

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

AUMENTO DE CAPACIDAD MEDIANTE
ESTUDIOS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS
DURANTE EL II SEMESTRE DEL 2020 EN
EL AREA JAVA, EN LAS LINEAS DE SUB
ENSAMBLES SOURCE Y DETECTOR DE
PHILIPS COSTA RICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA
OPTAR POR LICENCIATURA EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

MARÍA LAURA SABORÍO CARBALLO
ING. ANA CATALINA LEANDRO SANDÍ

SAN JOSÉ, JULIO, 2020



Defensa del Trabajo Final de Graduación Acta de Graduación

Ante el Tribunal Calificador de la Universidad Hispanoamericana, integrado por: Ing. Sanchez Cascante Juan Carlos representación de Director(a) de carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Ing. Leandro Sandi Ana Catalina Tutor(a), y Ing. Campos Ureña Lubin(a), se presenta el postulante **SABORIO CARBALLO MARIA LAURA** cédula de identidad **1-1665-0549** hace defensa pública de su trabajo final de graduación titulado: **"AUMENTO DE CAPACIDAD MEDIANTE ESTUDIOS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DURANTE EL II SEMESTRE DEL 2020 EN EL AREA JAVA, EN LAS LINEAS DE SUB ENSAMBLES SOURCE Y DETECTOR DE PHILIPS COSTA RICA"** una vez escuchada la exposición del postulante y habiendo procedido al período de preguntas por parte de los miembros del Tribunal, se procede en privado a la deliberación de rigor y se concluye que el estudiante **SABORIO CARBALLO MARIA LAURA** ha aprobado su requisito de graduación con un puntaje de 99 en la escala de 0 a 100. Firmado en la Universidad el día: 24 de junio del 2021.

Director(a) de Carrera:	JOAN CARLOS SANCHEZ CASCANTE (FIRMA)	Firmado digitalmente por JOAN CARLOS SANCHEZ CASCANTE (FIRMA) Fecha: 2021.06.24 17:56:29 -06'00'
Tutor(a):	Ana Catalina Leandro Sandi	Firmado digitalmente por Ana Catalina Leandro Sandi Fecha: 2021.06.24 18:12:52 -06'00'
Lector(a):		
Estudiante:		

CARTA DEL TUTOR

San José, 17 enero 2021

Señores
Carrera Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **María Laura Saborio Carballo**, cédula de identidad número **116650549**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **Aumento de la capacidad mediante estudios de tiempos y movimientos durante el II semestre del 2020 en el área JAVA en las líneas de Sub ensambles Source y Detector de Phillips Costa Rica**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de **Licenciatura**.

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

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

a)	ORIGINAL DEL TEMA	10%	10%
b)	CUMPLIMIENTO DE ENTREGA DE AVANCES	20%	20%
C)	COHERENCIA ENTRE LOS OBJETIVOS, LOS INSTRUMENTOS APLICADOS Y LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	30%	30%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEORICO	20%	20%
	TOTAL		98

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

Atentamente,

Ana Catalina
Leandro Sandí

Firmado digitalmente por
 Ana Catalina Leandro
 Sandí
 Fecha: 2021.01.17 14:14:59
 -06'00'

Ing. Ana Catalina Leandro Sandí

Cédula: 3-0398-0478

Carné del Colegio: IPI-- 22762

CARTA DEL LECTOR

San José 9 de marzo de 2021

Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Hago constar en mi condición de lector, que he revisado el trabajo de la estudiante María Laura Saborío Carballo, cédula 1-1665-0549, titulado: *"Aumento de capacidad mediante estudios de tiempos y movimientos durante el II semestre del 2020 en el área Java, en las líneas de subensamble Source y Detector de Philips Costa Rica"* para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial.

Manifiesto, después de la revisión, que dicho trabajo reúne los requisitos exigidos por la Universidad y, por lo tanto, autorizo a la autora para que continúe con el proceso de aprobación del proyecto.

Sin más por el momento,

Atentamente:



Ing. Lubín Campos Ureña
Céd. 1-499-389
Carné II-3108

DECLARACIÓN JURADA

Yo María Laura Saborío Carballo, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1665-0549 egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado:

Aumento de capacidad mediante estudios de tiempos y movimientos durante el II semestre del 2020 en el área JAVA, en las líneas de Sub ensamblés Source y Detector de Philips Costa Rica.

es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. en fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 14 días del mes de Febrero del año dos mil veintiuno.



Firma del estudiante

1-1665-0549

DEDICATORIA

Todo lo que he logrado se lo dedico a Dios, pues me ha dejado vivir día tras día para poder alcanzar mis metas.

A mi mami y papi por ser el pilar más grande de mi vida, darme el estudio, uno de los regalos más grandes de mi vida ya que construyeron mi futuro, incluso si eso significaba sacrificar parte del de ellos y a mis abuelitos, que están en el cielo, mi abuela y mi tita que siempre será mi segunda madre.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutora Ing. Ana Catalina Leandro, por ayudarme a postularme de pasante en Philips Costa Rica y con todo el seguimiento de mi proyecto de graduación.

A toda mi familia por apoyarme siempre, en especial a mis tías Shirley y Evelyn Saborío por ser mujeres profesionales y empoderadas, todo un ejemplo a seguir, a mi tío Daniel Carvajal por darme el impulso para aprender más de la carrera, a mi novio por apoyarme y motivarme y a mi mejor amigo “simba” por hacerme una mejor persona siempre.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I. Introducción	16
1.1 Descripción General del proyecto.....	17
1.2 Identificación de la empresa	19
1.2.1 Descripción general de la empresa	19
1.2.1.1. Misión y Visión de la empresa	19
1.2.1.2. Ubicación geográfica	19
1.2.1.3. Estructura organizativa de la empresa.....	20
1.2.1.4. Cantidad de empleados	21
1.2.1.5. Productos:	22
1.2.1.6. Sensores de Capnografía	23
1.2.1.7. Mainstream	23
1.2.1.8. LoFlo	23
1.2.1.9. Mercados de exportación	24
1.2.1.10. Descripción del proceso productivo	24
2.2.1 Antecedentes históricos de la empresa	16
1.3 Planteamiento del problema	18
1.3.1. Idea del problema.....	18
1.3.2. Definición del problema	18
1.3.3. Justificación	19
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
1.5 Alcances y Limitaciones	21

Capítulo II. Marco Teórico	22
2.1 Marco Conceptual general relativo de la carrera	23
2.1.1. Lean Manufacturing.....	23
2.2 Marco Conceptual ateniendo a la gestión del proyecto	24
2.2.1. Definir:	24
2.2.1.1. Project chárter.....	24
2.2.1.2. Stakeholder	24
2.2.1.3. Diagrama de Gantt.....	25
2.2.2. Medir:	25
2.2.2.1. Plan de recolección de datos	25
2.2.2.2. Estudio de tiempos.....	25
2.2.2.3. 2.3 Tiempo estándar	27
2.2.3. Analizar:	27
2.2.3.1. Análisis causa raíz:	27
2.2.3.2. Gemba Kaizen	28
2.2.3.3. Takt Time	28
2.2.3.4. Balanceo de línea	29
2.2.3.5. Tiempo de ciclo	29
2.2.3.6. Porcentaje de utilización	30
2.2.3.7. Capacidad instalada.....	30
2.2.4. Mejorar:	30
2.2.4.1. Simulación.....	31
2.2.4.2. Layout	31
2.2.4.3. Análisis financiero	31
2.2.5. Controlar:	32

2.3 Marco Conceptual referente al impacto del proyecto	33
Sección 2.4 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes	36
Capítulo III. Marco Metodológico	37
A. Definir	38
B. Realizar la declaración del proyecto	38
C. Reconocer los involucrados del proyecto	38
D. Definir un cronograma de actividades	38
E. Recopilar datos del aumento de la demanda.....	38
F. Medir.....	39
1. Establecer un plan de recolección de datos	39
2. Realizar un muestreo para la toma de tiempos	40
3. Determinación de las horas operario actuales.....	40
4. Medir la capacidad real de la línea	40
G. Analizar.....	42
5. Análisis del flujo del proceso.....	42
6. Análisis de capacidad instalada.....	42
7. Diagrama de Ishikawa:	42
H. Mejorar.....	44
8. Mejora de la capacidad de las líneas de subensambles Source y Detector. 44	
9. Balanceo de línea	44
10. Simulación del proceso.....	44
I. Controlar	47
11. Establecimiento de un cronograma de actividades.....	47
12. Determinación de los responsables de cada área	47

13. Identificación de los posibles riesgos.....	47
Capítulo IV. Línea base y análisis de causas.....	50
Plan de recolección de datos	57
Premuestreo para la toma de tiempos	59
Muestreo para el cálculo de los tiempos estándar	59
Determinación del tiempo de ciclo	74
J. Tabla 5 Tiempo de ciclo por unidad.....	74
K. Analizar.....	74
Diagrama de Espaguetis y Layout	74
Determinación de las horas operario actuales	76
Cálculo del tiempo total disponible.....	78
Resumen de información general para el análisis de capacidad	80
Porcentaje de Yield.....	81
Unidades por producir:.....	82
Takt Time	82
Flujo de la línea.....	82
Porcentaje de utilización:	82
3.8. Capacidad de la línea al 100%.	83
3.9. Capacidad de la línea yileado	83
3.10. Índice de estaciones teóricas	83
Capacidad de subensamble Detector	84
Capacidad de subensamble Source	87
Determinación del cuello de botella	91
Capítulo V. Diseño e Implementación de la Solución	112
Capítulo V. Diseño e Implementación de la Solución	113

Tabla de Figuras

Tabla 1 Capacidad de los últimos 3 meses.....	17
Tabla 2 Numero de muestras recomendadas por del tiempo de ciclo	26
Tabla 3 Definir.....	39
Tabla 4 Medir	42
Tabla 5 Analizar	44
Tabla 6 Mejorar	46
Tabla 7 Controlar	47
Tabla 8 Demandas 2020.....	54
Tabla 9 Demandas Detector 2020	55
Tabla 10 Demanda de Subensambles	56
Tabla 11 Plan de Recolección de Datos	58
Tabla 12 Premuestreo Subensambles	59
Tabla 13 Cálculo de muestra para toma de tiempos.....	61
Tabla 14 Resumen de cálculo de muestra para toma de tiempos de Detector W/Wires.	62
Tabla 15 Tamaño de muestra	64
Tabla 16 Resumen de resultados de tamaño de muestra para Detector Test.	65
Tabla 17 Source tiempos	67
Tabla 18 Tiempos Detector.....	69
Tabla 19 Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Detector.....	71
Tabla 20 Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Source.	73
Tabla 21 Tiempo de ciclo por unidad	74
Tabla 22 Tabla de tiempo disponible	76
Tabla 23 Tiempo disponible por turno.....	77
Tabla 24 Desglose para tiempo disponible	79
Tabla 25 Yield de las operaciones de subensambles	81
Tabla 26 Work Content Graph Inicial Detector.....	84
Tabla 27 Work Content Graph Detector con demanda futura	86

Tabla 28 Work Content Graph inicial de Source	87
Tabla 29 Work Content Graph Source con demanda futura	88
Tabla 30 Análisis de Capacidad de Source 2020.....	90
Tabla 31 Tabla de frecuencias del Ishikawa	95
Tabla 32 Costo de cada Subensamble	96
Tabla 33 Costo de Ensamblés finales.....	96
Tabla 34 Ganancias sensores de capnografía.....	97
Tabla 36 Tabla de costos para Mainstream	98
Tabla 37 Demanda de LoFlo.....	98
Tabla 38 Tabla de costos para LoFlo.....	99
Tabla 39 Demanda para Capnotrak	99
Tabla 40 Tabla de costos de Capnotrak	100
Tabla 41 Resumen de tablas de costos y ganancia.....	100
Tabla 42 Tipos de falla Detector	101
Tabla 43 Cantidad de fallas por tipo.....	102
Tabla 44 Criterios de clasificación 123 y ABC para clasificación de modos de falla en línea de Detector.....	104
Tabla 45 Criterios de clasificación Alfa, Beta, Gamma.	104
Tabla 46 Clasificación Alfa Beta Gamma de los modos de falla de la línea Detector.	105
Tabla 47 Clasificación Alfa Beta Gamma de los modos de falla de la línea Detector.	106
Tabla 48 Clasificación ordenada de los modos de falla de criticidad alfa para la línea Detector.	106
Tabla 49 Clasificación ordenada de los modos de falla de criticidad alfa para la línea Detector.	107
Tabla 50 Costos semanales de las fallas producidas por los modos de falla de tarjeta y Flex dañados.....	108
Tabla 51 Tareas de la operación actual Detector Assembly 1	115
Tabla 52 Tareas de la operación actual Detector Assembly 2	116
Tabla 53 División de tareas de Detector Assembly en 5 operaciones	117

Tabla 54 Balance de línea de propuesta de división 1	118
Tabla 55 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 1.	119
Tabla 56 División de tareas de Detector Assembly en 4 operaciones con horneado junto.	120
Tabla 57 Balance de línea de propuesta de división 2.....	121
Tabla 58 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 2.....	121
Tabla 59 Balance de línea de tercera propuesta.....	123
Tabla 60 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 3.....	124
Tabla 61 Resumen de los impactos de las propuestas con respecto al estado actual.	125
Tabla 62 Espacio requerido por las estaciones de trabajo.....	129
Tabla 63 Resumen de nuevo Value Stream Map.....	131
Tabla 64 Resultados de simulación de proceso actual.	136
Tabla 65 Resultados de simulación para propuesta.	138
Tabla 66 Replicas para calcular tamaño de muestra para determinar valor de output de la propuesta.	138
Tabla 67 Cálculo del tamaño de muestra para conseguir un error máximo de 2 unidades.	139
Tabla 68 Resultados finales de output en la línea.....	139
Tabla 69 Mejoras en los tiempos de soldadura al utilizar Fixture para asistir en el proceso.	140
Tabla 70 Análisis financiero para Detector.....	144
Tabla 71 Resultados de indicadores financieros VAN y TIR para propuestas	144
Tabla 72 Tareas de la operación actual Source Assembly.	147
Tabla 73 Balance de línea de propuesta de división 1.....	150
Tabla 74 Resultados finales de output en la línea.....	153
Tabla 75 Resultados de indicadores financieros VAN y TIR para propuestas	155
Tabla 76 Plan de gestión de riesgos para la implementación de la segunda propuesta	170
Tabla 77 Plan de gestión de riesgos para segunda propuesta.	171

RESUMEN EJECUTIVO

El actual proyecto trata sobre el aumento de capacidad instalada de las líneas de Source y Detector de sub ensambles de un cuarto dedicado a la fabricación de sensores de Capnografía llamado JAVA, el cual está en la empresa Philips Costa Rica en el Coyol de Alajuela.

En el desarrollo de la línea base se pudo determinar que las líneas no poseen la cantidad de personal y equipos necesarios para cumplir la demanda para los próximos meses, consecuencia al COVID-19.

Dentro de la investigación se encuentra la oportunidad para bajar el tiempo estándar de una operación de Detector y se realiza un Fixture para soldar en la misma, el cual se imprime en 3D dentro de Philips.

Luego de realizar la etapa de investigación se concluye en el aumento de capacidad instalada, incluir mesas las cuales son estaciones ideales con 6s y el cambio del fixture de soldadura para rebajar el tiempo estándar de la operación.

La implementación de todas las propuestas se realizó en un 100% y en consecuencia a este proyecto se logró suplir la demanda mundial con respecto a los sensores de Capnografía.

Capítulo I. Introducción

1.1 Descripción General del proyecto

El presente proyecto presenta una propuesta de mejora en relación a la capacidad, productividad y el tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción siguiente (Takt Time) en las líneas de Subensambles Source y Detector del área JAVA (sensores de Capnografía), esto a causa de un alza del 45% en la demanda de los sensores de Capnografía por la gran pandemia de Covid-19 que atraviesa el mundo actualmente.

Java al ser un cuarto no controlado que se transfirió al inicio del año desde Wallingford, USA no posee las medidas adecuadas para producir en masa, tanto en capacidad como en calidad del producto, esto por el porcentaje de entrenamiento que poseen los operarios del cuarto, el cual varía entre el 60% hasta el 90%, esto perjudica directamente en el Takt Time, pues el tiempo entre una pieza y otra es extenso.

