar el tiempo estándar del producto de acuerdo con lo determinado por la empresa.

5.3.1 Gráfico de contenido de trabajo (work content graph)

Se logró identificar, con la herramienta *work contect graph,* las diferentes etapas del proceso que duran más tiempo en ejecutarse actualmente, como se puede apreciar en la siguiente figura.

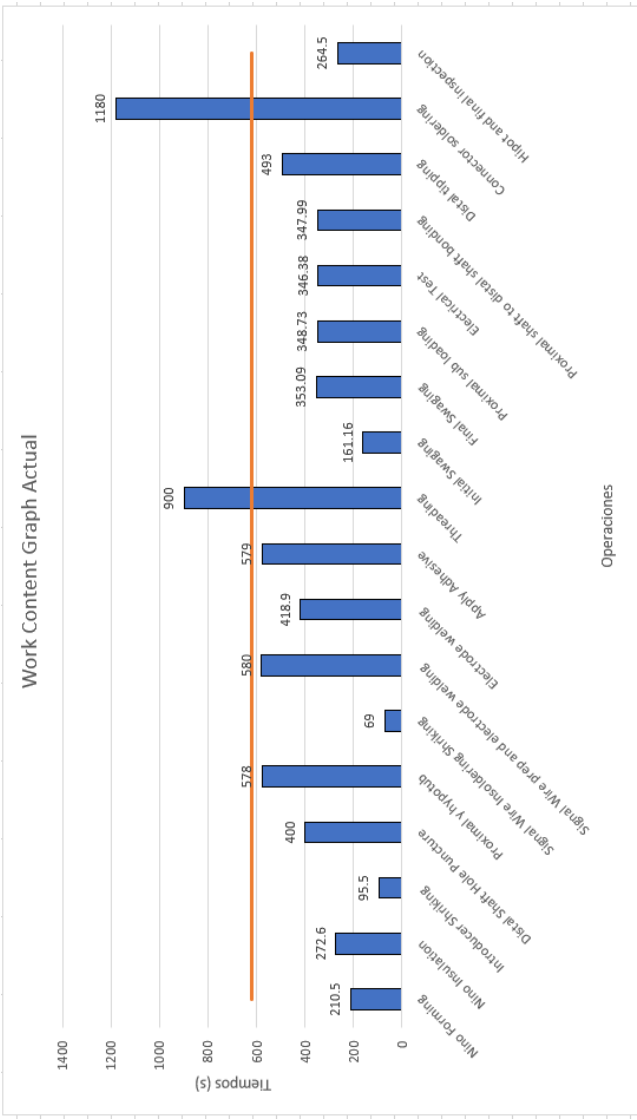


Figura 28. Work content graph

Fuente: Elaboración propia.

Algunos de estos procesos superan la meta esperada para el 2022, la cual se puede ver especificada a través de la línea naranja. Estos tiempos deben calzar para poder cumplir con lo presupuestado por la empresa.

5.3.2 Diagrama de Ishikawa

En un alto porcentaje de las empresas que existentes alrededor del mundo, la presencia de problemas es casi inevitable, lo que se diferencia entre las compañías es la manera en la que se abordan estos. Es por ello por lo que, el diagrama de Ishikawa es de suma importancia para este proyecto, ya que nos permite investigar cuáles son las causas que han originado las determinadas dificultades.

En muchas ocasiones, la determinación de las causas de estos problemas es muy evidente u obvia, sin embargo, en otros casos, es todo lo contrario; por ende, se opta por utilizar este tipo de herramientas para facilitar las investigaciones.

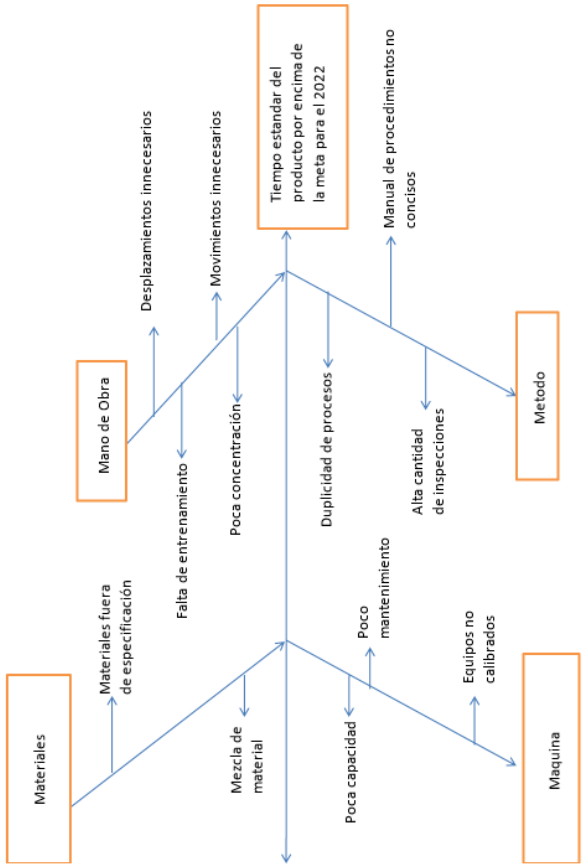


Figura 29. Diagrama de Ishikawa PolarMap

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 29, se realizó un diagrama de causa-efecto para poder identificar las causas del problema definido como tiempos estándares por encima de la meta para el 2022, este diagrama fue realizado por 3 analistas y el ingeniero *senior* del departamento de ingeniería. De acuerdo con este diagrama, se logra determinar que las principales causas están clasificadas en 4 grupos: mano de obra (operarios), materiales, maquinaria y el método utilizado.

- Mano de obra (operarios): los principales problemas presentados en este grupo se enfocan mayormente en el alto desplazamiento que realizan los contribuidores por diferentes razones, como, por ejemplo, ir a recolectar materia prima ubicada lejos de sus estaciones o inclusive levantarse y buscar a un técnico de calidad o manufactura para revisar posibles *scraps* en las inspecciones finales. Por otro lado, una de las causas que está presente en las operaciones es la carencia de entrenamiento por parte de los operarios y debido a esto se ejercen movimientos innecesarios dentro del proceso productivo.
- Materiales: en este grupo, uno de los principales problemas presentados es que no hay un estándar en cuanto a la especificación del material, en algunos casos, los materiales cumplen con las especificaciones y en otros no, por ende, estos deben ser retrabajados como parte del proceso productivo; en la mayoría de los casos, estos materiales son considerados como *of the shelf*.
- Maquinaria: actualmente, existen diferentes equipos utilizados para inspecciones eléctricas que en su mayoría no son calibrados, por ende, el equipo de calibración debe hacer visitas constantes a las estaciones en donde se encuentran estos; por otro lado, estos mismos equipos no tienen la capacidad de hacer varias mediciones eléctricas al mismo tiempo; por ende, tienen que hacer este proceso uno a uno, lo cual aumenta mucho los tiempos de las estaciones.
- Método: este es uno de los grupos en donde existen mayores causas a los problemas presentados, debido a que los manuales de procedimiento no son concisos, dejan las directrices muy abiertas y subjetivas, por ende, muchas veces los contribuidores tienen duda de cómo proceder cuando se presenta un problema en operaciones específicas, por otro lado, se solicita un exceso considerable de inspecciones, las

cuales son ejecutadas en diferentes estaciones que fácilmente pueden reducirse sin atentar los controles de calidad.

5.3.3 Herramienta 5 porqués

Esta herramienta está basada principalmente en realizar preguntas para averiguar a fondo las principales razones de las dificultades dadas en los procesos productivos, se consulta un "¿por qué?" al problema y a la respuesta se le realiza la misma pregunta y así sucesivamente hasta completar 5 fases, esta técnica permitirá encontrar posibles causas raíz de los problemas.

Esta técnica se aplicó en el presente proyecto para poder determinar las posibles causas que están generando un alza en los tiempos estándar de cada una de las estaciones de la línea de producción PolarMap. Este fue realizado por 3 analistas y el ingeniero *senior* del departamento de ingeniería, en la siguiente figura se determinan las posibles soluciones a estos obstáculos.

Causas	1- Porque?	2- Porque?	3- Porque?	4- Porque?	5- Porque?	Solucion Propuesta
Desplazamientos innecesarios de los operarios	Trasladarse donde esta ubicada la caja fuerte con la materia prima	La caja fuerte esta ubicada en otro cuarto de produccion	Otras lineas de produccion ubicadas en ese cuarto limpio guardan mas materiales en la misma caja fuerte	Los materiales son considerados como "Materiales preciosos"	Por su alto valor	Colocar una nueva caja fuerte en la linea de produccion PolarMap
Poca capacidad de los equipos	Realizan sus funciones uno por uno	Por falta de personal y equipos	Por un mal metodo	Por falta de proyectos de mejora continua	Por falta de tiempo	Hacer fixtures que permitan incrementar la capacidad de los equipos sin incrementar los operarios
Manuales de procedimientos no concisos	Repetitividad de operaciones	Deja a criterio personal ciertos puntos de los procesos	Falta de especificacion a la hora de redactar el procedimiento	Procedimientos creados por personas poco capacitadas	Falta de tiempo para actualizar los procedimientos	Eliminacion de operaciones y especificar los manuales de procedimientos

Figura 30. Herramienta 5 porqués

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior, se lograron identificar las causas a los principales problemas que están generando un alza en los tiempos de las diferentes estaciones, las

principales causas se están enfocando en los desplazamientos innecesarios de los operarios, poca capacidad de los equipos y manuales de procedimientos no concisos.