Actualmente entre los datos relevantes para este proyecto está:

1.1.1 La capacidad para producir de los últimos 3 meses:

Capacidad de los Subensambles en los últimos 3 meses		
Línea	Cantidad de estaciones	Lotes Producidos al día
Source	4	2,8
Detector	4	2,5

Tabla 1 Capacidad de los últimos 3 meses

1.1.2 Productividad de las líneas de subensambles:

Productividad actual de Source:

$$(20,72 \text{ horas}/24 \text{ horas}) * (2,8 \text{ lotes}/9,4 \text{ lotes}) = 26\%$$

Productividad actual de Detector:

$$(20,87 \text{ horas}/24 \text{ horas}) * (2,5 \text{ lotes}/10,5 \text{ lotes}) = 20\%$$

Takt Time (Tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente).

En los últimos 3 meses el Takt Time ha sido de: 72,3 segundos para Source y de 88,6 segundos para Detector.

Estos datos indican que no es posible aumentar la producción actual de 2,8 lotes a 9,4 lotes en Source y de 2,5 lotes a 10,5 lotes en Detector, el actual proyecto mostrará un estudio de tiempos y movimientos para realizar la mejora que aumente tanto la capacidad como la productividad y logre disminuir el Takt Time.

El proyecto tiene relación con la línea de investigación de la carrera de operaciones industriales, debido a que promueve la optimización de operaciones y procesos, , localización y diseño de instalaciones, distribución de espacios y facilidades físicas, mejora y optimización de la productividad y efectividad de los procesos productivos y de servicios, administración y estandarización de las operaciones, diseño e implantación de líneas de producción, planificación y programación maestra de producción, modelos de producción y operaciones, modelos de servucción en ingeniería de procesos, sistemas de control de producción, sistemas de mejora de eficiencia, eficacia y efectividad de operaciones industriales, logística industrial, gestión de cadena de suministros, gestión de almacenamiento, inventario y distribución y logística de abastecimiento, logística de operaciones, logística de proyectos y logística de residuos.

También se contemplan dentro de esta línea, el diseño de puestos de trabajo, el análisis de tiempos y movimientos, análisis de procesos y operaciones industriales, gestión de la productividad y la ingeniería de valor agregado, aplicación genérica o específica de principios y métodos de investigación de operaciones, programación de rutas y transporte, estrategias de producción, nuevos productos y servicios. Proyectos que desarrollan, aplican o demuestran un servicio innovador en procesos productivos o de servicios también podrán ser incluidos en esta línea de investigación.

1.2 Identificación de la empresa

Philips Volcano es una empresa ubicada en la zona franca del Coyoil de Alajuela, la cual se dedica al sector de la industria de manufactura de dispositivos médicos.

1.2.1 Descripción general de la empresa

A continuación, se presentan datos que identifican a la empresa:

1.2.1.1. Misión y Visión de la empresa

La empresa ha definido su misión y visión como:

1.2.1.1.1. Misión:

“Mejorar la vida de las personas a través de innovaciones significativa” (Philips, 2020).

1.2.1.1.2. Visión:

“Nos esforzamos para hacer del mundo un lugar más saludable y sostenible por medio de la innovación. Nuestro objetivo es mejorar la vida de 3 mil millones de personas para el año 2025. Seremos el mejor lugar de trabajo para quienes comparten nuestra pasión. Juntos seremos capaces de brindar mayor valor a nuestros clientes y accionistas”. (Philips, 2020).

1.2.1.2. Ubicación geográfica

Philips Volcano se encuentra ubicado en la Zona Franca del Coyoil, en la provincia de Alajuela. Específicamente sus instalaciones se encuentran en el edificio B37, en la imagen No. 1 se muestra la imagen satelital de esta.



Imagen 1 Localización Satelital

1.2.1.3. Estructura organizativa de la empresa

Philips Costa Rica se encuentra conformado por el organigrama de la figura No.4, el cual se encuentra encabezado por la directora de operaciones de la región centroamericana, el segundo nivel es liderado por el director de operaciones en Costa Rica, el cual es el gerente de la planta. los siguientes niveles están conformados por los gerentes de SRC, Catéteres y “Wires”, de estos, cada uno administra los tipos de productos fabricados en Costa Rica.

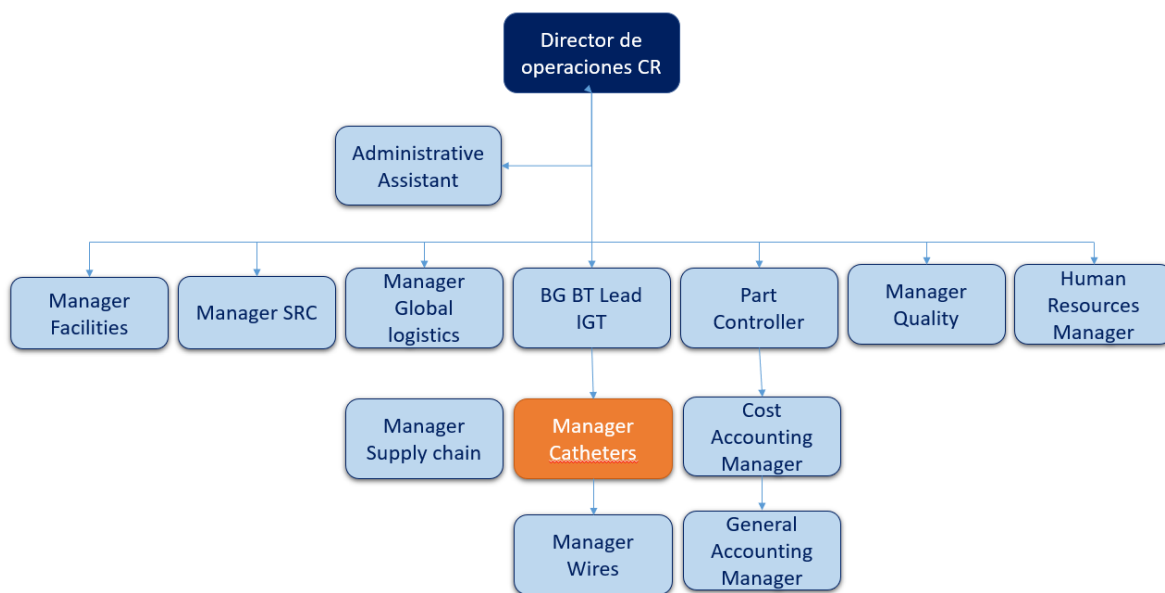


Diagrama 1 Organigrama Philips

En la diagrama No.1 se presentan los diferentes departamentos en los que se subdivide Philips Volcano, de estos, el presente proyecto se centrará en el departamento de sensores de capnografía y por esto, quienes se verán afectados

por el mismo serán la gerencia de catéter y todo el equipo y operarios relacionados con este departamento, esto ya que se comparten los Managers de las 2 áreas al ser un cuarto pequeño.

1.2.1.4. Cantidad de empleados

La empresa Philips Volcano cuenta actualmente con un total de 2412 colaboradores en la planta de El Coyol, estos están distribuidos de la siguiente manera:

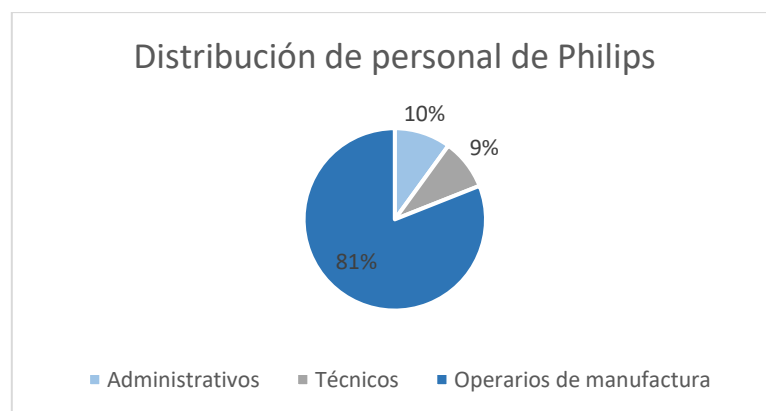


Gráfico 2 Distribución de Personal

Como se puede observar en el gráfico No.2 un 81% de los colaboradores de Philips son operarios de manufactura, correspondiendo este porcentaje a un total de 1954 personas, las cuales se distribuyen entre las 3 grandes familias que hay en Philips, de este total de operarios, 70 personas corresponden al área de JAVA, y 8 de estos pertenecen a las líneas de Source y Detector, estos serán quienes participaran de forma directa por el presente proyecto, estas personas se dividen en operarios, líderes y técnicos que son quienes tienen relación directa con el proceso.

1.2.1.5. Productos:

Las operaciones de Philips en Costa Rica se centran en la manufactura de 4 familias de productos. Estos son “Wires”, Catéteres (Sondas de ultrasonido), máscaras respiratorias y sensores de Capnografía. En el diagrama No.2 se muestra los diferentes productos de estas tres familias

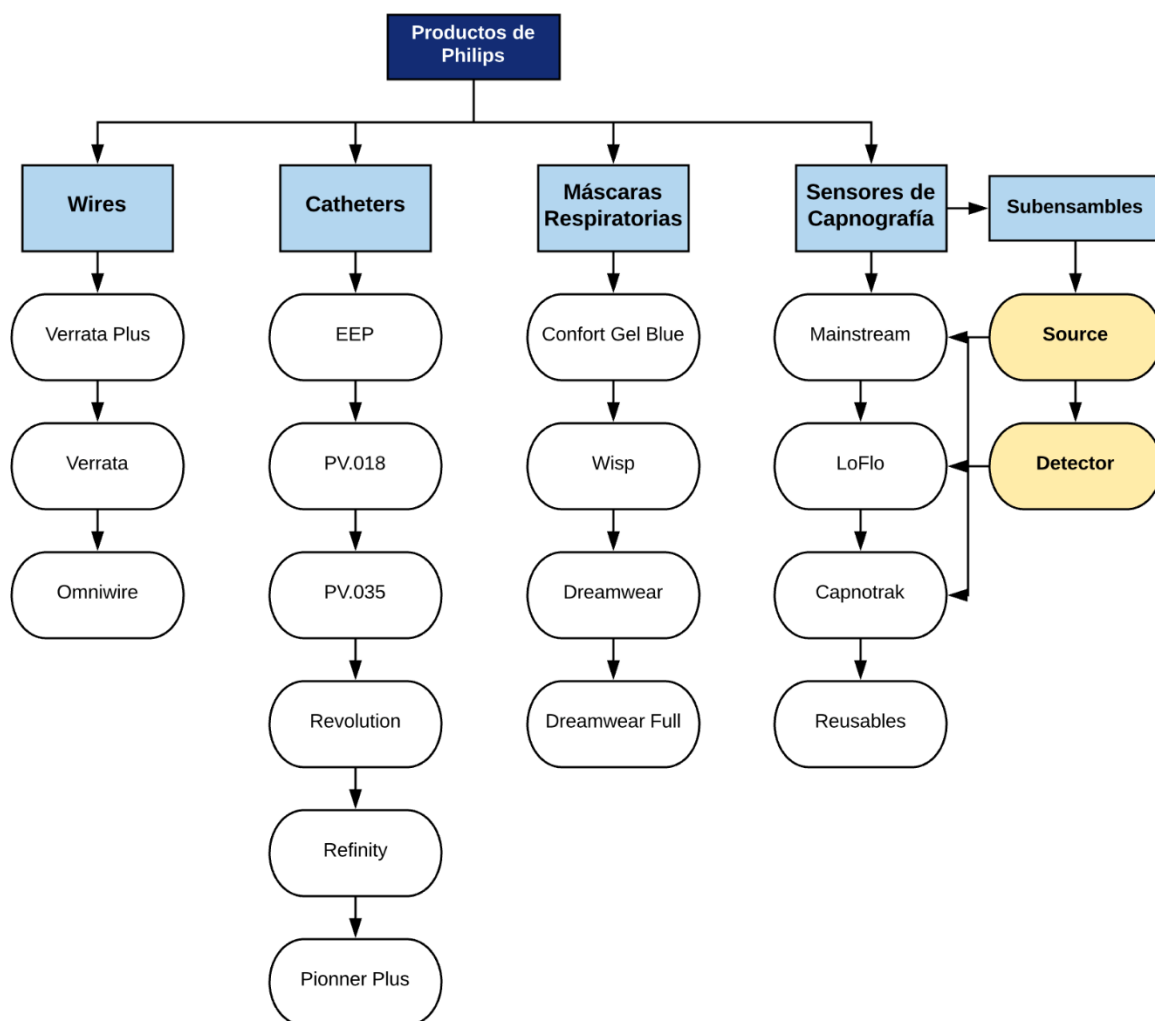


Diagrama 2 Productos de Philips

De estas 3 familias, el proyecto se desarrollará en el área de sensores de Capnografía, más específicamente en las líneas de subensambles Source y Detector.

1.2.1.6. Sensores de Capnografía

2 Los sensores de Capnografía brindan una representación gráfica de la ventilación del paciente a lo largo del tiempo, registrándose en el eje vertical la presión parcial del CO₂ (en mmHg) y en el eje horizontal el tiempo (en segundos).

1.2.1.7. Mainstream



Gráfico 3 Mainstream

1.2.1.8. LoFlo



Gráfico 4 LoFlo

1.2.1.9. Mercados de exportación

Los productos manufacturados por Philips Volcano en Costa Rica llegan a hospitales en diversas partes del mundo, por medio de sus 3 centros de distribución ubicados en Estados Unidos, Bélgica y Japón.

1.2.1.10. Descripción del proceso productivo

En la imagen No. 7 se presenta el diagrama de flujo del proceso de producción de los subensambles Source y Detector, de manera que se pueda dar una mejor comprensión de dicho proceso.

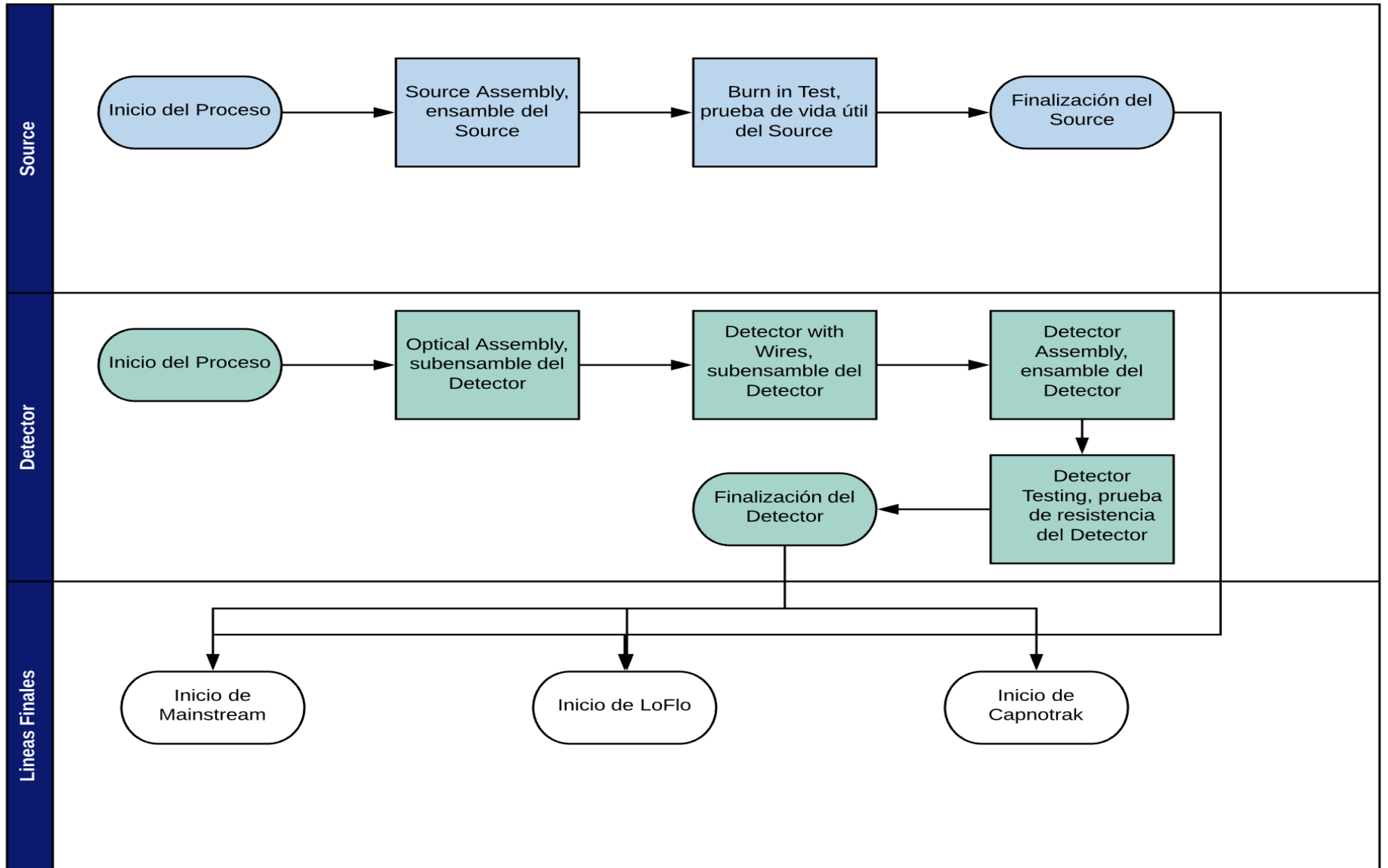


Diagrama 3 Proceso de Manufactura de Subensambles

En el diagrama No.3 se describe el proceso productivo de los Subensambles Source y Detector los cuales.

Como se puede observar Source posee una primera estación llamada Source Assembly, en esta estación se ensamblan todas las partes del mismo, la ventana, el plástico con ayuda del epoxy, luego de esta estación pasa directamente a Burn in Test, la cual es una prueba de vida útil que posee una duración de 16 horas, en esta estación se desechan las piezas que fallan la misma.

Por otro lado, Detector comienza con dos subensambles, Optical Assembly y Detector Welding los cuales suplen a la siguiente estación llamada Detector Assembly, donde los subensambles se unen a una pieza llamada Emitter dentro del plástico contenedor, luego de realizarse este ensamble pasa a la prueba Detector Testing, en donde se mide la resistencia del mismo y al igual que Source si el subensamble falla la prueba es desechado.

2.2.1 Antecedentes históricos de la empresa

En el año 1891 Frederik y Gerard Philips, debido al crecimiento de la industria eléctrica, fundaron la empresa Philips & Co. En Eindhoven, Holanda; la cual producía bombillas incandescentes de buena calidad y a buen costo. Cuatro años después Antón Philips, hermano de Gerard, Antón Philips, se unió a la empresa y con su estrategia comercial logró posicionar a Philips rápidamente como un líder a nivel mundial en la producción de bombillas eléctricas. En la imagen N.6 se puede observar un retrato de los hermanos Philips.

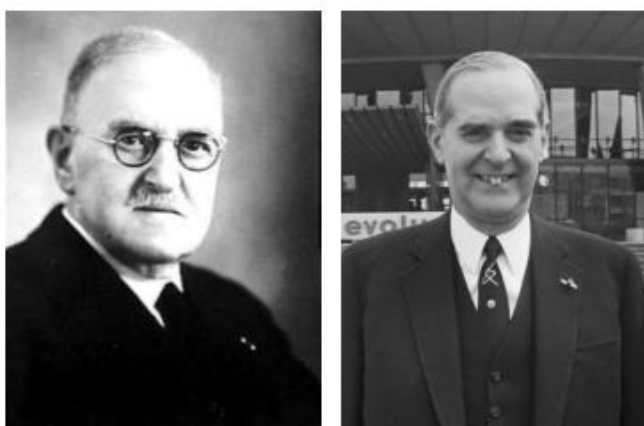


Imagen 6 Fundadores de Philips

En 1913 Philips establece su compromiso con la innovación creando “NatLab” un laboratorio de investigación donde se estudiaban diferentes fenómenos físicos y químicos para estimular el desarrollo de nuevos productos. A partir de ese momento Philips comenzó a diversificar su oferta de productos incursionando en 1918 en los equipos médicos con el tubo de rayos x. Para 1949 lanza el Sincrociclotrón que permitía la detección de tumores malignos.

A principios de los años 2000 Philips reforzó su enfoque en las áreas de salud y cuidado personal y para febrero de 2015 adquirió Volcano Corporation, líder en dispositivos de cirugía no invasiva e imágenes intravasculares. Volcano comenzó operaciones en Costa Rica desde noviembre de 2012 con cerca de 800 colaboradores, manufacturando dispositivos médicos como catéteres y cables guía.

Luego de la adquisición por parte de Philips, la planta ubicada en Costa Rica aumentó la cantidad de personal en la planta creciendo en más de un 100%, aumentando los volúmenes de producción y adicionando la línea de productos System Respironic Care de Philips.

En la imagen No. 7 se muestra la cronología de los principales hitos en la historia de Philips:

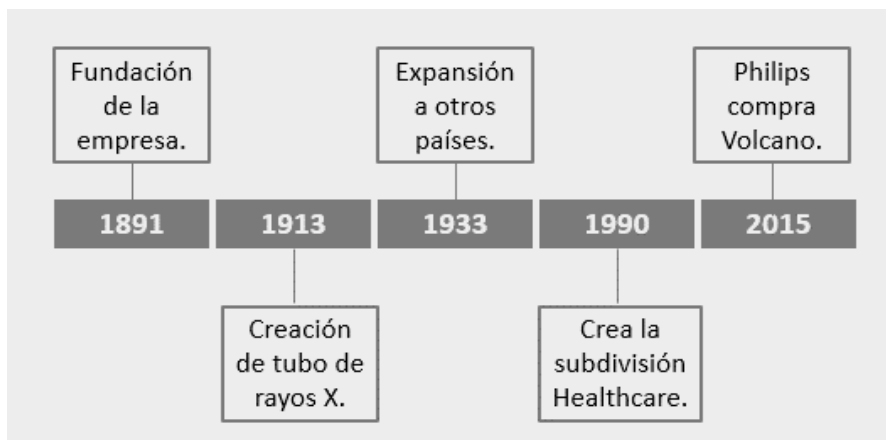


Imagen 7 Philips en el tiempo

A partir del 2019 se dio un aumento en la demanda debido a que este producto tuvo un mejor posicionamiento en el mercado y por esto, la demanda aumento de un promedio de 4592 unidades a 8065 por mes.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1. Idea del problema

El campo práctico donde surge la situación en Philips es JAVA, ya que posee una situación de carencia en relación con la cantidad de personas y estaciones de trabajo necesarias para cubrir la demanda futura.

1.3.2. Definición del problema

La oportunidad de mejora mapeada en este proyecto se formula por un aumento de demanda en el área JAVA de Philips a causa de la pandemia causada por el Covid-19, antes de comenzar con la pandemia, Philips se encontraba en un proceso de transferencia de las líneas finales: Mainstream, LoFlo, Capnotrak y Reusables; esto para lograr cerrar la planta de Wallingford ya que poseían problemas de calidad de producto por personal no calificado para esas operaciones.

Al ser tan exitoso el control de calidad que se lleva en Costa Rica con todos los demás productos médicos se procedió a enviar el área de manufactura de sensores de Capnografía, sin embargo, al diseñar el cuarto no controlado, no se tomó en cuenta un aumento de demanda tan abrupto, entonces la cantidad de estaciones de subensambles actualmente no pueden suplir la el Output necesario para correr las líneas finales.

Además, se considera que la línea de Subensambles Source posee un procedimiento muy extenso, el cual se puede mejorar para tener un cuarto más productivo y fluido.

La oportunidad detectada en este proyecto es la mejora de la productividad, Takt Time (Tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente) y el aumento de capacidad de cuarto mediante un estudio de tiempos para detectar cuantas estaciones más son necesarias para suplir la demanda y de movimientos para realizar un reacomodo del piso de producción.

Es necesario tomar en cuenta que, si no se logra manufacturar la cantidad necesaria para la fecha pactada, Philips Volcano Costa Rica puede perder clientes e incluso bajar sus ventas en un 65% (según el departamento de planning) pues en este momento las demás áreas de producción bajaron sus demandas hasta un 60%.

Entre los puntos críticos de realizar una mejora a este problema está la contratación de personal para suplir las estaciones nuevas ya que Philips Volcano Costa Rica no está en proceso de contratación a causa del Covid-19 y el aumento del CO2 que se pueda generar en el cuarto no controlado, ya que hay equipos de testeo de material sensible a este.

1.3.3. Justificación

En la actualidad todas las compañías deben estar en constante mejora, para poder ser competentes dentro del mercado global por tal razón sus procesos deben ser evaluados de acuerdo a las condiciones y requerimientos del mercado, si dentro de la compañía se presentan fallas en el proceso productivo que afectan el cumplimiento de los estándares de calidad de la organización, se deben tomar las medidas necesarias para poder mejorar y dar alternativas de solución a las dificultades que se presenten dentro del mismo.

La organización goza de un buen posicionamiento en el mercado y de una buena imagen, sus clientes se encuentran satisfechos con las características del producto que tiene en el mercado, sin embargo, el proyecto se desarrolla porque se pretende alcanzar la excelencia en un nuevo producto por implementar en Costa Rica, mediante la optimización de los procesos, con esto será posible realizar con efectividad y la productividad de sus procedimientos antes de ser lanzado al mercado, y aumentando su capacidad de producción para poder suplir las necesidades de sus clientes.

Lo que se busca con el estudio de tiempos y movimientos es estandarizar los tiempos de producción, teniendo en cuenta las clases de productos y las líneas en que se dividen; encontrar alternativas integrales de mejora, que ayuden a que el proceso sea más fluido y tanto los tiempos como los costos puedan disminuir, pensando siempre en el bienestar del trabajador y la calidad de los productos. Por esta razón, se busca principalmente es producir más piezas en un menor tiempo, y así generar mayor cantidad de output, por lo que es necesario la toma de tiempos y estandarizarlos, de esta forma se lleve un control de la producción. Por ende, el

estudio se realiza con la finalidad de establecer los mejores métodos de trabajo, con el fin de que el operador en cualquier tarea sea menor que el determinado actualmente, pero con mejor tiempo óptimo de producción y el estudio de movimientos principalmente para cumplir con la demanda actual y futura de esa familia de productos, siendo esto beneficioso para la compañía.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar la capacidad instalada, mediante un estudio de tiempos y movimientos en la industria de sub ensambles de dispositivos médicos en el departamento de JAVA de la empresa Philips, para el aumento de la productividad del proceso de producción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual de las líneas de subensambles Source y Detector para encontrar la causa raíz del no cumplimiento de la demanda.
- Mejorar el proceso de manufactura del subensambles en Detector para disminuir tiempo estándar y las causas de falla.
- Analizar el impacto económico de la solución.
- Crear un plan de seguimiento y control para la implementación del proyecto.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

La implementación del proyecto para aumentar la capacidad y la realización del estudio de tiempos se van a realizar en el segundo semestre del año 2020, en el área JAVA, únicamente en sus líneas de Subensambles Source y Detector las cuales alimentan todas las líneas finales del cuarto no controlado, esto permite lograr alcanzar el output óptimo para corresponder la demanda del COVID-19 y se beneficiará la empresa Philips Volcano Costa Rica.

1.5.2. Limitaciones

Philips Volcano Costa Rica restringió las contrataciones a causa del COVID-19, es una limitación ya que al aumentar la cantidad de estaciones de subensambles, no tenemos los operarios suficientes para suplir la línea.

El acceso restringido de proveedores a la empresa, ya que es necesario el uso de mesas especiales para línea de producción, sin embargo, se complica realizar el pedido de las mismas sin una visita para realizar la explicación y documentación necesaria para justificar la compra.

Por último, el aumento del CO2 en el cuarto al sobre poblar el mismo puede ser perjudicial en dos máquinas de testeo, las cuales son críticas para utilizar enviar o no a scrap (desechar) la pieza.

Capítulo II. Marco Teórico

En el presente capítulo se muestra una recopilación de consideraciones teóricas en las que se sustenta el proyecto actual.

2.1 Marco Conceptual general relativo de la carrera

La presente sección consiste en una síntesis, producto de la lectura y revisión de conceptos o conocimientos provenientes de varias fuentes de modo que constituye un conjunto de conocimientos ya existentes, para situar el problema y fundamentar el resultado producto del análisis.

2.1.1. Lean Manufacturing

Antes de definir el concepto de lean manufacturing se debe hablar de las “mudas”, palabra japonesa que significa despilfarro “toda actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor” (Wokmack, J., 1992). En la metodología lean se describen 8 mudas básicas que son:

- Defectos de producción
- Sobreproducción
- Exceso de inventario
- Esperas
- Transporte
- Movimientos innecesarios
- Reprocesos
- Desaprovechamiento del talento humano

Los ejecutivos de Toyota introdujeron Sistema de Producción Toyota (TPS) para combatir las “mudas”, estableciendo el concepto “Lean”, el cual consiste en “un método de hacer más y más con menos y menos, menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio, al tiempo que se acerca más y más a ofrecer a los clientes aquello que quieren exactamente.” (Wokmack, J., 1992)

2.2 Marco Conceptual ateniende a la gestión del proyecto

Este proyecto se realizará bajo la metodología DMAIC, que según Henshall, A. (2017). “Es un ciclo de mejora basado en datos, diseñado para ser aplicado a los procesos de negocios para encontrar fallas o ineficiencias. El objetivo de emplear DMAIC es mejorar, optimizar o estabilizar los procesos existentes”. Sus siglas pertenecen a los nombres en inglés de las 5 etapas por las que se conforma el ciclo, estas son:

2.2.1. **Definir:**

Esta etapa se puede interpretar como la declaración del problema que según Kubiak, T.M. (2009). “La declaración del problema debe ser una explicación concisa de un estado actual que impacta negativamente en la empresa. En muchos sentidos, la fase de definición del problema es la fase más importante del ciclo”.

2.2.1.1. Project charter

Esta será la etapa donde se desarrollará los alcances y limitaciones del proyecto, de manera que la herramienta más oportuna para abarcar el inicio de esta fase, será el *Project Charter*, el cual permite delimitar el proyecto y sentar las bases para el éxito del mismo, lo cual requiere establecer su objetivo, la forma de medir su éxito, los beneficios potenciales y las personas que intervienen. Según Garro (2016), “La declaración del proyecto es un documento que comprueba que hay un acuerdo entre el champion y el equipo sobre lo que se espera del proyecto. Un buen charter debe pasar por varias etapas de discusión mientras se clarifican las expectativas.”

2.2.1.2. Stakeholder

En esta etapa además se agrega la matriz Stakeholder, la cual es utilizada para determinar los entes internos y externos que se verán afectados por el desarrollo y resultado del proyecto. (Garro, 2016)

2.2.1.3. Diagrama de Gantt

“El diagrama de Gantt muestra cuando cada actividad de un proyecto inicial y termina sobre una escala de tiempo horizontal”. (Milosevic, 2003). Al igual que la matriz RACI este diagrama nace de las actividades del WBS, en este caso se utiliza para saber cuándo se debe completar cada actividad y cuánto tiempo se tiene para hacerlo.

2.2.2. **Medir:**

En esta etapa según Prieto “el equipo decide cómo va a medir el proceso, que variables serán objeto de la medición, que equipos y métodos de medición serán empleados. El resultado de esta etapa es el cálculo de la capacidad real del proceso, es decir la proporción de veces que el proceso arroja resultados considerados como aceptables.” (Prieto, 2010) Lo cual se llevará a cabo mediante la herramienta de análisis de capacidad instalada, esta será vital para realizar el análisis de la situación actual de tal forma que sea posible plantear las soluciones al problema.

2.2.2.1. Plan de recolección de datos

Según Garro E. (2016) Un plan de recolección de datos es una herramienta que permite identificar preguntas que quiere contestar el equipo, así como nombre de los datos requeridos, definición operacional de los datos, medidas relacionadas o segmentación, e indicar donde se llevará a cabo, cuando, quien y como.

2.2.2.2. Estudio de tiempos

Primeramente, para poder medir el problema en estudio, es necesario realizar un *estudio de tiempos*, este es la base fundamental para el análisis de capacidad, por lo que no debe tomarse a la ligera. Siendo así, se han establecido diferentes métodos en el estudio de estándares, entre ellos el estudio de ciclos continuos.

Según Niebel, la ventaja del estudio con el método continuo es que “es un registro completo de todo el periodo de observación” (1999). General Electric desarrolló una tabla para establecer tamaños de muestra facilitando el proceso de muestreo, esta tabla se realizó considerando la duración de la operación, esta tabla se presenta en la tabla No. 2.