5.3.4 Resumen etapa definir

Se puede concluir en la etapa definir que las principales causas raíz a los problemas principales se basan en los altos desplazamientos que realizan los contribuidores, los métodos no estandarizados que se detallan en los manuales de procedimientos y la poca capacidad que tienen los equipos para poder realizar sus funciones de una manera más rápida. Por ende, esto logra encajar en la mano de obra, el método y los equipos respectivamente.

5.4 Medir

En esta etapa, se logran realizar diferentes mediciones que permiten identificar la situación actual de la línea de producción, se logra identificar las diferentes distancias y recorridos que están haciendo actualmente los operarios para poder obtener materia prima y, a su vez, para comunicarles a los técnicos algún problema presentado en la estación. De igual manera, se logran medir los tiempos que tienen cada una de las estaciones, en donde se está presentando los mayores cuellos de botella, para, posteriormente, hacer una comparativa y, por último, se logran identificar la cantidad de unidades producidas antes de las propuestas de mejora para lograr determinar el impacto de estas.

5.4.1 Recorrido caja fuerte

El primer desplazamiento considerable comienza desde la estación de soldadura de electrodos, el contribuidor en esta estación se levante y recorre todo el pasillo en el cual se encuentra la línea de producción PolarMap, hasta pasar a un cuarto de producción diferente; después de ello, este se dirige a una de las esquinas del cuarto limpio, que es donde está ubicada la caja fuerte, que contiene la materia prima necesaria para ejecutar sus operaciones. Esta caja

fuerte está ubicada en este cuarto de producción, ya que se utiliza en otras líneas ubicadas en esta zona.

En la siguiente figura se puede apreciar el recorrido a través de las líneas rojas.

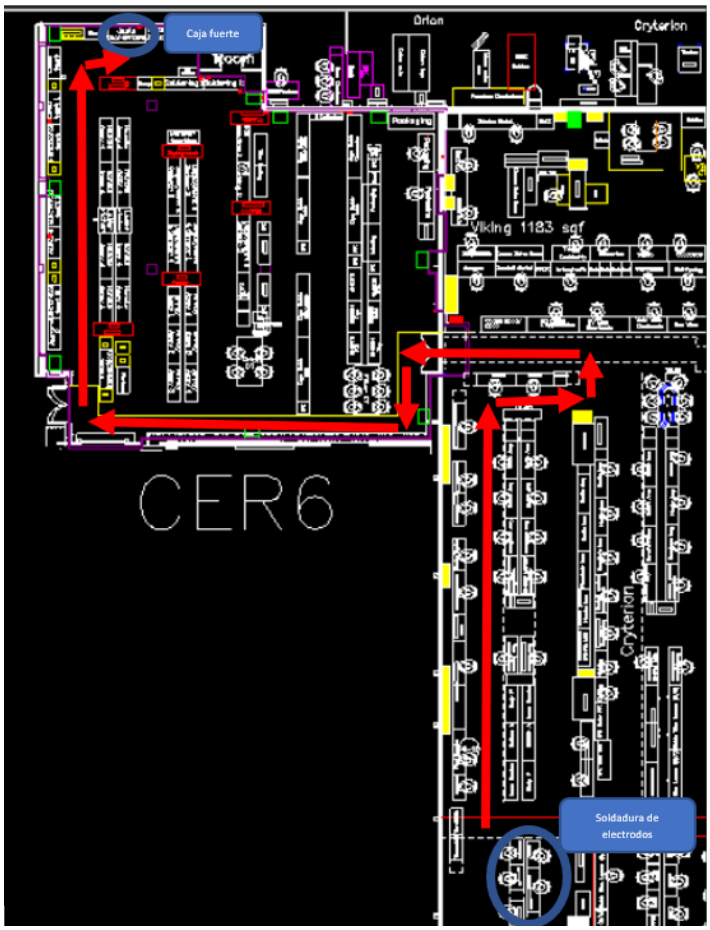


Figura 31. Desplazamiento a caja fuerte

Fuente: Proporcionada por Boston Scientific.

Como se puede observar en la figura 31, los operarios actualmente hacen un desplazamiento bastante grande, el cual se traduce en 78,98 metros solo en la ida, lo cual lo repiten

al menos de 2 a 3 veces por día para poder ir a recoger sus materias primas requeridas en la estación especifica.

5.4.2 Recorrido a estación de técnicos

El segundo recorrido comienza desde la estación de las inspecciones finales de la línea de producción PolarMap. Este recorrido sucede una vez que el contribuidor detecta un posible *scrap* que no logra determinar si es aceptable o no debido a la subjetividad del manual de procedimientos, por tanto, este se levanta de su estación y se dirige a la de los técnicos de calidad o manufactura para solicitar ayuda y que ellos vayan a la estación de la inspección final para poder determinar si el producto es aceptable o requiere retrabajos. En la siguiente figura se puede apreciar el recorrido a través de las líneas rojas.

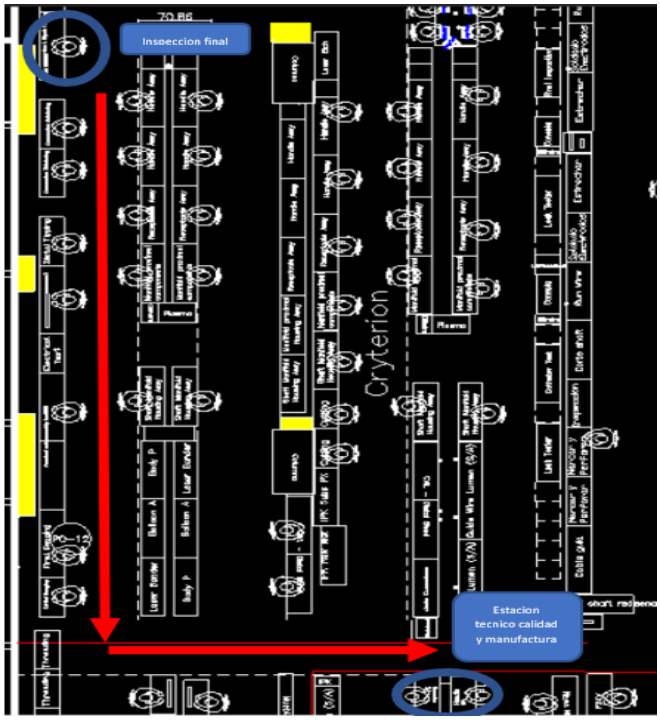


Figura 32. Recorrido a estación de técnicos

Fuente: Proporcionada por Boston Scientific.

Como se puede observar en la figura 32, el desplazamiento que realizan los operarios es bastante considerable, solo por el hecho de necesitar comunicarles una situación a los técnicos de calidad o manufactura. Este desplazamiento es de 31,31 metros de distancia solo en la ida, que se realizan al menos de 3 a 4 veces al día.

5.4.3 Tiempos y cantidad de unidades producidas

Como parte de la etapa de medir, se utilizó un historial de toma de tiempos que tiene la empresa para cada una de las estaciones de la línea de producción. Estos tiempos están basados en un ritmo de producción normal, sin presión y realizando las operaciones sin ninguna variante.

Actualmente, la compañía realiza una actualización de tiempos cada 6 meses, con el fin de poder determinar si hay algún incremento, o bien alguna mejora dentro del proceso productivo, sin embargo, cuando hay nuevos operarios en las diferentes áreas, la toma de tiempos se realiza cada 3 meses en el área específica para poder identificar si la curva de aprendizaje del contribuidor es óptima o bien requiere de más entrenamiento para poder realizar sus labores diarias. Los tiempos que se demuestran en la figura 33 son los más actualizados que tiene la empresa de todas las estaciones con los operarios experimentados, donde sus curvas de aprendizaje ya son consideradas como competentes.

En la línea de producción, existen 3 áreas específicas en donde las mudas y los cuellos de botella son considerables y el tiempo no es 100 % efectivo, estas zonas son *conector soldering*, *threading* y *final inspection*. Como se puede observar en la figura 33, las estaciones que actualmente están durando más tiempo son las de conectar *soldering* y *threading*; si bien es cierto, *final inspection* no tienen los tiempos más altos, pero es una estación en la que los desplazamientos y las mudas son bastante altos.

Operacion	Tiempo (seg)
Nino Forming	210.5
Nino Insulation	272.6
Introducer Shriking	95.5
Distal Shaft Hole Puncture	400
Proximal y hypotub	578
Signal Wire Insoldering Shriking	69
Signal Wire prep and electrode welding	580
Electrode welding	418.9
Apply Adhesive	579
Threading	900
Initial Swaging	161.16
Final Swaging	353.09
Proximal sub loading	348.73
Electrical Test	346.38
Proximal shaft to distal shaft bonding	347.99
Distal tipping	493
Connector soldering	1180
Hipot and final inspection	264.5

Figura 33. Toma de tiempos

Fuente: Proporcionado por la empresa.

De igual manera, se utilizó un historial de la empresa, en la que se detalla la cantidad de unidades que logra procesar cada una de las estaciones de la línea de producción PolarMap por hora. Estas cantidades están completamente relacionadas con los tiempos de la figura 32.

En la siguiente figura, se detalla esta información específicamente para las 3 estaciones que fueron identificadas por la empresa como las que actualmente tienen mayor cantidad de mudas, cuellos de botella y tiempos más altos.

Estacion	Tiempo (seg)	Unidades
Conector Soldering	1180	3
Threading	900	4
Final inspection	264.5	13.3

Figura 34. Cantidad de unidades producidas

Fuente: Proporcionado por la empresa.

5.5 Analizar

Con ayuda de las herramientas establecidas en las fases anteriores de esta metodología, se logran identificar 3 grupos importantes en los que se deben enfocar para poder proponer mejoras que solventen las dificultades presentadas en el proceso de producción de la línea PolarMap.

Estos 3 grupos fueron básicamente un filtro de herramientas como el diagrama de Ishikawa que permitió identificar las diferentes causas que estaban presentando los problemas de la línea de producción, la herramienta de los 5 porqués, que permitió hacer un filtro más detallado de los resultados del diagrama de Ishikawa, la medición de los recorridos de los operarios que permitió calcular la cantidad de metros que estaban realizando en diferentes zonas y los tiempos con su respectiva cantidad de unidades producidas para poder establecer cuantitativamente la duración de las operaciones, con respecto a la cantidad de unidades procesadas por estación.

- Método no estandarizado: actualmente, muchos manuales de procedimientos no tienen una secuencia lógica establecida, por ello, muchas veces algunas operaciones quedan a criterio de cada operario, lo cual genera siempre cambios en el método utilizado.

  Por otro lado, existe una cantidad considerable de inspecciones durante el proceso productivo, que únicamente está generando un aumento en el tiempo de esas operaciones, pues la inspección no está generando ningún valor agregado al dispositivo, inclusive, se detectó que, en algunas estaciones, se realiza una

inspección en la cual nunca han salido fallos y aun así en la inspección final del producto, se realiza la misma revisión.

Por último, se están detectando mucha duplicidad en los procesos, ya que, por ejemplo, una prueba eléctrica se hace más de 4 veces durante el proceso, la cual fácilmente puede ser realizada en la inspección final sin necesidad de tener que hacer ningún retrabajo si algún fallo fuese detectado.

- Alta cantidad de desplazamientos: existen estaciones en las cuales los desplazamientos son excesivos, la cantidad de metros de estos sumados dan más de 220 metros, lo cual lo repiten más de 1 vez al día. Esto está generando un cuello de botella importante en la línea de producción, debido a que están acumulando subensambles de las estaciones anteriores. Sin duda alguna, esta es una de las mudas más importantes que se deberían de eliminar.
- Poca capacidad de los equipos: actualmente, hay equipos como multímetros que realizan diferentes pruebas para poder determinar la conductividad de los electrodos con los conectores del dispositivo, estas pruebas las hacen de cada *wire* con cada conector antes de soldar, es decir, lo hacen uno por uno, lo cual muchas veces, al ser tantos *wires*, se le dificulta al operario poder acomodarlos y lograr identificar cual es cual; por tanto, existe una necesidad de solventar que un mismo equipo logre hacer pruebas a todos los *wires* al mismo tiempo con ayuda de algún fixture.

5.5.1 Resumen etapa analizar

Se utilizaron distintas herramientas, con el fin de poder determinar las diferentes causas que están generando los problemas dentro de la línea de producción, con ayuda de estas identificaciones y siguiendo los requerimientos establecidos por la empresa, es notable que la necesidad de proponer mejoras para reducir las mudas del proceso productivo, cuellos de botella y maximizar la eficiencia de los recursos humanos, para optimizar el flujo de la línea de producción PolarMap es completamente indispensable.

El presente proyecto final de graduación se enfocará en proponer diferentes soluciones a los siguientes problemas que actualmente están generando más dificultades dentro del proceso productivo de la línea de producción PolarMap.

Problema	Propuesta
1- Alta cantidad de desplazamientos	· Implementación de una nueva caja fuerte · Implementación de radios
2- Poca capacidad de los equipos	· Implementación de un fixture
3- Método no estandarizado	· Actualización de manuales de procedimiento

Figura 35. Resumen de problemas

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: DISEÑO DE LA PROPUESTA

6.1 Mejora

Este proyecto final de graduación, como se muestra a través del documento, utilizó la metodología DMAIC para realizar su respectiva investigación e identificar diferentes propuestas de mejora en los procesos productivos de la línea de producción PolarMap. Con ayuda de las herramientas implementadas en las fases anteriores de esta metodología, se logra concluir que las propuestas deben basarse en 3 estrategias específicas dentro de las estaciones identificadas como las que poseen más cantidad de mudas, cuellos de botella y en donde sus tiempos son los más altos.

La actualización de los manuales de procedimientos, eliminación de desplazamientos, propuestas de nuevos fixtures y eliminación de operaciones innecesarias son propuestas de mejora para poder erradicar las principales causas a las dificultades presentadas en la línea de producción PolarMap.

6.1.1 Propuesta de eliminación de operaciones innecesarias

En esta propuesta en específico, se realizaron varias reuniones en conjunto con los supervisores de la línea de producción y algunos operarios con más experiencia y se determinó que actualmente hay muchos manuales de procedimiento que no están siendo completamente concisos y, por consiguiente, están solicitando operaciones innecesarias dentro del proceso productivo. Todos estos pasos no están generando ningún valor agregado y, por el contrario, está aumentando el tiempo de cada una de las estaciones afectadas.

- **Propuesta de eliminación de operaciones innecesarias en el procedimiento de enhebrado (*Threading*) del *signal wire*:** esta propuesta surge, ya que durante todo el proceso productivo de la línea PolarMap suceden varios testeos de continuidad, con el fin de determinar que realmente exista continuidad entre el electrodo y el extremo proximal del *signal wire*, este proceso se tiene que realizar a todos los electrodos, sin embargo, se tiene un historial de que en esta estación en específico nunca se ha detectado ningún fallo en el testeo.

Por otro lado, en el mismo manual de procedimientos, hay una operación que los contribuidores ejecutan para acomodar los anillos utilizados en esta fase, sin embargo, cuando estos realizan el acomodo, la unidad continua por diferentes procesos en la misma estación, lo cual genera que estos anillos se desacomoden. Asimismo, en la estación siguiente, el primer paso que solicita el manual de procedimiento es acomodar nuevamente estos anillos de acuerdo con las especificaciones.

Como se puede apreciar en el siguiente diagrama analítico, las operaciones marcadas en color naranja son las que están dentro del objetivo de las propuestas de mejora que potencialmente puedan ser removidas, debido a que actualmente no están generando ningún valor agregado dentro del proceso productivo y sin estas no se estaría alterando el orden ni la calidad del producto.

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Enhebrado del signal wire
Metodo: Actual

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Insertar el mandril de fishing en orificio	62.87	-						
Conducir el mandril de fishing a traves del distal shaft	60.7	-						
Enhebrar subensamble de electrodo	83.3	-						
Tirar del mandril de fishing hasta que el loop alcance el orificio	20.1	-						
Tirar del signal wire a traves del orificio y extraerlo por el extremo proximal del distal shaft	61.61	-						
Inspeccionar que los bordes no se encuentran levantados	15.21	-						
Colocar el electrodo en el distal shaft	15.1	-						
Inspeccionar que los anillos esten rectos y posicionados sobre el agujero	70.05	-						
Retirar los materiales suelto del wire	10.16	-						
Trasladar el signal wire a la mesa de electrodos	22.3	2.3						
Colocar los electrodos con las marcas de soldadura hacia arriba	16.1	-						
Pegar el distal shaft a la mesa	30.48	-						
Cortar el distal shaft segun especificaciones	177.55	-						
Inspeccionar bajo el microscopio y asegurarse de que se cumplan con los criterios	10.1	-						
Setear el multimetro en parametro de continuidad	49.42	-						
Medir la resistencia entre el electrodo y el extremo proximal del signal wire	143.05	-						
Inspeccionar que el multimetro emita un sonido y muestre la lectura	51.91	-						
	900							

Figura 36. Diagrama analítico Threading

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de esta propuesta, se pretende solicitar una actualización de los manuales de procedimientos para que todos los operarios entrenados en estos documentos puedan tener claro el nuevo proceso que deben seguir.

En las siguientes figuras, se puede observar los *redline* sugeridos dentro de los manuales de procedimientos para poder ejecutar las propuestas indicadas.