Tiempo de ciclo en min	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Tabla 2 Numero de muestras recomendadas por del tiempo de ciclo

Fuente: Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo

Kanawaty describe este método como; “Una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea” (1996). Con un estudio de tiempos obtenemos los tiempos de ciclos que nos permiten establecer un estándar para cada operación de un proceso. Para ello se debe determinar el tamaño óptimo de muestra que nos asegure un estudio adecuado.

Niebel presenta una manera sencilla para calcular tamaños de muestra a partir de una muestra preliminar y aceptando el supuesto de que los datos se comportan bajo una distribución de probabilidad normal se utiliza el cálculo del intervalo de confianza (por lo general de 95%), para obtener lo siguiente:

1

Donde:

T: Es el valor de la distribución z para una probabilidad de $\alpha/2$)

s: La desviación estándar de la muestra preliminar

k: Error del promedio de la muestra preliminar
 : Promedio de la muestra preliminar (1999)

2.2.2.3. 2.3 Tiempo estándar

Para el cálculo del tiempo estándar Niebel presenta el siguiente procedimiento, en el que primero se debe calcular el tiempo medio observado (TMO) para cada operario. Una vez se tenga este, se debe calcular un tiempo normal, de esta manera el analista califica desempeño que realiza el trabajador a quien se está cronometrando, y se calcula de la siguiente manera:

$$2$$

Donde C es una calificación que se atribuye de forma imparcial al operario, finalmente deben añadirse las tolerancias por necesidades personales, fatiga y paros inevitables, obteniendo el tiempo estándar con la expresión:

$$3$$

2.2.3. Analizar:

Según Henshall, A. (2017). “El paso de análisis es donde tenemos que profundizar en los procesos existentes y descubrir las causas profundas de los problemas”. Para profundizar el problema se hace uso de distintas herramientas, primeramente, un análisis de causa raíz, aparte de esto se analiza la capacidad instalada y sus métricas, así como la simulación del proceso y su actual layout.

2.2.3.1. Análisis causa raíz:

“Para mejorar la eficiencia y rentabilidad, necesitamos observar más allá de la superficie de la raíz del problema o situación, observando el efecto (el cual solamente es el síntoma) de un problema, y deduciendo qué lo ha causado. Se pueden crear soluciones preventivas que deberían poner fin al problema, a fin de entender la fuente del problema, por lo tanto, se tendría que desarrollar un análisis de causa raíz”. Acosta, J. Soler V. Molina, A. (2017). Se dice que para poder desarrollar este análisis se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Definir el problema
2. Entender el problema
3. Implementar acción inmediata
4. Implementar acción correctiva
5. Confirmar la solución

2.2.3.2. Gemba Kaizen

La palabra “Gemba” significa lugar de trabajo, mientras que “Kaizen” hace referencia a mejora continua, por lo tanto, se entiende como Gemba Kaizen la mejora de las condiciones en el lugar de trabajo, es una herramienta que permite mejorar la eficiencia, aprovechamiento de recursos y mejorar los métodos de producción. (Rizkbadr, 2018).

Gemba Walks

En una traducción literal se trata de una caminata por el lugar de trabajo para así entender la manera en la que se está desarrollando el trabajo, hacer preguntas y aprender. Ahuja. L. (2014). Dice “Ir al Gemba te permite identificar actividades y procesos que no agregan valor, identificar cuellos de botella, fuentes de desperdicio, deficiencias en los procesos y condiciones inseguras o inapropiadas; mejor aún, te ayuda a entender el trabajo, los procesos, las dinámicas; te ayuda a identificar riesgos y oportunidades”. En estas caminatas algo muy valioso es conversar con los colaboradores, ya que quién conoce mejor la operación será el operario que realiza ese trabajo todos los días.

2.2.3.3. Takt Time

Este proyecto expone un aumento de la demanda, que provoca una capacidad insuficiente, por lo que es importante considerar el takt time de manera que oriente si la razón de esta falta de capacidad es debido a un tiempo de ciclo menor al que indica el takt time. Suñé et al., (2004) indica que:

El takt time relaciona la demanda de los clientes con la disponibilidad del tiempo productivo. El takt time mide el ritmo al cual deberíamos producir para satisfacer la demanda del cliente de forma exacta, de modo que representa un umbral de ritmo de producción. Si se produce a un ritmo menor (más lentamente, con un tiempo de ciclo inferior al takt time) lo que ocurrirá es que nunca alcanzaremos la cantidad demandada y como resultado parte de la demanda quedará insatisfecha (p.97).

4

2.2.3.4. Balanceo de línea

Meyers F., (2000) afirma que “el objetivo del balanceo de línea de ensamble es dar a cada operador, en la medida de lo posible la misma cantidad de trabajo. Esto solo se consigue dividiendo la tarea en los movimientos básicos con que se efectúan todos los elementos de trabajo y reuniendo las tareas en trabajos con prácticamente la misma duración.”

Rajadel M., Sánchez J. (2010) Indican que a partir del tiempo de ciclo y del takt time se puede calcular teóricamente, el número de operarios o de estaciones de trabajo necesarios para satisfacer la demanda de los clientes.

.....5

2.2.3.5. Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo hace referencia al tiempo que se toma completar cada una de las operaciones para la fabricación de una unidad de Source y Detector. Suñé et al., (2004) define el tiempo de ciclo como: “el tiempo que transcurre entre la producción de dos unidades consecutivas en un proceso productivo.”

Con el número de estaciones se obtiene el tiempo de ciclo promedio que tardaría una pieza en ser procesada en cada operación y se calcula de la siguiente manera:

.....6

2.2.3.6. Porcentaje de utilización

El porcentaje de utilización dice “qué tanta ocupación tiene cada estación de manufactura en comparación con la más ocupada.” (Meyers y Stephens, 2006). El cálculo de la utilización es el siguiente:

...7

Un valor recomendable para la utilización de una estación es entre 80% y 90% ya que brindan cierta holgura al operario, considerando inconvenientes no previstos en la operación.

2.2.3.7. Capacidad instalada

Según Ferrari. A. (2018) “La máxima capacidad de producción, recibe el nombre de capacidad instalada de un negocio se mide a través de la máxima cantidad de unidades de un producto o servicio que son posible generar en un lapso en particular”

La capacidad real de la línea dependerá de la cantidad de estaciones de cada operación, del tiempo de ciclo, del porcentaje de entrenamiento de la persona que realiza la operación, del tiempo total disponible (jornada total menos paros por comida, estiramientos y demás) y por supuesto del yield de la estación que se puede entender como un porcentaje de rendimiento que se calcula de la siguiente manera:

8

2.2.4. Mejorar:

Según Gutiérrez, (2010) “El objetivo de esta etapa es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíz y asegurarse de que se corrija o atienda el problema. Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las siguientes herramientas: lluvia de ideas, técnicas de creatividad, hojas de verificación, diseño de experimentos, poka yoke, etc. La clave es pensar en soluciones que ataquen la fuente del problema (causa) y no el efecto.”

2.2.4.1. Simulación

En esta etapa se desarrollan las propuestas de solución, se evalúa cual es la mejor para luego implementar dichas ideas de mejora y se mide el efecto que tiene estas soluciones en las métricas del proceso, para esto es importante realizar pruebas piloto, las cuales se pueden llevar a cabo mediante herramientas de simulación, la cual es definida según Banks Jerry (1999) como:

La imitación de la operación en el mundo real del proceso o del sistema en tiempo fuera. La simulación implica la generación de un sistema artificial, lo que permite sacar inferencias sobre las características de la operación en la representación del sistema real. Es una metodología de resolución de problemas indispensable para muchos de las situaciones del mundo real. Esta es utilizada para describir y analizar el comportamiento del sistema, realizando la pregunta “¿Qué pasaría?” sobre el sistema real.

2.2.4.2. Layout

Según Platas J. y Cervantes M., (2014) El término Layout es una palabra del inglés que puede interpretarse como disposición o plan para plasmar y representar en un plano las diferentes áreas que conforman una planta o negocio, ya sea recepción de materia prima, almacén, operación, control e inspección de calidad, patios de maniobra, estacionamiento y otros. Esta herramienta es útil para mostrar el acomodo actual del cuarto limpio y los movimientos requeridos para llevar a cabo las operaciones de manera que se identifiquen oportunidades de mejora.

2.2.4.3. Análisis financiero

Una vez validada la mejora por el sistema de simulación, es necesario realizar un análisis financiero de la misma, que demuestre que no solo es una propuesta que trae mejoras al proceso, sino que también es rentable, estos conceptos se pueden visualizar a continuación.

VAN

“El Valor Actual Neto (VAN) se suele definir como el valor actual de los flujos de caja esperados, entendiéndose por flujos de caja el flujo de ingresos y egresos en efectivo”. (Rodríguez, 2002). Para que un proyecto sea financieramente factible el criterio de aceptación para el VAN es que sea mayor que cero y en caso de evaluar varias alternativas la más rentable es la que tenga un VAN mayor. El cálculo del VAN está dado por la siguiente formula:

9

Donde “k” es la tasa de descuento o la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) que define el inversionista y se asume constante durante el periodo “n” de evaluación del proyecto

TIR

Según Pinto, (2015) La tasa interna de retorno es un método alternativo para la evaluación de los gastos y los ingresos previstos asociados a una nueva oportunidad de inversión. El método TIR responde una simple pregunta: ¿qué tasa de retorno podrá ganar el proyecto? Con este modelo el proyecto debe de cumplir con una tasa requerida “atractiva” que se aplica a todos los proyectos considerados.

10

2.2.5. Controlar:

Gutiérrez, (2010) afirma lo siguiente, “Una vez que se alcanzaron las mejoras deseadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas y se cierra el proyecto. Muchas veces esta etapa es la más dolorosa o difícil, puesto que se trata de que los cambios hechos para evaluar las acciones de mejora se vuelvan permanentes, se institucionalicen y generalicen. Esto implica la participación y adaptación a los cambios de toda la gente que participa en el proceso, lo que puede tener sus resistencias y complicaciones. Al final de cuentas, el reto de la etapa de control es que las mejoras soporten la prueba del tiempo.”

2.3 Marco Conceptual referente al impacto del proyecto

Philips Volcano es una empresa dedicada a la producción de dispositivos médicos que según la organización mundial de la propiedad intelectual (2012) “Son dispositivos que desempeñan una función fundamental en la prevención, diagnóstico, el tratamiento y atención de enfermedades”, como ya se ha mencionado, en Philips sus dispositivos se dividen en tres grandes familias, estas son:

2.3.1. Mascaras respiratorias:

Estas funcionan para tratar los problemas de las personas que sufren de apnea del sueño que, según Olivi, H. (2013). “Se caracteriza por episodios repetidos de obstrucción parcial o completa de la faringe durante el sueño, que provocan hipoxia seguida de re-oxigenación y despertares transitorios, responsable de las alteraciones fisiopatológicas y síntomas, que, aunque inespecíficos, son muy sugerentes”. A como lo dice Olivi la apnea es un problema respiratorio que puede causar muchos malestares a quién lo padece, puede aumentar el riesgo de enfermedades coronarias, pueden experimentar dolor de cabeza, somnolencia, irritabilidad, cansancio, fatiga crónica y desconcentración, además la falta de oxígeno puede afectar órganos vitales, todo esto debido a que se experimentan asfixias lo que provoca que el sueño se vea continuamente interrumpido durante la noche.

Es por esto que las máscaras respiratorias ayudan a la persona a respirar y a que su sueño sea continuo y reparador, de manera que no se den los cuadros normales de asfixia que genera la apnea del sueño.

2.3.2. Wires:

Su traducción al español es cable y realmente eso es lo que son, son cables guía que ayudan al doctor para poder direccionar el catéter que se vaya a utilizar para el procedimiento.

2.3.3. Catéteres:

Son un tipo de dispositivo que se introduce en la vasculatura para introducir o extraer sustancias del cuerpo, se utilizan mayormente en las arterias o venas, existen muchos tipos de catéteres estos pueden ser endovasculares de diagnóstico o de tratamiento.

Entre los de tratamiento se encuentran los de cruces de lesiones y los de soporte. Y en los de diagnóstico se pueden mencionar los de sondas de ultrasonido y los de sondas lumínicas.

En philips los catéteres que se producen son de diagnóstico, más específicamente son sondas de ultrasonido ultra vascular o mejor conocidas como IVUS con sus siglas en inglés. Según Rodríguez, E. (2020). Mediante una entrevista personal dice que “El IVUS se utiliza cuando un doctor quiere comprobar la morfología de una arteria o mejor dicho “observar la arteria por dentro”. Permite ver el tipo de lesión que puede tener la arteria, si esta tiene algún tipo de obstrucción, de que tipo es esta, si hay alguna capa muscular rota o si existe algún tipo de disección”.

2.3.4. Overtime:

Es un término en inglés utilizado para hacer referencia al tiempo extra o a las horas extras requeridas para poder satisfacer la demanda.

2.3.5. Sensores de Capnografía:

Los sensores de Capnografía brindan una representación gráfica de la ventilación del paciente a lo largo del tiempo, registrándose en el eje vertical la presión parcial del CO₂ (en mmHg) y en el eje horizontal el tiempo (en segundos).

2.3.6. Matriz RACI

Por lo anterior es importante que se realice un plan de implementación con la especificación de las tareas y mediante una matriz RACI determinar los

responsables de cada una de las estas, de manera que sea posible mantener el cambio y enfocarlo a la mejora.

El objetivo de esta etapa es implementar la mejora continua de los proyectos, además de que busca que los procesos se mantengan estables y capaces. Salazar, B. (2019). Dice que “cuando la capacidad de un proceso es alta, se dice que el proceso es capaz, cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que el proceso está bajo control, cuando no ocurre esto se dice que el proceso no es adecuado para el trabajo o requiere de inmediatas modificaciones. Por tanto, se puede decir que un proceso es capaz cuando cumple con las especificaciones y, por ende, no requiere de esfuerzos inmediatos y se dice que es estable cuando las variables clave se mantienen constantes en el tiempo.

2.3.7. Plan de gestión de riesgos

Todo proyecto es susceptible a riesgos que pueden afectar el costo, el tiempo o el alcance del proyecto, por eso es importante identificarlos junto con la severidad y la probabilidad de ocurrencia de cada uno, así como la acción a tomar en caso de que suceda. Para esto se utilizará la herramienta de planificación de gestión de riesgos, la cual es definida por PMBOK (2017) como: “El proceso de definir como realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto. El beneficio clave de este proceso es que asegura que el nivel, el tipo, y la visibilidad de gestión de riesgos son proporcionales tanto a los riesgos como a la importancia del proyecto para la organización y otros interesados.”

La figura No. 8 muestra un esquema de la información que es necesaria para poder llevar a cabo un plan de gestión de riesgos por medio de ciertas herramientas, de manera que se facilite prever aquellas situaciones que puedan presentarse durante la implementación de las mejoras.

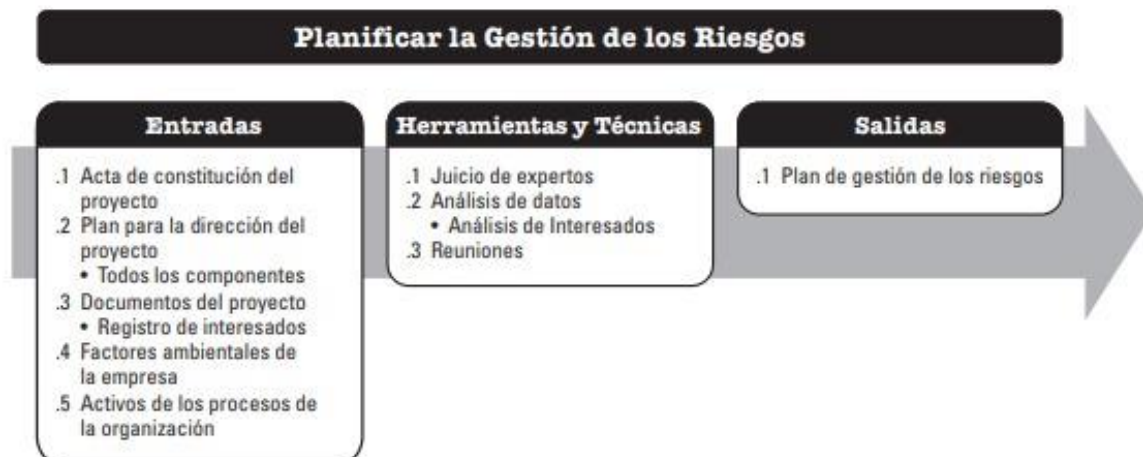


Gráfico 8 Esquema de planificación para la gestión de riesgos

Fuente: Imagen extraída del Libro PMBOK (2017)

Sección 2.4 Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes

Los únicos antecedentes que hay en Philips Costa Rica no son directamente al cuarto de JAVA ni sensores de Capnografía, esto ya que JAVA es un cuarto de transferencia de Wallingford USA.