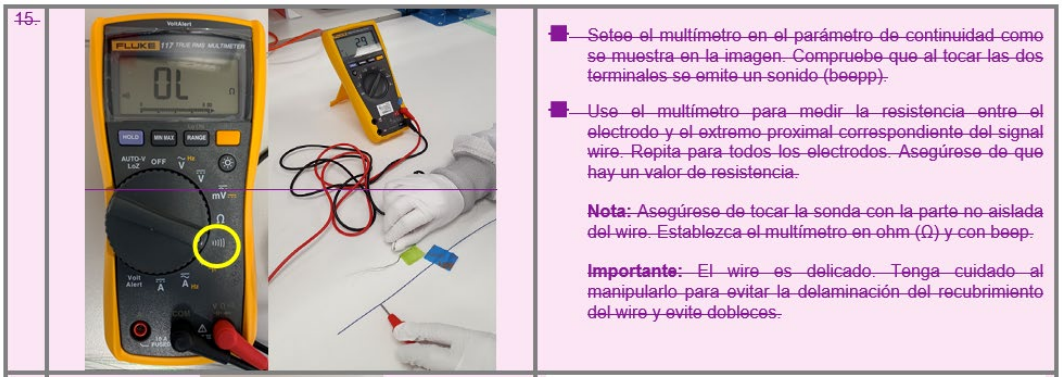


Figura 37. Propuesta de eliminar testeo

Fuente: Elaboración propia.

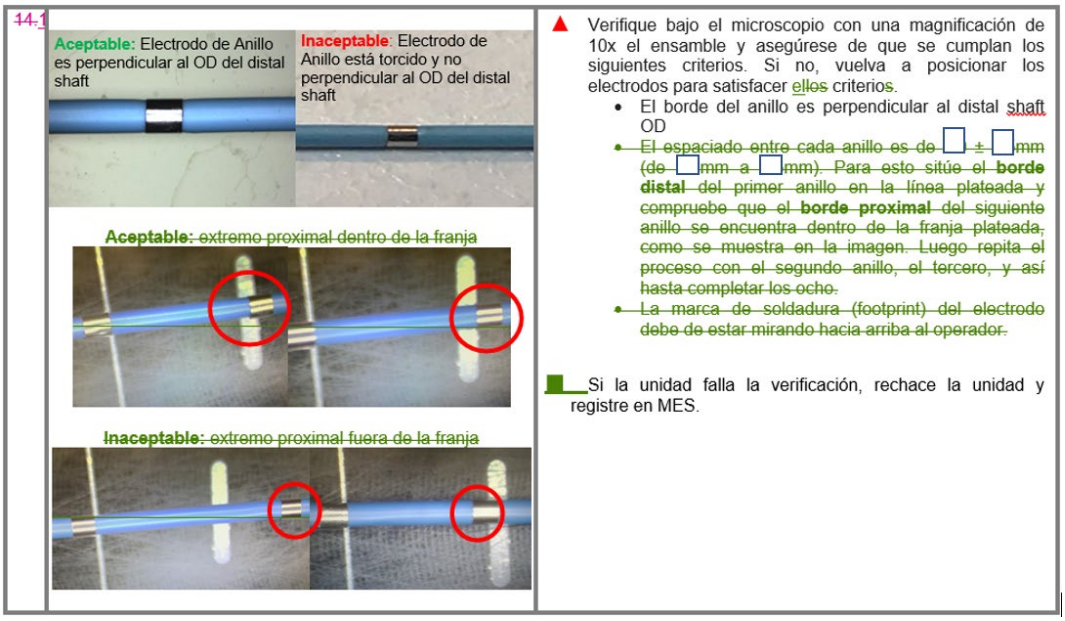


Figura 38. Propuesta de eliminar acomodo de anillos

Fuente: Elaboración propia.

Logrando implementar estas propuestas en la estación de *Threading*, se estaría realizando una mejora específicamente de 314,42 segundos y el diagrama analítico propuesto se vería de la siguiente forma.

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Enhebrado del signal wire
Metodo: Propuesto

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Insertar el mandril de fishing en orificio	62.87	-						
Conducir el mandril de fishing a traves del distal shaft	60.7	-						
Enhebrar subensamble de electrodo	83.3	-						
Tirar del mandril de fishing hasta que el loop alcance el orificio	20.1	-						
Tirar del signal wire a traves del orificio y extraerlo por el extremo proximal del distal shaft	61.61	-						
Inspeccionar que los bordes no se encuentran levantados	15.21	-						
Colocar el electrodo en el distal shaft	15.1	-						
Retirar los materiales suelto del wire	10.16	-						
Trasladar el signal wire a la mesa de electrodos	22.3	2.3						
Colocar los electrodos con las marcas de soldadura hacia arriba	16.1	-						
Pegar el distal shaft a la mesa	30.48	-						
Cortar el distal shaft segun especificaciones	177.55	-						
Inspeccionar bajo el microscopio y asegurarse de que se cumplan con los criterios	10.1	-						
	585.58							

Figura 39. Diagrama analítico Threading propuesto

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Propuesta de eliminación de desplazamientos e implementación de fixture

Como parte de esta propuesta, se conversó con diferentes contribuidores de la línea de producción para escuchar sus posibles ideas, también se utilizaron las herramientas implementadas en las fases anteriores y se evaluaron todas estas ideas para poder presentar las siguientes sugerencias. De igual manera, se realizó un *benchmarking* con otras líneas del mismo cuarto de producción y se logró identificar un fixture utilizado que logra adaptarse a las necesidades presentadas en PolarMap.

- **Propuesta de una nueva caja fuerte en *conector soldering*:** Esta propuesta es específicamente para el problema detectado en la estación de conector *soldering,* en donde actualmente el operario se tiene que levantar de su estación y dirigirse a otro cuarto de producción para poder obtener la materia prima, la cual está almacenada en una caja fuerte que está ubicada en este sector, debido a que hay más líneas localizadas en esta misma área que almacenan diferentes materiales en ella.

  Como se puede ver en la siguiente figura, la caja fuerte actual es muy grande, ya que, como se mencionó anteriormente, almacena diferentes materiales de diversas líneas de producción.

Figura 40. Caja fuerte actual

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el siguiente diagrama analítico, las operaciones marcadas en color naranja son las que están dentro del objetivo de las propuestas de mejora.

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Conector Soldering
Metodo: Actual

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Configurar el equipo de soldadura	30.5	-						
Trasladarse a recoger los electrodos	384.2	157.96						
Inspeccionar que los electrodos no tengan grietas	12.16	-						
Colocar el ring electrodo en el electrodo de soldadura	15.21	-						
Insertar el conector sobre el extremo proximal	16.32	-						
Rellenar los pines con soldadura	31.25	-						
Utilizar el multimetro para identificar cada electrodo	436.05	-						
Soldar los signal wire a los pines de soldadura	46.66	-						
Utilizar la espatula para colocar el epoxy alrededor de los pines del conector	6.88	-						
Esperar que el epoxy cure	120.2	-						
Envolver los signal wires alrededor de la herramienta de envoltura	10.2	-						
Conectar la conexion de pines en el cuellos del conector	25.5	-						
Colocar el cobertor	10.2	-						
Aplicar 3 gotas de Loctite en los hilos	9.63	-						
Curar con luz UV cada aplicacion de gotas	15	-						
Inspeccionar que el Loctite este	10.1	-						
	1180							

Figura 41. Diagrama analítico conector soldering

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de esta propuesta, se pretende implementar una nueva caja fuerte que se adapte a las necesidades de la estación en específico, ya que los materiales que la línea de producción

PolarMap almacena en esta caja fuerte son relativamente pequeños, por ende, la propuesta sería implementar una caja mucho más pequeña.

Una de las consideraciones más importantes es donde colocar esta nueva propuesta, por lo tanto, se realizó un *gemba walk* con varios operarios y los ingenieros industriales responsables del espacio físico de las líneas de producción para poder identificar posibles lugares en los que ubicar la nueva caja fuerte que no amedrenten contra la ergonomía de ningún contribuidor, se realizaron varias propuestas y se presentaron al *coreteam* de la línea y se llegó a una localización óptima, la cual sería justo en la estación donde realizan las operaciones de soldadura de electrodos, debajo de la mesa de tal manera que no atente contra la ergonomía del operario. Se propuso un estante que actualmente utiliza una estación en otra línea de producción para poder colocar la caja fuerte en esta, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 42. Propuesta de ubicación para nueva caja fuerte

Fuente: Elaboración propia.

- **Propuesta de fixture en *connector soldering*:** esta propuesta específicamente va dirigida a la poca capacidad que tiene actualmente el equipo utilizado en esta estación, ya que actualmente utilizan un multímetro para poder realizar las mediciones de continuidad y poder identificar el *wire* del anillo que debe ir soldado a cada pin del conector del producto y en total son 8 anillos que deben soldarse.

  El proceso actual que los operarios realizan de acuerdo con el manual de procedimientos es identificar con uno de los polos del multímetro cual anillo genera continuidad con el pin respectivo, lo cual deben ir uno por uno, en el momento que el multímetro indique que si hay continuidad deben soltar los anillos restantes para poder utilizar sus manos, con la finalidad de soldar el anillo con el pin del conector que les generó la continuidad y así sucesivamente con todos y cada uno de los restantes. El diagrama analítico de este proceso de igual manera se puede observar en la figura 41.

  La propuesta en este caso sería implementar un *fixture* identificado en otra línea de producción que logra adaptarse a estas necesidades, ya que este logra realizar contacto con todos los anillos al mismo tiempo, por ende, esto simplifica la operación, pues únicamente el operario debe soldar el anillo con los pines del conector de acuerdo a la respuesta del multímetro, además de simplificar el proceso, se realiza de una forma más ordenada, ya que todos los anillos con sus *wires* están ubicados en el *fixture*.

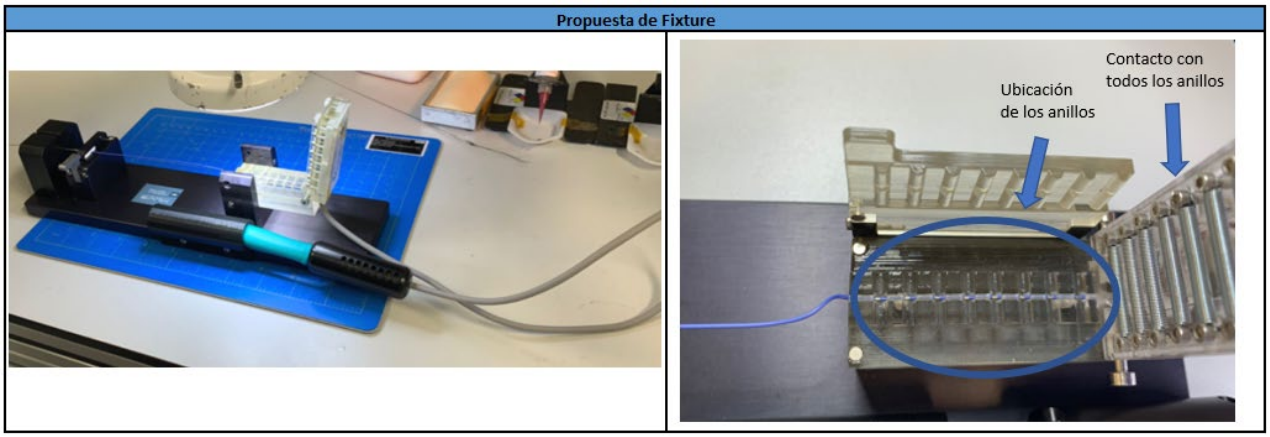


Figura 43. Propuesta de Fixture

Fuente: Elaboración propia.

Logrando implementar estas mejoras, se estaría eliminando y optimizando muchas etapas dentro del proceso productivo de PolarMap. Específicamente adaptando un estante muy similar al de la figura 42 con una caja fuerte nueva, se estaría asegurando que el operario se ahorre un desplazamiento de 157,96 metros cada vez que este requiera de la materia prima almacenada en la caja fuerte, que se traduce en 384,2 segundos específicamente, además, como se mencionaba en secciones anteriores de este trabajo final de graduación, los contribuidores realizan este recorrido de 2 a 3 veces por día.

Con respecto a la otra propuesta relacionada con el *fixture*, se estaría realizando una mejora, en cuanto al orden en el que los operarios realizan esta operación y, asimismo, se lograría reducir un tiempo específico de 185,9 segundos por unidad.

El diagrama analítico propuesto se vería de la siguiente manera:

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Conector Soldering
Metodo: Actual

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Configurar el equipo de soldadura	30.5	-						
Inspeccionar que los electrodos no tengan grietas	12.16	-						
Colocar el ring electrodo en el electrodo de soldadura	15.21	-						
Insertar el conector sobre el extremo proximal	16.32	-						
Rellenar los pines con soldadura	31.25	-						
Utilizar el multimetro para identificar cada electrodo	250.15	-						
Soldar los signal wire a los pines de soldadura	46.66	-						
Utilizar la espatula para colocar el epoxy alrededor de los pines del conector	6.88	-						
Esperar que el epoxy cure	120.2	-						
Envolver los signal wires alrededor de la herramienta de envoltura	10.2	-						
Conectar la conexion de pines en el cuellos del conector	25.5	-						
Colocar el cobertor	10.2	-						
Aplicar 3 gotas de Loctite en los hilos	9.63	-						
Curar con luz UV cada aplicacion de gotas	15	-						
Inspeccionar que el Loctite este	10.1	-						
	609.96							

Figura 44. Diagrama analítico propuesto

Fuente: Elaboración propia.

- **Propuesta de implementar radios en *final inspection*:** Esta propuesta es específicamente para la dificultad detectada en la estación de inspección final, en donde actualmente los contribuidores de estas estaciones se tienen que levantar de sus puestos de trabajo y dirigirse hasta donde están ubicados los técnicos de calidad y manufactura para poder indicarles que hay algún dispositivo que no está pasando las pruebas finales y potencialmente puede ser considerado como un *scrap.*

Como se puede observar en el siguiente diagrama analítico, las operaciones marcadas en color naranja son las que están dentro del objetivo de las propuestas de mejora y eventualmente pueden ser optimizadas.

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Final Inspection
Metodo: Actual

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Inspeccionar alrededor de cada electrodo bajo un miscroscopio a 8X	35.31	-						
Inspecciar que el bode del anillo este perpendicular al Distal Shaft	14.01	-						
Inspeccionar que los electrodos no esten sueltos	17.74	-						
Inspeccionar que la superficie exterior del electrodo no esta carbonizada	15.6	-						
Inspeccionar que el outer distal shaft no este dañado	12.65	-						
Limpiar el extremo distal a proximal usando toalla	15.73	-						
Inspeccionar que el lazo este de acuerdo a especificaciones	25.91	-						
Inspeccionar que el conector esta unido con adhesivo en todas las ubicaciones	35.32	-						
Llamar al tecnico de calidad o manufactura para evaluar si es necesario algun retrabajo	92.23	62.62						
	264.5							

Figura 45. Diagrama analítico final inspection

Fuente: Elaboración propia.

La propuesta en este caso sería implementar unos radios que estén enlazados entre la estación de inspección final y la de los técnicos de calidad y manufactura para que, de este modo, cuando un operario requiera de alguno de los técnicos, únicamente los llame a través del radio sin necesidad de levantarse de sus puestos de trabajo y mientras tanto pueda colocar la unidad en duda en espera y continuar con las inspecciones finales del resto de las unidades.

Figura 46. Propuesta de radios

Fuente: Elaboración propia.

Logrando implementar unos radios en las estaciones específicas, se estaría asegurando erradicar un desplazamiento de 62,62 metros cada vez que los operarios requieran ayuda de los técnicos, lo cual se traduce en 82,11 segundos que, como se indicó en secciones anteriores, los contribuidores hacen este recorrido de 3 a 4 veces por día.

El diagrama analítico propuesto se vería de la siguiente manera:

Curso grama analitico
Nombre del metodo: Final Inspection
Metodo: Actual

Descripción	Tiempo (seg)	Distancia (metros)	Simbolo					Observaciones
Inspeccionar alrededor de cada electrodo bajo un miscroscopio a 8X	35.31	-						
Inspecciar que el bode del anillo este perpendicular al Distal Shaft	14.01	-						
Inspeccionar que los electrodos no esten sueltos	17.74	-						
Inspeccionar que la superficie exterior del electrodo no esta	15.6	-						
Inspeccionar que el outer distal shaft no este dañado	12.65	-						
Limpiar el extremo distal a proximal usando toalla	15.73	-						
Inspeccionar que el lazo este de acuerdo a especificaciones	25.91	-						
Inspeccionar que el conector esta unido con adhesivo en todas las ubicaciones	35.32	-						
Llamar al tecnico de calidad o manufactura para evaluar si es necesario algun retrabajo	10.12	-						
	182.39							

Figura 47. Diagrama analítico propuesto

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Actualizar los manuales de procedimientos

Esta propuesta se enfocará en actualizar los manuales de procedimiento para las estaciones de *threading*, *conector soldering* y *final inspection* específicamente para remover y optimizar procesos detallados en las propuestas anteriores. La versión final de estos manuales de procedimiento no puede ser presentados por un tema de confidencialidad de la empresa.

De la misma forma, se verificará que los operarios sean reentrenados en estos manuales de procedimiento y se llevará un control de que realmente el contribuidor se entrenó en los cambios propuestos y deberá ser firmado con el consentimiento de estos, utilizando un formulario para el registro, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Propuesta para registro de reentrenamiento

Numero de manual de procedimiento	**Nombre y apellido**	**Numero de empleado**	**Fecha**	**Firma**

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Plan de implementación

En la siguiente figura, se detalla el plan de implementación que se utilizará como propuesta para el presenta proyecto final de graduación.