Al ser una transferencia recién hecha no hay ningún proyecto de mejora de sus líneas en Costa Rica, cabe destacar que este proyecto es el inicial en JAVA.

Capítulo III. Marco Metodológico

1.2 Metodología para la definición del problema

Este capítulo contiene la metodología empleada para aumentar la capacidad de las líneas de Subensambles de JAVA, se enlistará las herramientas utilizadas en cada una de las etapas de la metodología, de esta manera se obtendrán las entradas y salidas deseadas.

A. Definir

B. Realizar la declaración del proyecto

Con esta herramienta se dejó claro la visión global del problema en estudio, además se definió quienes son los miembros del equipo, así como los alcances y limitaciones el estudio, y se estableció una meta que le dio un enfoque al proyecto.

C. Reconocer los involucrados del proyecto

En el reconocimiento de involucrados se requirió del uso del análisis de Stakeholder, de manera que analizando individualmente a cada involucrado según su poder y su interés, se estableciera aquellos involucrados a quienes se les debe de informar y tomar parecer sobre los avances y las decisiones que se tomaran en relación con el proyecto.

D. Definir un cronograma de actividades

Para llevar una adecuada planificación del proyecto se elaboró un diagrama de Gantt, el cual fue útil para a partir de las fases de la metodología DMAIC, determinar las actividades que se iban a desarrollar y el tiempo establecido para cada una de ellas.

E. Recopilar datos del aumento de la demanda

El problema nace por un aumento de la demanda específicamente del periodo 2020, por esta razón el paso número 1 fue determinar el cambio que hubo y así

conocer cual producto tuvo mayor aumento, de tal forma que el análisis se volviera cada vez más específico.

En esta etapa de definir se logra obtener los datos del cambio en la demanda, se definen las etapas del proyecto, así como las fechas definidas para cada una de estas etapas, se logra conocer los datos del problema del estudio, alcances y limitaciones del estudio, equipo involucrado en el proyecto, mediante la definición del proyecto con la herramienta del Project charter, así como los involucrados mediante la matriz de involucrados.

Como se muestra en el siguiente cuadro, se dividió cada actividad de la etapa de definir con un mismo objetivo.

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas por utilizar	Resultados esperados
Definir	Definir el problema a ser tratado para el planteamiento de una estrategia de solución	Realizar la declaración del proyecto	Project Charter	Presentación más clara del proyecto
		Definir las etapas a realizar y sus posibles fechas	Diagrama de Gantt	Contar con un cronograma de actividades
		Solicitar datos del aumento en la demanda 2020	Entrevista al departamento de planning	Demanda del 2020 para las líneas de subensambles

Tabla 3 Definir

1.3 Metodología para la medición y respaldo cualitativo de proyecto

F. Medir

1. Establecer un plan de recolección de datos

La etapa de medición del problema se inició con un plan de recolección de datos, este se abarcó por medio de una tabla que consta de 5 columnas compuestas por: una pregunta que se quiere contestar, en este sobre el problema en cuestión,

seguidamente el nombre del conjunto de datos que se recolectarían, la tercera columna contendría la definición de la operación, esta presentaría la definición explícita de lo que abarca esta fase, la cuarta columna contiene la medida relacional esto es, si los datos son muestrales o poblacionales. Finalizando con la columna en donde se indicaría el cómo, cuándo, dónde y quien recolectaría los datos.

2. Realizar un muestreo para la toma de tiempos

Se realizó un muestreo con 50 muestras en total, 25 muestras por persona, las mismas contaban con un plazo mayor a 3 meses de estar certificados en la operación para asegurar que no se encontraban dentro de la curva de aprendizaje, de esta manera se determinó el valor del tiempo estándar de las operaciones, y así se pudo conocer la cantidad de unidades que se pueden producir por hora en cada una de las operaciones, base para conocer la capacidad de la línea. Además, se calculó el valor del error de los datos a partir del valor del tiempo promedio de la operación y de la desviación estándar de los datos recolectados mediante la fórmula 1 presente en el marco teórico

3. Determinación de las horas operario actuales

Para poder realizar el análisis de la capacidad instalada de la línea es necesario conocer el tiempo efectivo de los operarios, para esto, se analizó la cantidad de horas diarias trabajadas, los turnos disponibles, y las deducciones del tiempo total del trabajador debido a actividades ya preestablecidas como lo son las comidas, los estiramientos, las reuniones de la línea y más.

4. Medir la capacidad real de la línea

Mediante una plantilla realizada en Excel se logra establecer cuál es la capacidad real de la línea teniendo en cuenta el tiempo estándar de cada operación, el takt time establecido por la demanda, el flujo de línea que hace referencia al tiempo en que la operación podrá entregar una pieza a la siguiente estación de

acuerdo con el tiempo que dura la operación, la cantidad de recursos disponibles, la utilización de estos recursos, así como el porcentaje de yield de la operación.

Con esto, se puede conocer la cantidad de unidades que se pueden producir de acuerdo con el tiempo disponible siendo esta la capacidad real ya que se le incluye la afectación que genera cada uno de los diferentes factores en el flujo del material.

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas a utilizar	Resultados esperados
Medir	Establecer un plan de recolección de datos	Desarrollar un plan de recolección de datos	Una plantilla en Excel	La definición más puntual de cómo se recolectarán los datos requeridos para el análisis de la capacidad de la línea
		Realizar un muestreo de los tiempos	Toma de tiempos, uso de Excel para el cálculo del error, el valor de n y del tiempo estándar	Conocer el tiempo estándar de las operaciones y todos los datos relacionados a este (Tiempo normal, desviación estándar, valor del error de los datos y más)
		Determinar el tiempo total disponible de acuerdo con los turnos activos en la línea y las deducciones en el tiempo efectivo	Plantilla de Excel y entrevista con el supervisor de producción de la línea	Conocer todas las deducciones en el tiempo disponible y por tanto, el tiempo efectivo de manufactura

		Calcular la capacidad real de la línea	Análisis de capacidad y entrevista con supervisor de la línea para comprobar los datos obtenidos a partir del análisis de capacidad	Capacidad instalada actual de la línea de producción
--	--	--	---	--

Tabla 4 Medir

1.4 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio

G. Analizar

5. Análisis del flujo del proceso

Primeramente, para poder realizar el análisis del proceso es fundamental poder conocer como es el flujo de este, es por esto que se realiza un diagrama de espaguetis donde se muestran los recorridos del proceso, así como las distancias recorridas en el mismo.

6. Análisis de capacidad instalada

Al realizar un análisis a partir de la capacidad medida se puede determinar cuál es la utilización de los recursos, si esta se puede mejorar y ayuda a encontrar los puntos críticos que se deben de mejorar para poder optimizar el flujo de la línea y se pueda cumplir con la demanda requerida con la mejor utilización posible de los recursos y se logre disminuir el costo de producción.

7. Diagrama de Ishikawa:

Con esta herramienta se mapearán todas las causas de la no capacidad encontradas en el proceso de manera que se puedan generar propuestas efectivas a los mismos.

Mediante la etapa de análisis se logra analizar el flujo del proceso para conocer el funcionamiento de este, se obtienen los datos de la capacidad de la línea de producción, las condiciones de cada una de las operaciones, como lo es la utilización de los recursos. Además, se desarrolla un diagrama de Ishikawa mediante el cual se logran conocer las causas del problema planteado.

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas por utilizar	Resultados esperados
Analizar	Determinar las causas que están generando la diferencia entre la capacidad instalada y la demanda	Analizar el flujo del proceso	Diagrama de Espaguetis	Conocer cuál es el flujo del proceso en la línea de producción
		Analizar el flujo de la línea con respecto al takt time establecido por la demanda, para de esta manera determinar cuáles son los cuellos de botella, la capacidad de cada operación y demás factores influyentes en el cumplimiento de la demanda.	Análisis de capacidad	Conocer las principales causas del no cumplimiento de la demanda.
		Analizar la utilización de los recursos disponibles en la línea.	Análisis de capacidad	Conocer la utilización de los recursos para poder generar soluciones que optimicen la utilización de estos.
		Analizar las posibles causas de la no capacidad de la línea, o los factores que más	Ishikawa	Conocer las causas principales que afectan la capacidad de la línea

		influyen en la misma		
--	--	----------------------	--	--

Tabla 5 Analizar

1.5 Metodología para la implementación del proyecto

H. *Mejorar*

8. *Mejora de la capacidad de las líneas de subensambles Source y Detector.*

Mediante una inversión en la cual se analizarán el índice del VAN y el TIR se mejorará la capacidad del cuello de botella actual de las líneas.

9. *Balanceo de línea*

Se analizó el proceso y se reacomodaron los recursos disponibles de manera que no se encuentren diferencias muy grandes con respecto a la utilización de estos y se aprovechen al máximo respetando la ley del 85% de utilización y mejorando los costos de mano de obra del proceso.

10. *Simulación del proceso*

Se realizó una simulación del proceso con las propuestas planteadas, tomando en cuenta el flujo y la secuencia de las operaciones, la cantidad de estaciones, los tiempos de cada estación, entre otros. Para de esta manera validar los resultados esperados al implementar dichas propuestas.

Para implementar una simulación existen pasos de una metodología que se deben de seguir. Según Banks, J, (1999) estos pasos son los siguientes:

1. Formulación del problema: El problema a resolver con la simulación es conocer cuál es la capacidad de la línea luego de la implementación de las propuestas

2. Construcción del modelo: Se desarrolló primeramente un modelo para poder conocer cuál era el flujo y demás factores que iban a influir en los resultados esperados, así como la determinación de los supuestos a como los son el tiempo de arribo de las unidades, estos se muestran en la figura 29 y se refieren a los tiempos de takt time de los subensambles.
3. Adquisición de datos, estos datos se obtuvieron a partir de la toma de tiempos realizada, además de entrevistas y demás para poder conocer datos como los porcentajes de yield.
4. Traducción del modelo: El modelo de simulación para el desarrollo computarizado.
5. Verificación: La verificación de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones se verificaron con el equipo de producción.
6. Validación: Esta validación se dio al verificar los datos con producción, además el programa de Arena es un programa ya validado.
7. Planeación estratégica y táctica: Para esta etapa se realiza el cálculo del requerimiento de réplicas para cumplir con cierto nivel de error establecido, además de otras condiciones experimentales requeridas.
8. Experimentación: Cuando se ejecuta el modelo en cada una de las propuestas se logra obtener la salida de unidades producidas en cada una de las operaciones, así como otros resultados de los contadores como lo son los valores de scrap y de utilización de los recursos.
9. Análisis de resultados: Acompañado a la figura con la salida de arena para cada propuesta se da un análisis de los resultados obtenidos a partir de la simulación.
10. Implementación y documentación: Luego de correr la simulación se documenta en la aplicación de teams en una carpeta donde se encuentran todas las simulaciones con las que se cuenta en la empresa de manera que la empresa la pueda utilizar si se tuviera la necesidad en el futuro.

Mediante la etapa de mejorar se logra obtener el planteamiento de 2 soluciones que conjuntas se obtiene un mayor flujo y una capacidad mayor en el cuarto de producción, como se puede observar en el siguiente cuadro

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas por utilizar	Resultados esperados
Mejorar	Diseñar diferentes alternativas de solución mejorando la capacidad de la línea con la optimización de la utilización de los recursos.	Diseñar una propuesta para eliminar el cuello de botella que afecte en mayor medida la capacidad de la línea	Cotizaciones, índice de VAN y TIR	Aumentar la capacidad de las líneas instaladas de subensambles para poder surtir las líneas finales.
		Proponer soluciones a las operaciones que se encuentran sobre utilizadas	Balanceo de línea	Colocar las cantidad de estaciones necesarias para cumplir con la demanda futura.
		Realizar un Layout acorde al flujo del cuarto	Autocad	Colocar estaciones nuevas de manera a que no se pierda el flujo del cuarto

Tabla 6 Mejorar

1.6 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados

I. Controlar

11. *Establecimiento de un cronograma de actividades*

A través de un diagrama de Gantt se determinaron las acciones que componían la ejecución de las propuestas y el tiempo requerido para cada una de ellas.

12. *Determinación de los responsables de cada área*

Por medio de la matriz RACI se establecieron las personas responsables de la ejecución de cada actividad.

13. *Identificación de los posibles riesgos*

Se diseñó un plan de gestión de riesgos, definiendo los criterios de posibilidad de ocurrencia y su respectivo impacto, según el riesgo previsto.

Mediante la etapa de controlar se logra plantear un plan de implementación de las propuestas para asegurar que se dé de una forma correcta.

Etapa	Objetivo específico	Actividades	Herramientas por utilizar	Resultados esperados
Controlar	Proponer un plan de implementación de las propuestas de solución	Plan de implementación de las soluciones	Diagrama de Gantt, Matriz RACI, Matriz de análisis de riesgos	Conocer el procedimiento necesario para implementar las soluciones

Tabla 7 Controlar

Cronograma del proyecto

Para contar con una adecuada planificación de las etapas del proyecto se elabora un diagrama de Gantt, de manera que todas las actividades sean ejecutadas en el tiempo establecido, y sea posible cumplir con los entregables. La Diagrama No.4 muestra el cronograma de las tareas y su duración.

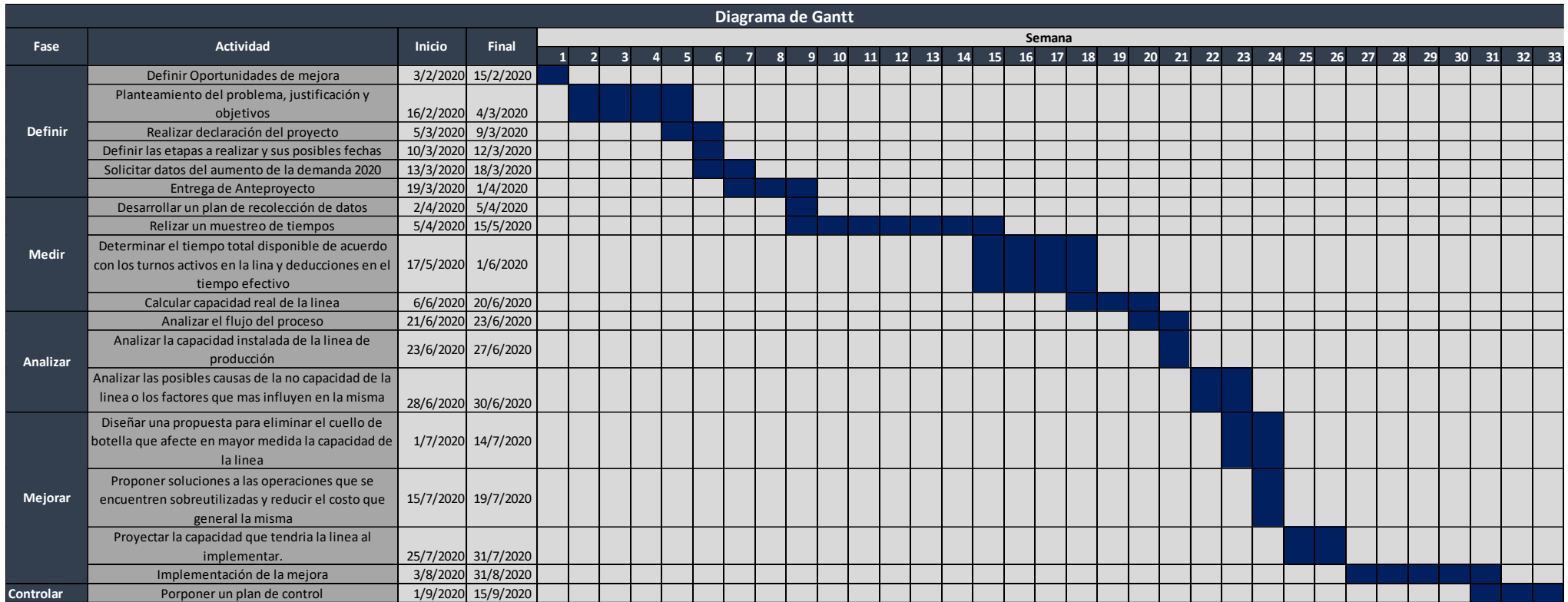


Diagrama 4 Gantt del proyecto

Capítulo IV. Línea base y análisis de causas

En el presente capítulo se realiza el diagnóstico de la situación actual, según la metodología en sus siguientes apartados:

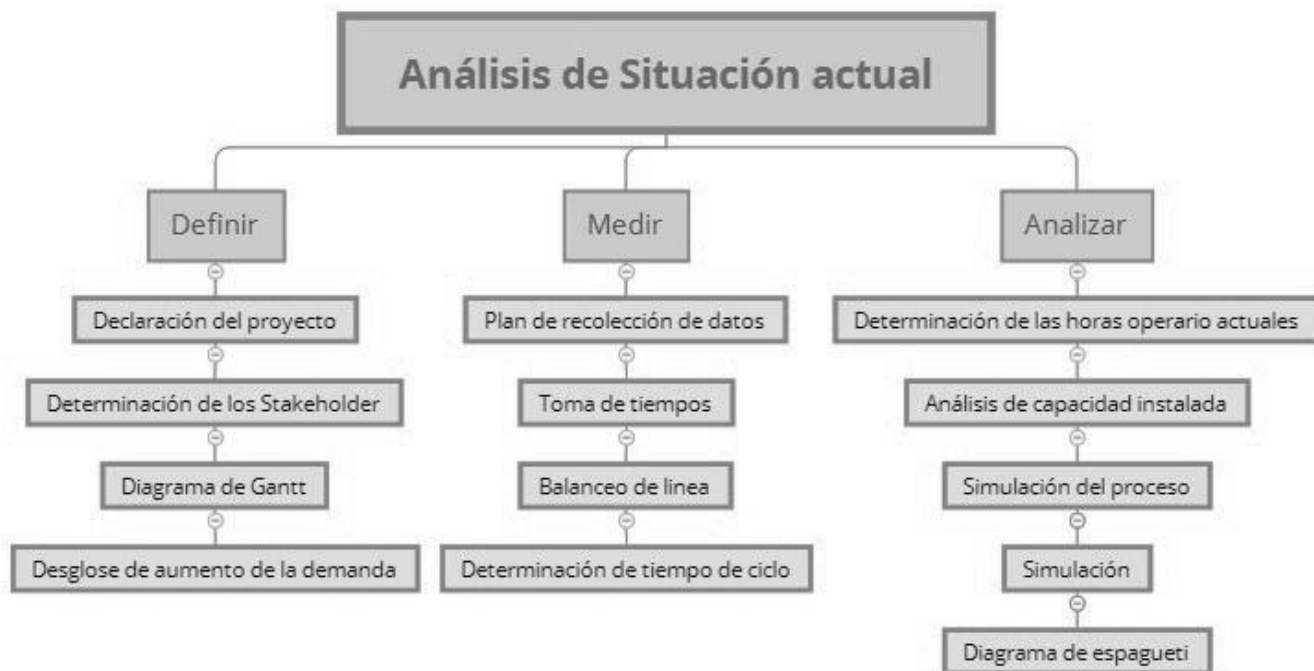


Diagrama 5 Análisis de la Situación Actual

En el desarrollo de la línea base de abordan las etapas definir, medir y analizar de la metodología DMAIC, el desglose de estas se encuentra en el diagrama No.5.

A. Definir

En la fase definir se establece el problema y se orienta hacia donde impactará el proyecto, con sus respectivas etapas. Medir será la fase en la que se realizará la recolección de información de manera que sea claro de entender el proceso y lo que este conlleva. Por último, en la fase de analizar se estudian las causas raíz que tengan mayor impacto sobre el problema.

En esta etapa inicial se define el proyecto, para conforme se avance en las siguientes etapas profundizar sobre aquellas métricas que se ven afectados por el problema en estudio.

Definición del proyecto

En la imagen No.9 se observa el Project charter, este tiene como objetivo explicar el problema en cuestión, así como el objetivo del estudio, de modo que se cuente con una visión global de la situación que ocurre y su posible solución, este permite identificar, aquella área que se verá favorecida. Este documento da por entendido el acuerdo entre el champion y el equipo de trabajo.

Project Charter			
1. Empresa:	PHILIPS VOLCANO		
2. Proyecto:	ACUERDO A LA DEMANDA FUTURA EN LAS LINEAS DE SUBENSAMBLES SOURCE Y DETECTOR DE JAVA.		
3. Departamento:	MEJORA CONTINUA		
4. Proceso:	MANUFACTURA DE SUBENSAMBLES PARA SENSORES DE CAPNOGRAFÍA		
CASO DE NEGOCIOS	MIEMBROS DEL EQUIPO	NOMBRE	DEPARTAMENTO
Actualmente se cuenta con una capacidad instalada insuficiente para cumplir con el aumento de demanda de los subensambles Source y Detector.	Champion	Miguel Arrieta	Mejora Continua
	Sponsor	Enrique Eduarte	Mejora Continua
	Project Lead	María Laura Saborío	Mejora Continua
	Mentor	Enrique Eduarte	Mejora Continua
DECLARACIÓN DEL PROBLEMA		ALCANCES Y LIMITACIONES	
Actualmente en el proceso de producción se obtiene un total de 174 source y 161 detector, siendo este un 32% de lo necesario para cumplir la nueva demanda de source y 26% de lo necesario para cumplir la demanda de detector, al ser líneas de transferencia se han visto forzadas a realizar cambios y mejoras rápidamente para alcanzar la demanda futura, la cual es causa del COVID-19.		El presente proyecto se desarrollará únicamente en las líneas de producción de subensambles, source y detector. Para el análisis del cambio de demanda solo se utilizarán los datos del año 2020, ya que antes de este año las líneas no estaban instaladas en Costa Rica.	
PLAN PRELIMINAR		META DEL PROYECTO	
FASE	FECHA PLANEADA	FECHA DE REVISIÓN	Aumentar la capacidad instalada en un 68% para Source y en un 74% para Detector de manera que se logró cumplir con la demanda planeada para el 1 de Agosto del año 2020.
DEFINIR	20/3/2020	15/9/2020	
MEDIR	15/4/2020	15/9/2020	
ANALIZAR	21/6/2020	15/9/2020	
DISEÑAR	1/7/2020	15/9/2020	
VERIFICAR	30/8/2020	15/9/2020	
			ELABORADO POR: María Laura Saborío Carballo.

Imagen 9 Project Charter

Según la imagen No.9 el proyecto tiene la finalidad de aumentar la capacidad instalada en el área JAVA específicamente en la línea de producción de subensambles Source y Detector, en la declaración del proyecto se establece el alcance del mismo, este da inicio con la comparación de la demanda actual con la demanda futura, de manera que sea posible cuantificar los cambios, y así proceder con el análisis de capacidad y determinación de cuellos de botella, y demás análisis realizados en las siguientes fases de esta etapa.

Análisis de involucrados

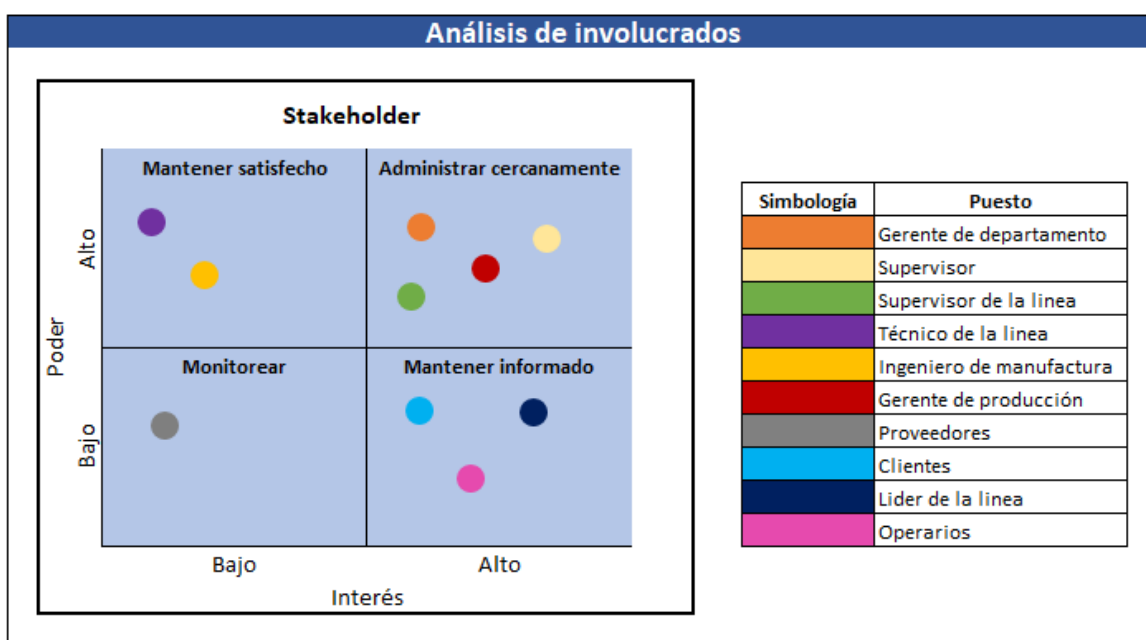


Imagen 10 Análisis de los involucrados

En la imagen No.10 se aprecia el cuadro de análisis de involucrados, el cual identifica al Gerente del departamento, Supervisor, Gerente de producción y al Supervisor de la línea como aquellos involucrados que tienen el poder y el interés alto, por lo tanto se consideran los involucrados más importantes en el proyecto, quienes deben de estar informados sobre los avances del proyecto, y quienes se requiere que estén a favor de los mismos, ya que posiblemente serán quienes decidan si las acciones se pueden ejecutar o no.

Una vez identificados los principales involucrados, es importante definir reuniones y actividades en los que participen, de modo que se exponga los pasos

a seguir en cada una de las etapas, y que estos sean discutidos, de tal forma que las partes lleguen a un acuerdo, siempre con la mira en dar con el problema y buscar las soluciones pertinentes.

Desglose del aumento en la demanda 2020

En la tabla No.8 se puede observar la diferencia en la demanda diaria entre los meses del año 2020 para la línea de Subensambles Source.

Mes	Demanda diaria (pzs)
Febrero	70
Marzo	83
Abril	96
Mayo	105
Junio	174
Julio	385
Agosto	559

Tabla 8 Demandas 2020

En la tabla No.8 muestra los datos utilizados que se visualizan en el gráfico No. 11, este gráfico muestra un aumento abrupto de la demanda desde el mes de junio hasta agosto para la línea de subensambles Source.

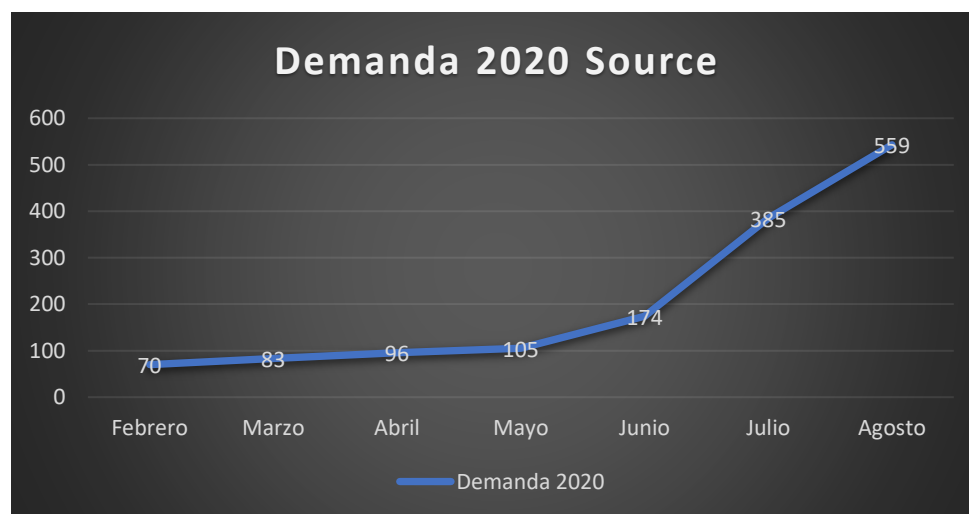


Gráfico 11 Demandas Source 2020

En la tabla No.9 se puede observar la diferencia en la demanda diaria entre los meses del año 2020 para la línea de Subensambles Detector.

Mes	Demanda diaria (pzs)
Febrero	60
Marzo	78
Abril	90
Mayo	102
Junio	161
Julio	321
Agosto	602

Tabla 9 Demandas Detector 2020

En la tabla No 9. muestra los datos utilizados que se visualizan en el gráfico de la figura No.12, este gráfico muestra un aumento abrupto de la demanda desde el mes de junio hasta agosto para la línea de subensambles Detector.

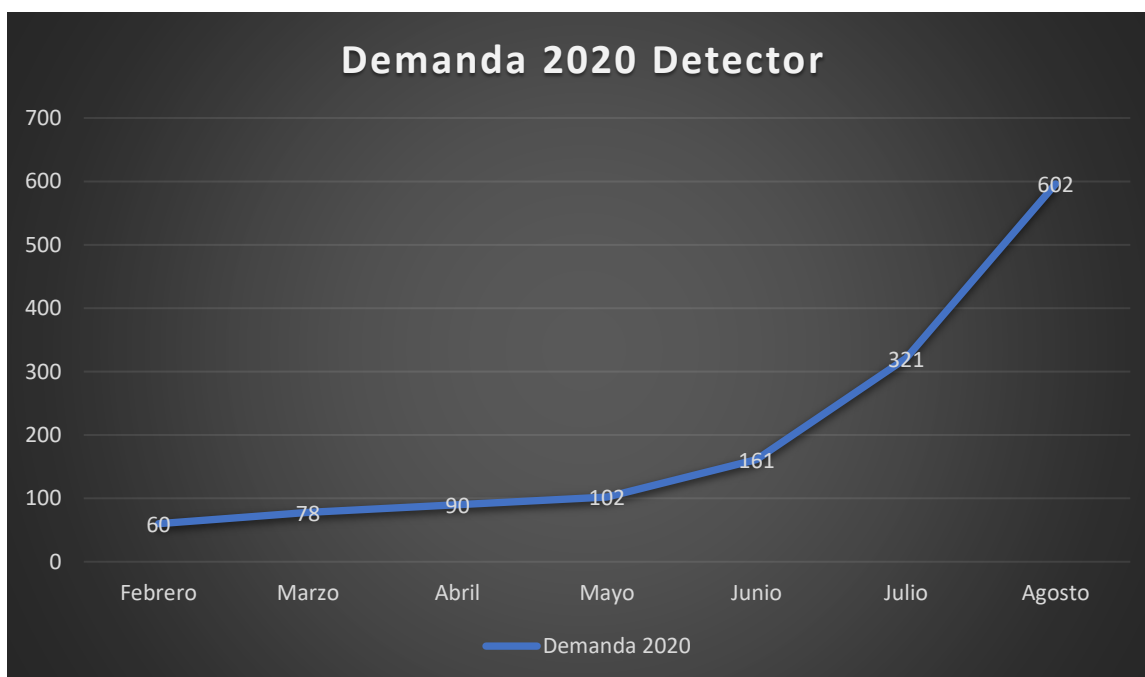


Gráfico 12 Demandas Detector 2020

Sin embargo, el mes más crítico es Julio, ya que en este la demanda cambia abruptamente como se presenta en la siguiente tabla:

Mes/Línea	Semana	Demanda diaria (pzs)
Julio/Source	27	385
	28	440
	29	468
	30	419
	31	543
Agosto/Source	32	551
	33	551
	34	543
	35	559
Julio/Detector	27	321
	28	486
	29	528
	30	478
	31	596
Agosto/Detector	32	548
	33	548
	34	520
	35	602

Tabla 10 Demanda de Subensambles

Como se pudo observar en el cuadro No.10 la demanda de los dos subensambles aumento exponencialmente semana tras semana, cabe destacar que las semanas que presentan una disminución de demanda fue por días feriados.