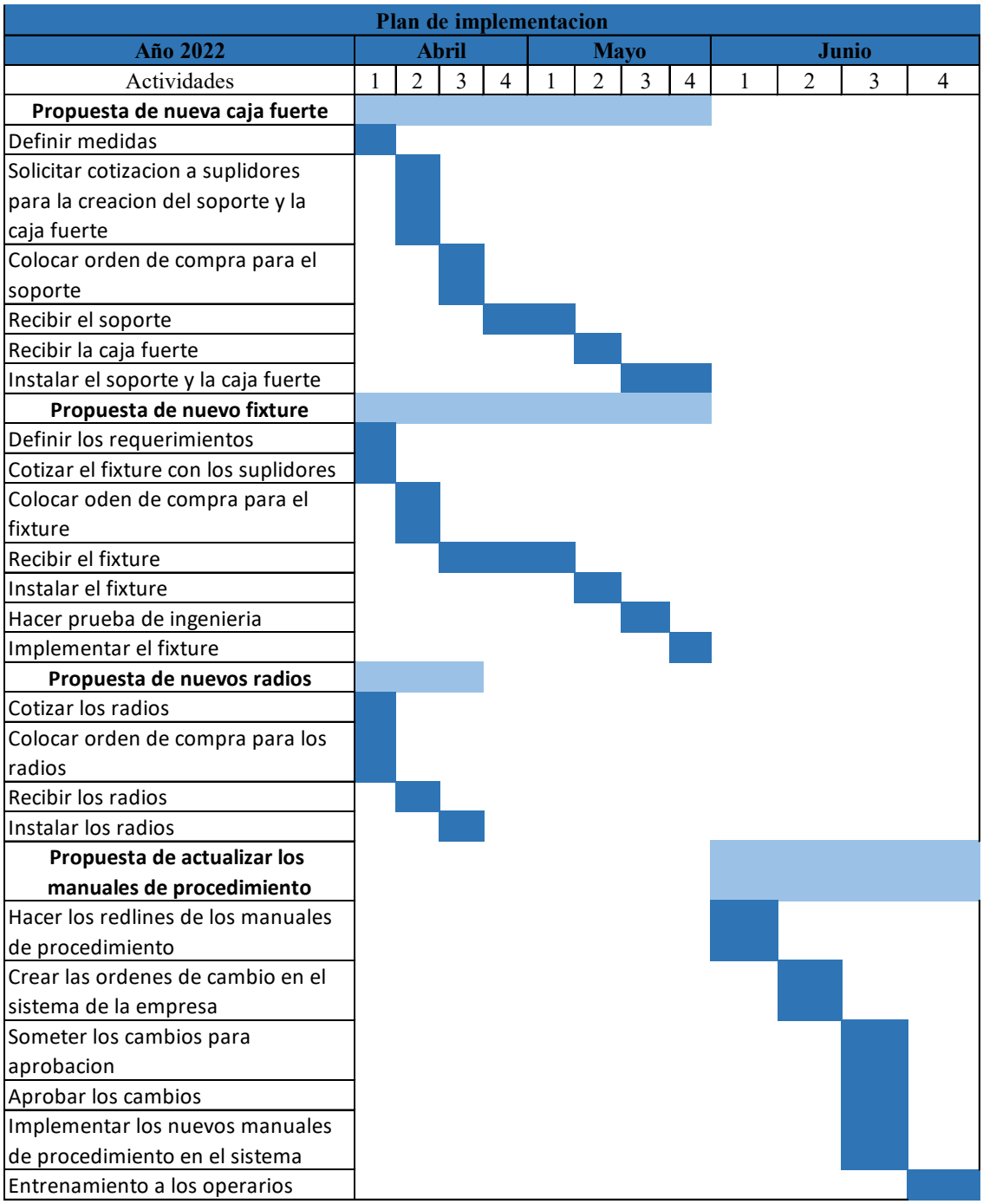


Figura 48. Plan de implementación

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Resumen etapa mejora

Con el soporte de todas y cada una de las propuestas de mejora en las diferentes estaciones de PolarMap mencionadas en secciones anteriores, se logra apreciar una disminución considerable en los tiempos de cada una de estas. En la siguiente figura, se puede apreciar cuantitativamente esta información.

Antes de las propuestas de mejora				Despues de las propuestas de mejora		
Estación	Tiempo (seg)	Unidades por hora	Metros	Tiempo (seg)	Unidades por hora	Metros
Conector Soldering	1180	3	157.96	609.96	5.8	-
Threading	900	4	2.3	585.58	6.1	2.3
Final Inspection	264.5	13.3	62.62	182.39	19.1	-

Figura 49. Resumen etapa mejora

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura, se puede observar el *work content graph* con los tiempos actualizados según las mejoras.

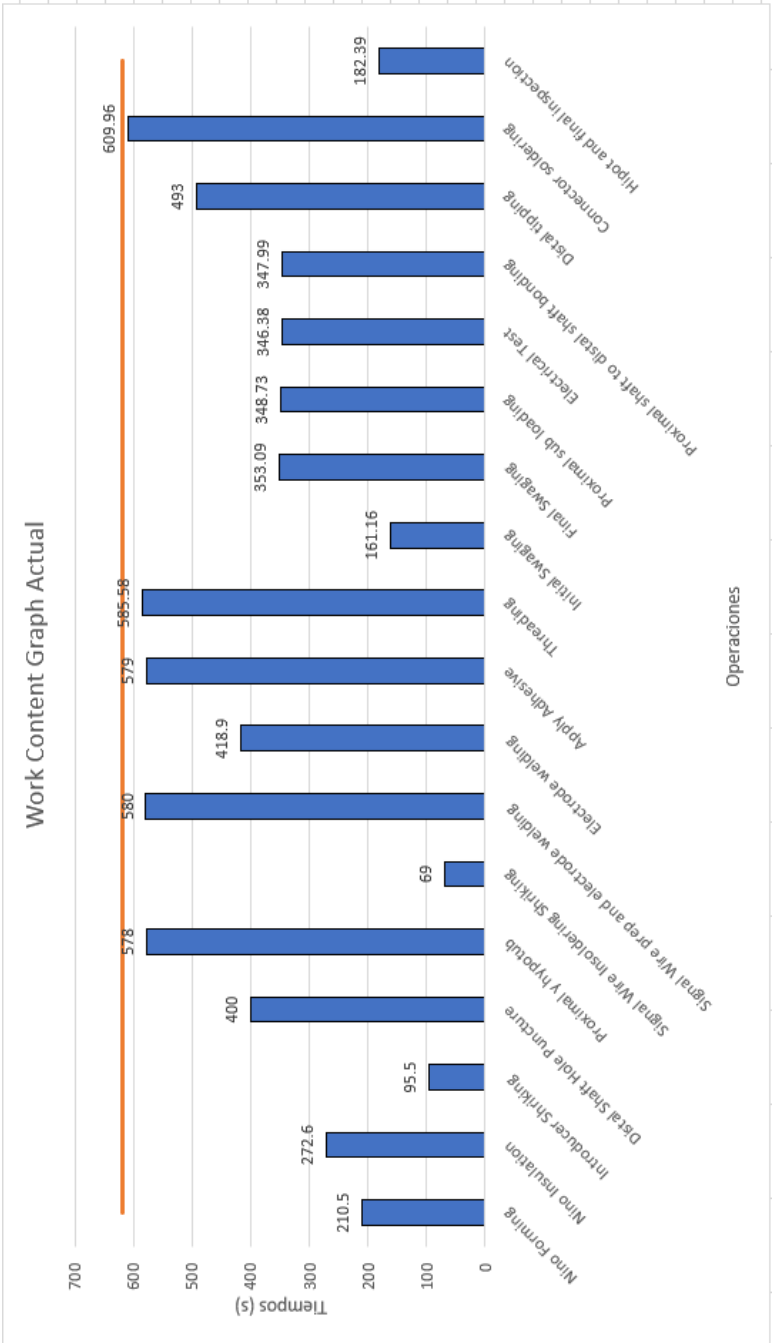


Figura 50. Work content graph después de la mejora

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Control

Esta fase es vital para el mantenimiento del trabajo realizado en todas las fases anteriores, es necesario llevar un control sobre las acciones implementadas para asegurar que estas se ejecuten correctamente y que los objetivos planteados en un inicio efectivamente se logren cumplir.

Como parte de esta fase de la metodología, se proponen los siguientes indicadores de control de proceso, con el fin de asegurar que las propuestas realizadas logren persistir durante el tiempo.

- Medición y mantenimiento de tiempos: es necesario una constante medición de tiempos en las diferentes estaciones para velar con el cumplimiento de las mejoras propuestas y, de la misma forma, asegurarse que los operarios reentrenados en los manuales de procedimiento ya estén en una curva de aprendizaje optima. Es necesario hacer estas tomas de tiempos cada 3 meses.
- Medición de metros desplazados: se debe continuar realizando una medición de tiempos, con el fin de poder identificar que efectivamente los desplazamientos más importantes de la línea de producción fueron erradicados adecuadamente.

Además, como indicador de desempeño, los KPI que utiliza la línea de producción para poder controlar la cantidad de unidades producidas, el *yield* y el *scrap* son indicadores vitales en esta fase de la metodología para poder obtener la información necesaria sobre si hubo algún cambio de mejora o no, en las propuestas de este proyecto.

- Cantidad de unidades producidas: la cantidad de unidades producidas es uno de los controles más importantes, ya que se puede apreciar cuantitativamente el incremento de unidades salientes de los diferentes procesos productivos de la línea de producción PolarMap.
- Yield vs. scrap: Con este control, se pretende poder analizar qué tan rápido se adapta la curva de aprendizaje de los operarios debido a las mejoras propuestas y, al mismo tiempo, evaluar que las optimizaciones están dando resultado, según lo establecido.

En la siguiente figura, se puede ver reflejado un ejemplo de la plantilla que utiliza la línea de producción para velar por el cumplimiento de estos indicadores, en donde se reflejan los resultados mensuales, diarios y sus respectivas metas. Las celdas marcadas de color rojo significan que no están cumpliendo con la meta, por el contrario, las marcadas de color verde son igual o mayor a la meta.

Los datos mensuales que alimentan esta plantilla son acumulativos, por ende, cada día se reportan los avances respectivos y estos se van guardando y se van reflejando en esta herramienta.

	POLARMAP POLARMAP		
KPI's	Month Today Actual	Daily Actual	Goal
Batches On Hold #	0	0	0
Output Top	139	44	1396
% Yield	89.10%	90.00%	90.00%
Scrap %	9.55%	0.00%	5.59%

Figura 51. Ejemplo de plantilla KPI

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN FINANCIERA

7.1 Costo de propuestas

Los proyectos de mejora continua tienen como objetivo solventar la manera de optimizar procesos, de forma que se realicen más fácilmente, en menos tiempo, menos pasos y que tenga una secuencia lógica, entre otras cosas. Al mismo tiempo, este tipo de proyectos siempre busca generar un ahorro en la empresa especifica. Dicho esto, se realizó un análisis financiero y se detallan los costos de las propuestas del capítulo anterior para que la empresa estudiada en el presente proyecto lo tenga de referencia por si deciden implementarlo.

Este capítulo específicamente explica el costo que tendrá cada una de las propuestas mediante una tabla de resumen de costos. Como se mencionaba en capítulos anteriores, la problemática principal es que el producto no está cumpliendo con el tiempo estándar establecido por la empresa para el 2022.

7.1.1 Costo de propuesta para nueva caja fuerte

Se propuso implementar una nueva caja fuerte en la estación de *conector soldering* para evitar los altos desplazamientos que se estaban generando por parte de los contribuidores. Se tuvo en consideración el soporte que debe llevar la caja y donde se ubicaría esta. La instalación de esta propuesta corre por el mismo proveedor. En la siguiente figura, se pueden apreciar los costos asociados con esta propuesta.

Costos de Propuesta para caja fuerte	
Caja fuerte	$62.00
Soporte para caja fuerte e instalacion	$150.00
Total	**$212.00**

Figura 52. Costos caja fuerte

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Costo de propuesta de implementación de fixture

Para la propuesta específica del fixture en la estación de *conector soldering*, se utilizó como base un *fixture* ya existente en otra línea de producción que, como se mencionó en secciones anteriores, logra adaptarse a las necesidades de esta área. Para calcular estos costos, se tomó en consideración el tiempo de los ingenieros respectivos, con el fin de ejecutar la validación de este *fixture* y también a los entrenadores para ejecutar el entrenamiento a los operarios. En promedio, el costo por día de los ingenieros que ejecutaron la validación es de $44 y les tomaría 5 días en ejecutar la misma, por otro lado, el costo promedio por día de los entrenadores es de $35 y les tomaría 1 día en realizar el entrenamiento a los contribuidores. En la siguiente figura, se pueden observar los costos asociados con esta propuesta.

Costos de Propuesta para Fixture	
Creacion e instalacion del fixture	$1,200.00
Validacion del fixture	$220.00
Entrenamiento de personal	$35.00
Total	**$1,455.00**

Figura 53. Costos de fixture

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Costo de propuesta de implementación de radios

Con la propuesta de implementación de los radios, no hay ningún otro costo asociado más que la compra de estos. El costo respectivo se puede reflejar en la siguiente figura.

Costos de Propuesta para radios	
Radios	$55.00
Total	**$55.00**

Figura 54. Costo de radios

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Costo de propuesta de actualización de manuales de procedimiento

Con respecto a los costos asociados para la propuesta de actualización de los manuales de procedimiento, se consideró el tiempo que les tomaría a los supervisores de producción actualizar estos documentos y aprobarlos en la base de datos de la empresa, lo cual tomaría 3 días actualizando los manuales y 6 días entre la revisión y aprobación de estos en el sistema. El promedio de costo por día de un supervisor es de $39 y el de un entrenador es de $35.

En la siguiente figura, se puede apreciar los costos asociados:

Costos de Propuesta para actualizacion de manuales de procedimiento	
Actualizacion e implementacion de manuales de procedimiento	$351.00
Entrenamiento de personal	$35.00
Total	**$386.00**

Figura 55. Costo actualización de manuales

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Tabla de costos

En la siguiente figura, se ilustra la tabla de total de los costos de la propuesta de mejora:

Tabla de costos	
Propuesta para caja fuerte	$212.00
Propuesta para Fixture	$1,455.00
Propuesta para radios	$55.00
Propuesta para actualizar manuales de procedimiento	$386.00
Inversion	$2,108.00

Figura 56. Tabla de costos

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Ahorro general de la propuesta

En esta sección, se muestra cuánto se ahorra o dejara de gastar la empresa Boston Scientific en la línea de producción PolarMap. Esto se realizó con base en la cantidad de horas de trabajo, el tiempo mejorado, la cantidad de unidades producidas y el *yield* respectivo.

En la siguiente figura, se pueden observar los ahorros de tiempo y dinero respectivamente. Para la propuesta de *conector soldering*, se está realizando un ahorro de 570,04 segundos (0,158 h), para la propuesta de *Threading* se está realizando un ahorro de 314,42 segundos (0,087 h) y, por último, para la estación de *final inspection,* se está realizando un ahorro de 82,11 segundos (0,023 h), respectivamente. Para las estaciones que requerían realizar traslados, estos se estarían removiendo por completo.

Ahorro general				
Estación	**Mensual (Horas)**	**Annual (Horas)**	**Mensual (Dolares)**	**Anual (Dolares)**
Conector Soldering	4.740	56.880	$ 2,046.40	$ 24,556.80
Threading	2.61	31.32	$ 1,126.80	$ 13,521.60
Final Inspection	0.69	8.28	$ 297.90	$ 3,574.80
Total	**8.040**	**96.480**	**$ 3,471.10**	**$ 41,653.20**

Figura 57. Ahorro general

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura anterior, se detallan los ahorros de tiempo y dinero que la empresa estaría obteniendo.

Ahorro		
Diario	**Mensual**	**Anual**
$ 115.70	$ 3,471.10	$ 41,653.20
Inversion		
$2,108		
Retorno de inversion		
19 dias: $2,198		

Figura 58. Retorno de inversión

Fuente: Elaboración propia.

Como se pude apreciar en la figura anterior, el retorno de inversión para las propuestas de este proyecto final de graduación es respectivamente de 19 días. Esto se logró calcularlo multiplicando el ahorro diario que serían $115,70 hasta sobrepasar la inversión que es de $2108.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Con el presente trabajo final de graduación, se logró ver la importancia de mapear todos los procesos de la línea de producción de PolarMap. Esto permitió analizar y entender el proceso completo identificando la cantidad de estaciones y la secuencia lógica que tienen las mismas. Este proyecto se realizó utilizando como base la metodología DMAIC. Se hizo un análisis de causa raíz, lo cual permitió identificar el problema y cuáles procesos y estaciones se debían optimizar. Con ayuda del gráfico de contenido actual, se logra observar y diferenciar, de una manera muy visual, los tiempos actuales de todas y cada una de las estaciones y la diferencia que tienen con respecto a la meta definida por la empresa.

Con el análisis realizado y con ayuda de diferentes herramientas ingenieriles, se logra mapear los procesos para poder entender las acciones ejecutadas en cada una de las estaciones. Con la medición que se realizó, se pudo obtener la cantidad de metros desplazados por parte de los operarios, para poder obtener la materia prima necesaria en la estación y, de igual manera, solicitar asistencia a los técnicos respectivos. Con la data ya obtenida previamente respecto a los tiempos y cantidad de unidades producidas, se logra realizar una comparación de la cantidad de unidades producidas y el tiempo de las estaciones antes y después de la propuesta.

Se elaboraron 4 propuestas específicas que logran optimizar los problemas presentados en algunas de las estaciones con más tiempo y con más cuellos de botella, con la finalidad de atacar la principal dificultad de la línea de producción que es que los tiempos estándares de las diferentes estaciones propuestos por la empresa para el 2022 no se están cumpliendo.

Se recomendaron indicadores de control de proceso para asegurar que las propuestas realizadas logren persistir durante el tiempo; por otro lado, como parte de los indicadores de desempeño, se propone darle un seguimiento detallado a los KPI ya identificados por la empresa como la cantidad de unidades producidas, *yield* y *scrap*, para obtener la información necesaria de si hubo algún cambio de mejora o no, en las propuestas de este proyecto.

Por último, se realizó un análisis financiero que permitirá dar un estimado del costo y ahorro que tendrá la empresa Boston Scientific. La suma de las propuestas de mejora tendrá un

costo de $2108 y se determinó que la empresa podría recuperar esa inversión específicamente en 19 días. Este trabajo final de graduación permite dejar la enseñanza de que, independientemente de la empresa, todas siempre requieren de mejoras continuas.

8.2 Recomendaciones

Con base en el proyecto realizado, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Realizar una medición de tiempos cada 3 meses en las diferentes estaciones para velar por el cumplimiento de las mejoras propuestas.
- Revisar constantemente los manuales de procedimientos y las actividades realmente empleadas en las líneas de producción, para evitar los movimientos innecesarios.
- Elaborar una lluvia de ideas de ideas de mejora con los contribuidores de la línea de producción cada 2 meses.
- Realizar entrenamientos constantes respectos a los nuevos *fixture*s implementados en la línea de producción.
- Entrenar a los operadores de *final inspection* para ser expertos en detectar posibles retrabajos en esta estación.
- Realizar estudios de ingeniería y mantenimiento al *fixture* implementado en la estación de *conector solderin,* con el propósito de asegurar su correcta funcionabilidad.
- Realizar *gemba walks* cada 3 meses en la línea de producción, para poder identificar puntos de mejora dentro de la línea de producción.