Analizando los datos de demanda del cuadro No.10 se creó un gráfico donde explica lo siguiente:

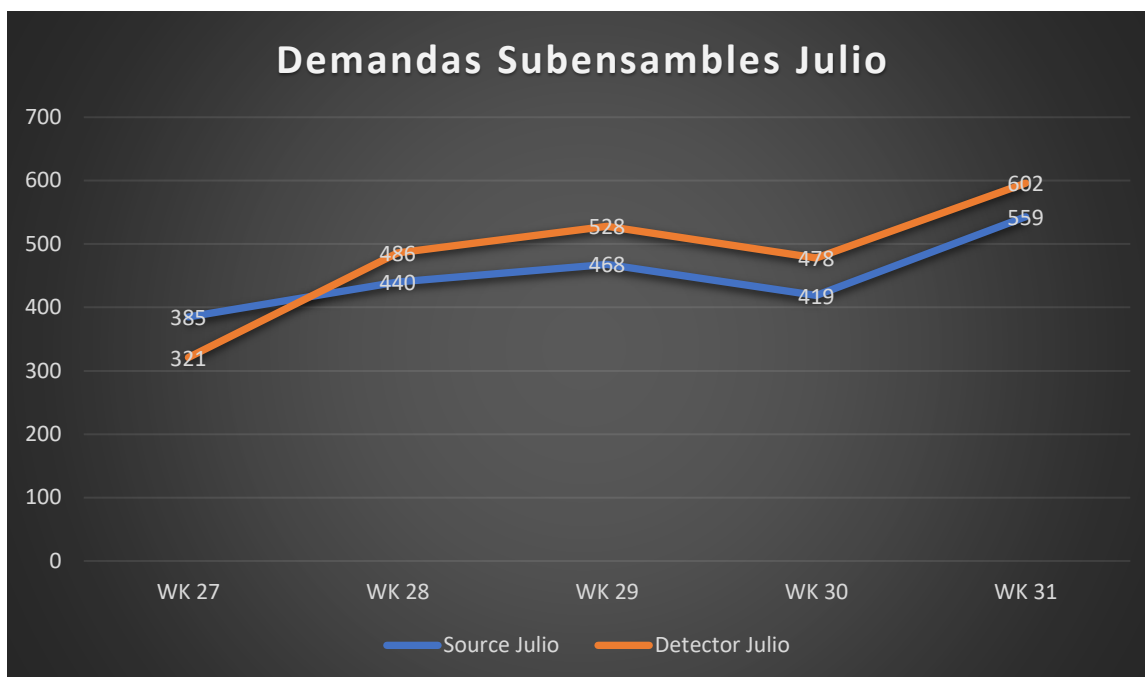


Gráfico 13 Demanda de Subensambles Julio

Como se puede observar en el gráfico No.13 la demanda de Detector crece por encima de Source desde la semana 28 del año, además como se puede notar en la semana 30 decrece la demanda de los 2 subensambles, esto debido a un cargamento de subensambles Source y Detector que llegaron desde Wallingford debido a la eliminación de inventarios de subensambles de esa planta, ya se dejaron de producir tanto los subensambles como los ensambles finales en esa planta.

B. Medir

Plan de recolección de datos

Para la obtención de los datos requeridos para medir y analizar el problema se hace uso de la herramienta de recolección de datos, de modo que sea posible

obtener información puntual sobre la capacidad instalada en el cuarto de producción de los subensambles Source y Detector.

Pregunta que se quiere contestar	Nombre de los datos	Definición operacional	Medidas relacionada	Plan de recolección
¿Cuánto tiempo se tarda en cada una de las operaciones realizadas para la elaboración de una unidad de Source y Detector?	Tiempo estándar	Los tiempos estándar que existen actualmente son simulaciones, ya que la línea no existía en Costa Rica	Muestral	Donde: Cuarto de producción.
				Cuando: 02/2020
				Quién: María Laura Saborío Carballo
				Como: Con el uso de un cronómetro y una plantilla de tiempos estándar
¿Con cuánta capacidad instalada cuenta el proceso actualmente?	Análisis de capacidad instalada	Con los recursos con los que cuenta el proceso actualmente no se es capaz de cumplir con el plan de producción	Poblacional	Donde: Cuarto de producción.
				Cuando: 03/2020
				Quién: María Laura Saborío Carballo
				Como: Mediante una herramienta de excel que toma en cuenta los tiempos de ciclo, % de yield y % de utilización de recursos
¿Cuáles son los cuellos de botella de la línea de producción?	Operaciones cuello de botella	Hay operaciones que tienen tiempos mucho mayores al Takt Time y retrasan el Flow Line	Poblacional	Donde: Cuarto de producción.
				Cuando: 03/2020
				Quién: María Laura Saborío Carballo
				Como: Analisis del Takt Time, tiempo de ciclo y % de utilización de recursos.
¿Cuál es la utilización de línea?	Utilización de recursos	Los recursos de las operaciones con tiempos de ciclo mayores se encuentran sobre utilizados.	Poblacional	Donde: Cuarto de producción.
				Cuando: 03/2020
				Quién: María Laura Saborío Carballo
				Como: De acuerdo a los resultados del porcentaje de utilización del Work Content Graph

Tabla 11 Plan de Recolección de Datos

Premuestreo para la toma de tiempos

Para realizar el muestreo de los tiempos estándar de las operaciones, es necesario realizar un premuestreo para contar con una confiabilidad de los datos en el estudio de tiempos de al menos un 95%, este premuestreo indicará el número de muestras para cada operación.

Premuestreo		
Línea	Operación	Número de muestras (95% de confianza)
Source	Assembly	18
Source	Burn in Test	20
Detector	Optical Assembly	9
Detector	Welding	11
Detector	Assembly	20
Detector	Testing	17

Tabla 12 Premuestreo Subensambles

La Tabla No.12 está compuesta por el número de muestras requerido para cada operación del proceso. Este valor se obtuvo mediante la fórmula 1 la cual se describe en la sección del marco teórico.

Para poder calcular el valor de n a como lo muestra la fórmula, se requiere un valor de Z el cuál para un nivel de confianza de 95% es de 1,96, realizando un premuestreo de 15 tomas de tiempos a 2 diferentes operarios, esto en las 6 operaciones que componen el proceso, se obtuvieron los datos del tiempo promedio de las operaciones y las desviaciones estándar de los datos.

Muestreo para el cálculo de los tiempos estándar

Una vez obtenido el valor del número de muestras para cada proceso, se procede a realizar la toma de tiempos, este comprende 20 muestras en total tomando en cuenta los 2 operarios. Estos operarios deben de contar con un periodo de al menos 3 meses luego de haber sido certificados para poder ser tomados en

cuenta para la toma de tiempos, de manera que no se encuentren dentro de una curva de aprendizaje que pueda afectar la toma de los tiempos.

Contar con el tiempo estándar para cada operación es el primer paso para conocer la capacidad de la línea, ya que según el tiempo que tarde cada operación será posible determinar la cantidad de unidades que se pueden producir en un tiempo determinado. Además, contar con el tiempo requerido para cada operación permite identificar aquellas operaciones cuello de botella, así como visualizar aquellas tareas que no agregan valor al producto y que pueden ser oportunidades de mejora para reducir tiempos de producción.

Anteriormente se tenían contemplados tiempos de ciclo que no correspondían a los tiempos reales de las operaciones, por tanto, estos no lograban reflejar las unidades que se estaban produciendo por hora y por esta misma razón no se tenía conocimiento de la capacidad instalada real de la línea.

Debido a estas razones fue necesaria la realización de la toma de los tiempos estándar para cada una de las operaciones de la línea de producción. Los datos obtenidos a partir de este estudio se muestran a continuación, además se pueden observar las operaciones desglosadas en elementos en las hojas de tiempos que se encuentran en los apéndices del x al x.

Toma de tiempos de Optical Assembly.

Se realiza una toma inicial de 20 muestras, a las cuales se les realiza una prueba de normalidad con el objetivo de modelar su comportamiento luego, esta prueba puede ser percibida en la Figura No. 14.

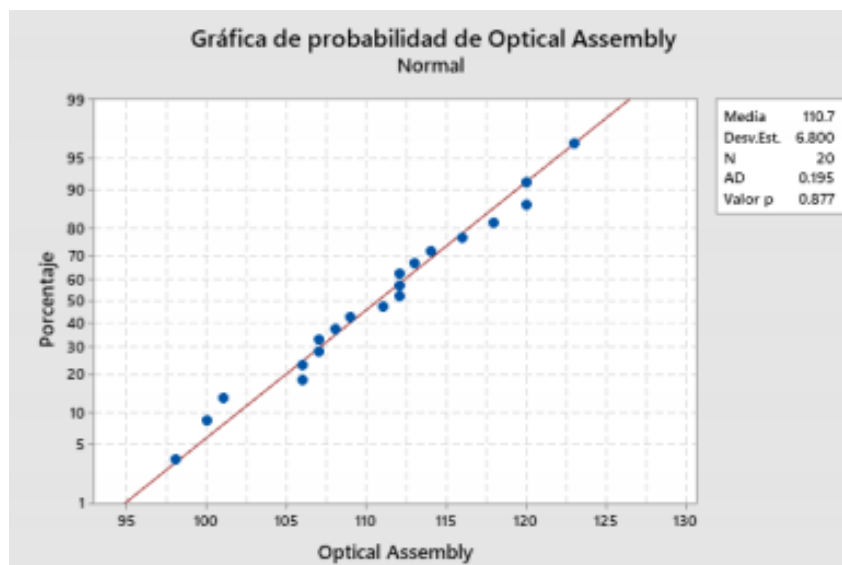


Gráfico 14 Grafica de probabilidad

Comparando el estadístico de prueba p de 0.877 con un alfa de 0.05, se concluye que no hay suficiente evidencia estadística como para afirmar que esta distribución no sigue una distribución normal. Sabiendo esto, se procede a realizar un cálculo del tamaño de la muestra, sabiendo que el error máximo aceptado por Philips para los estudios de tiempos es de un 1% sobre la media de la medición piloto, obteniendo los resultados de la Tabla No.13.

Resultados	
Margen de error de la prueba	Tamaño de la muestra.
5.35 segundos	9

Tabla 13 Cálculo de muestra para toma de tiempos

Determinándose que el tamaño necesario para realizar la estimación es de hecho menor a la muestra inicial tomada, con lo que se tiene que el tiempo normal de la estación Optical Assembly es de 110.7 segundos por pieza. Lo que se traduce a un tiempo estándar de 180.8 segundos por pieza.

Toma de tiempos de Detector W/Wires.

Se realiza una medición de 20 muestras iniciales para la estimación de la media del proceso, a las cuales se les realiza una prueba de normalidad.

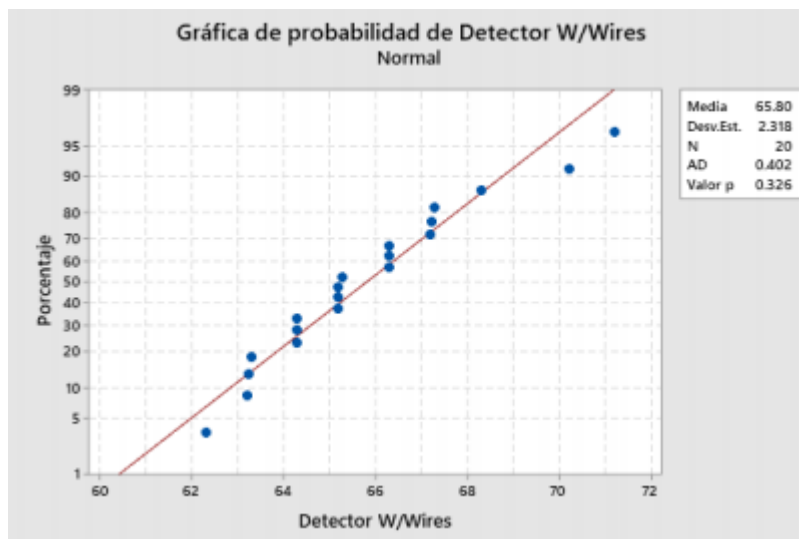


Gráfico 15 Gráfico de probabilidad de normalidad de distribución de datos de Detector W/Wires.

Resultando de la misma la conclusión de que no existe suficiente evidencia estadística como para determinar que esta distribución no siga un comportamiento normal, por lo que se procede a realizar el cálculo del tamaño de la muestra requerida para la estimación de su media. Los resultados para este cálculo pueden ser vistos en la Tabla No. 14.

Resultados	
Margen de error de la prueba	Tamaño de la muestra.
16.3 segundos	49

Tabla 14 Resumen de cálculo de muestra para toma de tiempos de Detector W/Wires.

Resultando en un tamaño de 49 muestras, con lo que se determina que es necesario realizar 29 observaciones más para obtener una muestra confiable. Esta muestra se toma y se obtiene que el tiempo normal es de 65.8 segundos por pieza.

Además, se obtiene que el tiempo estándar de esta operación es de 112 segundos por pieza.

Toma de tiempos de Detector Assembly.

Se realiza una toma de tiempos inicial de 20 muestras, a las cuales se les realiza una prueba de normalidad para permitir su modelaje siguiendo esta distribución estadística, la cuál puede ser analizada en la Figura No. 16.

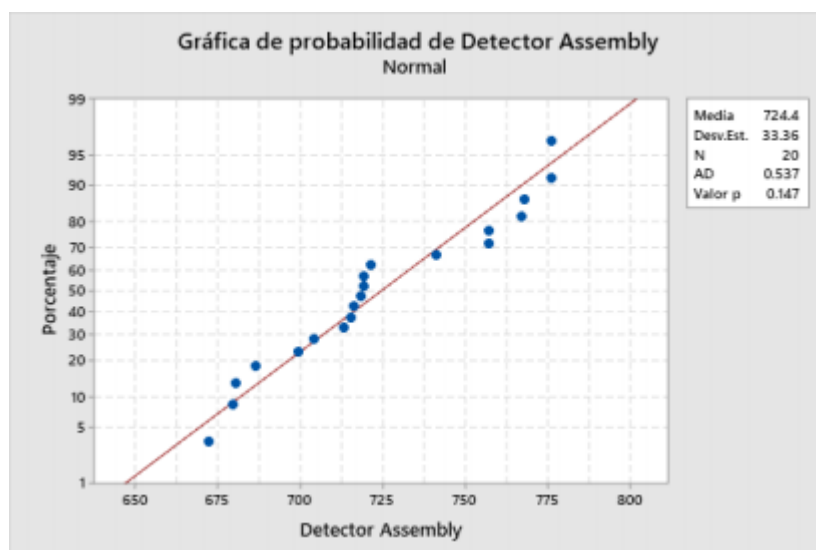


Gráfico 16 Gráfica de probabilidad de Detector Assembly

En dicha prueba, los datos muestran un valor de estadístico de prueba p de 0.252, lo que no es suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los datos son normales, por lo que se asume que su comportamiento sigue esta distribución. Una vez realizada esta prueba, se realiza un cálculo del tamaño de muestra a ser utilizado, sabiendo que el conjunto de datos parece estar comportándose de manera normal, con media en 724.4 segundos por pieza y desviación estándar de 33.36 segundos. Una vez realizado esto, se obtienen los resultados expuestos en la tabla No. 15.

Resultados	
Margen de error de la prueba	Tamaño de la muestra.
16.3 segundos	49

Tabla 15 Tamaño de muestra

Al contarse con las muestras iniciales de 20, se procede a realizar 29 observaciones más, con las cuales se obtiene el valor de promedio para esta operación de 724.4 segundos por pieza. Seguidamente, y con una carga de trabajo definida por Philips de 15%, se determina el tiempo estándar de la operación en 827,3 segundos por pieza.

Toma de tiempos de Detector Test. Igualmente, se realiza una muestra inicial de 20 muestras, a las cuales se les realiza una prueba de normalidad, donde igualmente se obtiene un valor de estadístico de prueba p lo suficientemente alto, en comparación con alfa, como para determinar que no existe suficiente evidencia estadística como para afirmar que los datos no siguen una distribución normal. Esta prueba de normalidad puede ser analizada en la Figura No. 17.

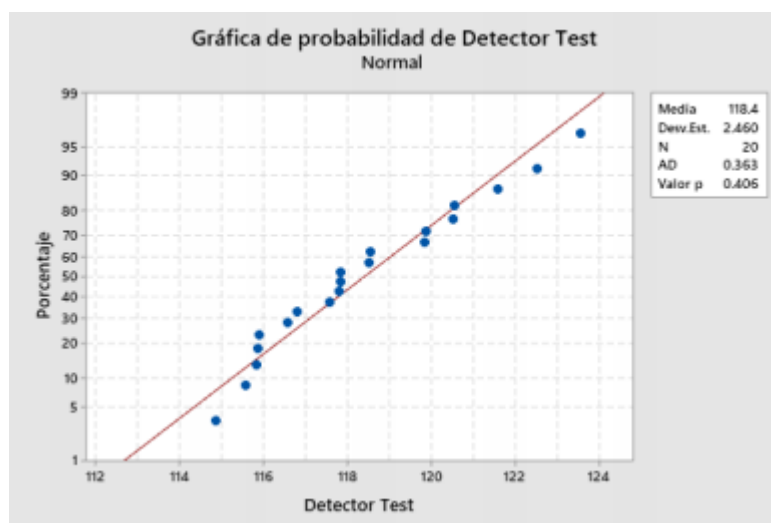


Gráfico 17 Probabilidad de normalidad de distribución de datos de Detector Test.