BIBLIOGRAFÍA

Alan, D., & Cortez, L. (2018). Obtenido de Procesos y Fundamentos de la investigacion cientifica: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf

Añez, J. (S.F.). Obtenido de Economia360: https://www.economia360.org/diagrama-de-flujo/

Arenhart, J. (12 de Junio de 2018). *Blog de la calidad*. Obtenido de Diagrama de Ishikawa: https://blogdelacalidad.com/diagrama-de-ishikawa/

Arias, A. M. (1 de Agosto de 2019). *Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigacion PUCP*. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15595

BBVA. (S.F.). Obtenido de BBVA: https://www.bbva.mx/educacion-financiera/t/tasa_interna_de_retornotir.html#:~:text=Tasa%20Interna%20de%20Retorno%20(TIR,han%20proyectado%20para%20m%C3%A1s%20adelante.

Boston Scientific. (S.F.). Obtenido de https://www.bostonscientific.com/content/dam/bostonscientific/corporate/about/eu/aboutBostonScientificCorporate_companyProfile_es_24may18.pdf

Boston Scientific. (S.F.). Obtenido de https://www.bostonscientific.com/es-MX/about-us/history.html

Boston Scientific. (S.F.). Obtenido de https://www.bostonscientific.com/es-CL/productos/cateteres-ablacion/cateter-de-ablacion-termica-intellatip-mifi-xp.html

Boston Scientific. (S.F.). Obtenido de https://www.bostonscientific.com/es-CL/productos/stents-gastrointestinal/stent-transhepatico-biliar-wallflex.html

Boston Scientific. (S.F.). Obtenido de https://www.bostonscientific.com/es-CL/productos/valvula-cardiaca-por-cateter/acurate-tavi-sistema-valvula-aortica.html

Coll, F. (21 de February de 2021). Obtenido de Economipedia: https://economipedia.com/definiciones/fuente-secundaria.html

ConceptoDefinicion. (25 de June de 2019). Obtenido de ConceptoDefinicion: https://conceptodefinicion.de/fuentes-de-informacion/

da Silva, D. (20 de Abril de 2021). *Blog de Zendesk*. Obtenido de Como calcular el ROI? Formula con ejemplos: https://www.zendesk.com.mx/blog/roi-como-calcular-sacar/

Diaz, D. (14 de Agosto de 2019). Obtenido de Educadictos: https://www.educadictos.com/gestion-de-la-calidad-metodo-kaizen/

Diaz, L. P. (13 de Mayo de 2013). *Investigacion en Educacion Medica*. Obtenido de La entrevista, recurso flexible y dinamico: http://riem.facmed.unam.mx/node/47

Editorial Etece. (5 de Agosto de 2021). Obtenido de Diagrama de Flujo: https://concepto.de/diagrama-de-flujo/

Garcia, G. (15 de Octubre de 2018). *Hablemos de empresas*. Obtenido de https://hablemosdeempresas.com/pymes/formula-van/

Gomez, G. (1 de Diciembre de 2020). *Gestiopolis*. Obtenido de Manual de procedimientos: que es, objetivos, estructura y su justificacion frente al control interno: https://www.gestiopolis.com/manuales-procedimientos-uso-control-interno/

Gonzales, G. (13 de Agosto de 2020). Obtenido de Lifeder: https://www.lifeder.com/diagrama-de-flujo/

Gonzales, R., & Jimeno, B. (2012). *UDG Virtual*. Obtenido de Check list / Listas de chequeo: ¿Qué es un checklist y cómo usarlo?: http://www.pdcahome.com/check-list/

Gonzalo, A. (15 de Octubre de 2018). *Hablemos de empresas*. Obtenido de Por que debemos conocer el VAN y su formula: https://hablemosdeempresas.com/pymes/formula-van/

Guevara, L. A., Caldera, D. M., & Mora, Y. J. (24 de Noviembre de 2020). *Repositorio Institucional UNAN-Managua.* Obtenido de https://repositorio.unan.edu.ni/14661/

ISDI. (5 de Enero de 2017). Obtenido de Que es un KPI y para que sirve? : https://www.isdi.education/mx/blog/que-es-un-kpi-y-para-que-sirve

Lopez, C. A., & Cardona, G. E. (28 de Junio de 2021). Obtenido de Centro de recursos para el aprendizaje y la investigacion: https://repository.usta.edu.co/handle/11634/34707

Maram, L. (27 de Setiembre de 2013). *Luis Maram*. Obtenido de Fornula del ROI: https://www.luismaram.com/5-terminos-de-mercadotecnia-que-debes-dominar/formula-de-roi/

Medina, J. (11 de Setiembre de 2019). Obtenido de Muda: El peor desperdicio es el que no conoces: https://blog.toyota-forklifts.es/muda-el-peor-desperdicio-es-el-que-no-conoces

Mendez, G. (13 de Febrero de 2014). Obtenido de PrevenBlog: https://prevencontrol.com/prevenblog/las-7-mudas/

Minetto, B. (12 de Febrero de 2019). Obtenido de Que es DMAIC?: https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/

Peiretti, G. (2021). Obtenido de Stand up Meeting - Es realmente Agil?: https://gustavopeiretti.com/stand-up-meeting-realmente-agil/

Perez, J. F. (6 de Agosto de 2020). *Lean Construction Mexico*. Obtenido de Gemba Walk. Mira, escucha, pregunta y aprenderas: https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/gemba-walk-mira-escucha-pregunta-y-aprender%C3%A1s

QAEC. (S.F.). Obtenido de 5 Por qué: https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/5-porque

QuestionPro. (S.F.). Obtenido de Que es la investigacion correlacional?: https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-correlacional/

QuestionPro. (S.F.). Obtenido de Que es la investigacion explicativa?: https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-explicativa/

Ramos, C. (2020). *Los alcances de una Investigacion.* Ecuador: Cienciamerica.

resultae. (S.F.). Obtenido de La importancia de calcular los tiempos estandar: https://www.resultae.com/mejora-de-la-productividad/calculo-del-tiempo-estandar-en-el-proceso-de-produccion/

Rodriguez, A. (25 de Feb de 2020). Obtenido de Investigacion cualitativa, caracteristicas, tipos, tecnicas, ejemplos.: https://www.lifeder.com/investigacion-cualitativa/

Rodriguez, J. (29 de Noviembre de 2019). *SPC consulting group*. Obtenido de Porque es importante el plan de control?: https://spcgroup.com.mx/porque-es-importante-el-plan-de-control/

Romero, A. (20 de Noviembre de 2014). Obtenido de Las 7 MUDAS en produccion: http://www.angelantonioromero.com/las-7-mudas-en-produccion/

Salazar, B. (25 de Junio de 2019). *Ingenieria Industrial*. Obtenido de Estudio de tiempos: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/que-es-el-estudio-de-tiempos/

Salazar, B. (16 de Junio de 2019). *Ingenieria Industrial*. Obtenido de Balanceo de Linea: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/produccion/balanceo-de-linea/

Sistema de Biblioteca. (12 de July de 2021). Obtenido de Sistema de Biblioteca: https://uprrp.libguides.com/fuentesprimarias/fuentesprimarias

SPC consulting group. (25 de Febrero de 2013). Obtenido de 7 Mudas: https://spcgroup.com.mx/7-mudas/

Velayos, V. (15 de Junio de 2014). *Economipedia*. Obtenido de Valor actual neto: https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html

GLOSARIO

Backorders: Los backorders hacen referencia a los pedidos pendientes realizados por los clientes. Estos se generan cuando existe mucha demanda y la capacidad de la empresa no logra satisfacer esta, por ende, los consumidores hacen pedidos, pero la empresa no tiene en su inventario lo solicitado.

Muda: Esta hace referencia a una palabra japonesa que significa despilfarro, es decir, cualquier acción que se genera en un proceso productivo que no genere valor agregado al producto.

Pallet: Los pallets hacen referencia a una armazón utilizada para el movimiento de una carga, esto para poder facilitar el levantamiento y el manejo con grúas hidráulicas. El material de estas es comúnmente de madera o de plástico.

Scrap: Se consideran unidades o materiales defectuosos que requieren algún tipo de retrabajo o bien el desecho completo del mismo.

Yield: Cantidad de unidades buenas y funcionales de un lote de producción determinado.

Materiales of the shelf: Son los materiales de catalogo que no requieren ningún tipo de especificación.

Wire: Alambre.

Fixture: Accesorios que les permite a los operarios realizar los procesos de una manera más optima.

Coreteam: Es el equipo central multidisciplinario de un proyecto**.**

Benchmarking: Es poder tomar comparadores y poder utilizarlos como punto de referencia para futuras estrategias o planes de mejora, aplica en productos, servicios, procesos, etc.

Redline: Son las líneas rojas que se denotan mayormente en un documento para identificar posibles cambios.