Seguidamente, se realiza un cálculo del tamaño de muestra requerido para poder realizar la estimación de la media de este tiempo. Los resultados de este tamaño de muestra pueden ser apreciados en el Cuadro No. 9.

Resultados	
Margen de error de la prueba	Tamaño de la muestra.
16.3 segundos	49

Tabla 16 Resumen de resultados de tamaño de muestra para Detector Test.

Se señala que, al haberse hecho una muestra inicial de 20 muestras, solo requieren un total de 29 muestras más, por lo que se realiza un segundo muestreo, con lo que se obtiene que el valor normal para esta operación es de 118,4 segundos por pieza, a lo que, añadiéndole el valor de cargas de trabajo, se obtiene un valor de tiempo estándar de 154,3 segundos por pieza

Descripción del proceso.

El proceso realizado en la línea detector empieza con el ensamble de dos tipos de subensambles que luego son utilizados en la misma línea, tanto el subensamble del Detector Óptico, donde se ensambla el lente que capta la información física, los divisores del haz, y los filtros de datos, como el Detector with Wires, que consiste en la pieza que procesa la información obtenida con el detector óptico.

Estos a su vez, alimentan el proceso de ensamble de Detector Assembly, donde se realiza el ensamble principal de la línea, donde se unen las piezas del 38 detector óptico, así como el detector with wires, con la tarjeta donde se realiza el análisis de los datos, y esta se suelda con los complementos del proceso. Finalmente, el proceso termina con un test del circuito de la tarjeta.

Con el objetivo de describir el estado actual del proceso se desarrollan las siguientes expresiones de este:

Diagrama de flujo del proceso

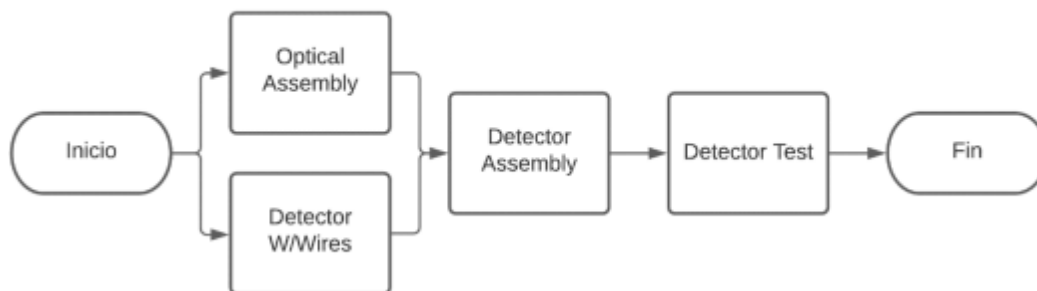


Diagrama 6 Diagrama de flujo del proceso de ensamble de Detector.

La línea productiva es conformada, actualmente, por cuatro operaciones: Optical Assembly, Detector W/Wires, Detector Assembly, y Detector Test. Tanto los procesos de Optical Assembly, como el de Detector W/Wires son estaciones de subensambles que luego son utilizados en el proceso de Detector Assembly.

En Detector Assembly, actualmente se realizan todas las operaciones necesarias para la construcción de los Detector, pieza que luego será utilizada en las líneas finales. Y, finalmente, Detector Test es una operación de verificación de parámetros requeridos solamente para aquellos ensambles que se enviarán a la planta de Wallingford, USA, donde se les realiza una prueba de fallas eléctricas y de funcionamientos para asegurar que el producto cumpla con sus expectativas. Esta misma planta es el dueño del proceso.

En estas hojas también se determinan las operaciones que agregan y las operaciones que no agregan valor a la operación, las operaciones que agregan valor al producto son todas aquellas actividades que estén transformando la unidad directamente, algunos ejemplos de actividades que no agregan valor son los transportes, las esperas e inspecciones, sin embargo, en muchos casos muchas de estas actividades son necesarias durante el proceso.

Tiempos de Source

A continuación, se pueden observar los tiempos de ciclo históricos con los que se contaba en la línea Source, así como los tiempos estándares tomados en el muestreo, los cuales representan la realidad actual de los procedimientos.

Source				
N°	Operación	Tiempos histórico	Tiempo Estándar	Diferencia
1	Source Assembly	553,8	514,3	39,5
2	Burn in Test	201,7	142,6	59,1

Tabla 17 Source tiempos

Se señala que, al haberse hecho una muestra inicial de 20 muestras, solo requieren un total de 30 muestras más, por lo que se realiza un segundo muestreo, con lo que se obtiene que el valor normal para esta operación es de 553,8 segundos por pieza, a lo que, añadiéndosele el valor de cargas de trabajo, se obtiene un valor de tiempo estándar de 514,3 segundos por pieza para Source Assembly y 142,6 segundos para Burn in Test.

Descripción del proceso.

El proceso realizado en la línea detector empieza con el ensamble de las ventanas, las cuales luego son unidas al Len Holder en un proceso de pegado con epoxy para luego pasarlas al horno.

Al salir del horno, las piezas deben ser cargadas en las pruebas de vida útil (Burn in Test), esto para comprobar que va a funcionar en el ensamble final cuando se una. Con el objetivo de describir el estado actual del proceso se desarrollan las siguientes expresiones de este:



Diagrama 7 Diagrama de flujo del proceso de ensamble de Source.

En la Tabla No.17 se observa el valor del tiempo estándar para cada operación, así como también los tiempos históricos con los que se contaba, los cuales son tiempos que correspondían a las líneas de producción de la planta de Wallingford, y luego de esta fecha se han realizado cambios en algunos de los procesos, esto incide en una variación con los datos registrados y los actuales, las operaciones presentaron un tiempo de ciclo menor que el que se tenía estimado.

En el siguiente grafico se puede observar que las dos operaciones de Source, mejoraron sus tiempos estándar.

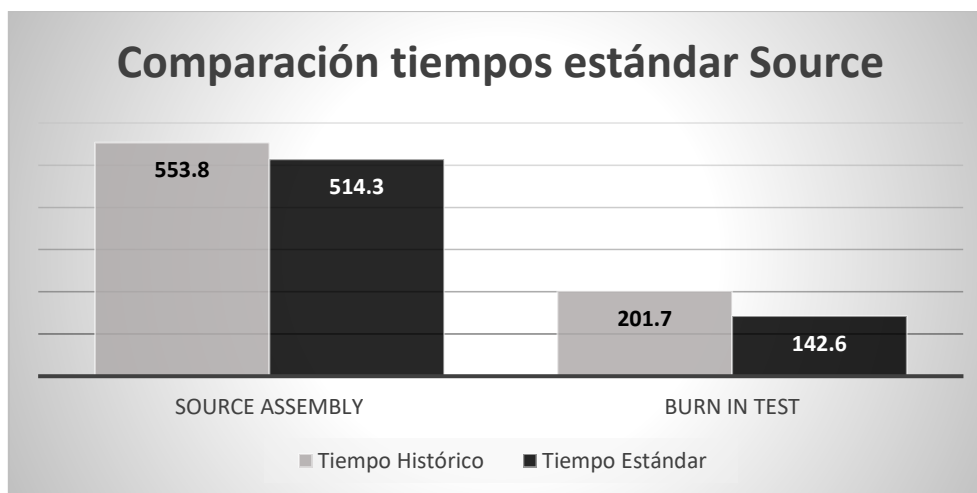


Gráfico 18 Comparación de tiempos estándar Source

En la siguiente tabla se pueden observar los tiempos de ciclo históricos con los que se contaba en la línea Detector, así como los tiempos estándares tomados en el muestreo, los cuales representan la realidad actual de los procedimientos.

Detector				
N°	Operación	Tiempos histórico	Tiempo Estándar	Diferencia
1	Optical Assembly	180,8	180,8	0
2	Detector Welding	112	112	0
3	Detector Assembly	941,2	827,3	113,9
4	Detector Testing	199,2	154,3	44,9

Tabla 18 Tiempos Detector

Al igual que la línea Source, se puede evidenciar que en la línea Detector los tiempos mejoraron significativamente por pieza.

En el siguiente grafico se evidencia la comparación de los tiempos estándar de la línea Detector:

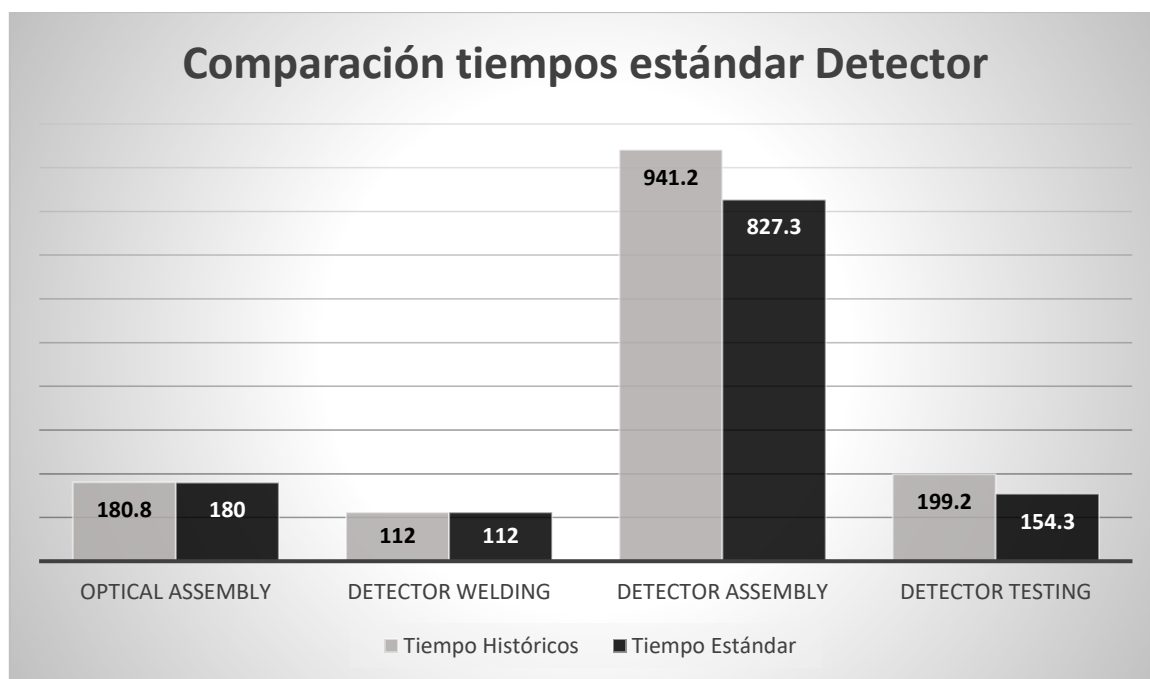


Gráfico 19 Comparación tiempos estándar Detector

Como se observa en el grafico No.19. las operaciones que se vieron beneficiadas en relación a la disminución del tiempo estándar son Detector Assembly y Detector Testing.

Value Stream Map del proceso de Detector

Además, se diseña un Value Stream Map del proceso actual, donde se puede seguir el valor agregado que se le da a las piezas, expresado en la Figura No. 20.

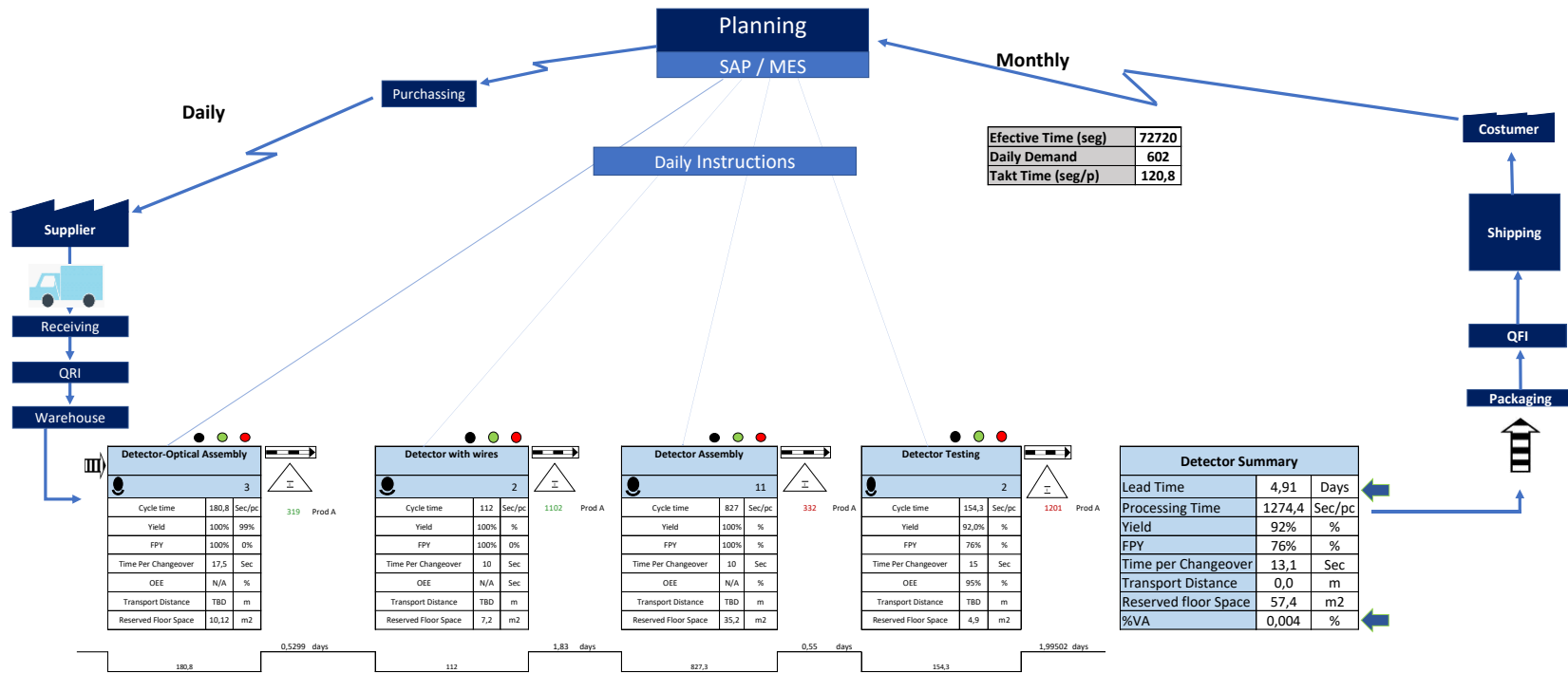


Gráfico 20 Value Stream Map actual de la línea Detector.

En base a este se presentan los siguientes datos del proceso en el Cuadro No. Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Detector.

Detector Summary		
Lead Time	4,91	Days
Processing Time	1274,4	Sec/pc
Yield	92%	%
FPY	76%	%
Time per Changeover	13,1	Sec
Transport Distance	0,0	m
Reserved floor Space	57,4	m ²
%VA	0,004	%

Tabla 19 Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Detector

En la tabla No.19, se tiene que el tiempo actual para completar una orden es de 4.91 días (Lead Time). Esta es a su vez es una manera de medir la eficiencia que comparado a si se lograra reducir el inventario de la operación de Detector Assembly, en cuyo caso el valor del Lead Time sería de 3.03 días, lo que representa una posible mejora de hasta un tercio de día por un mejor manejo del proceso.

Esto quiere decir, que de los 4,91 días que las piezas están en producción, solo 1274.4 segundos son utilizados para agregarle valor a la pieza, o lo que representa un 0.005% del tiempo total, lo que demuestra una ineficiencia muy alta donde las unidades pasan la mayor parte del tiempo en el proceso alimentando inventarios de producto en proceso.

Value Stream Map del proceso de Source

Además, se diseña un Value Stream Map del proceso actual, donde se puede seguir el valor agregado que se le da a las piezas, expresado en la Figura No. 21.

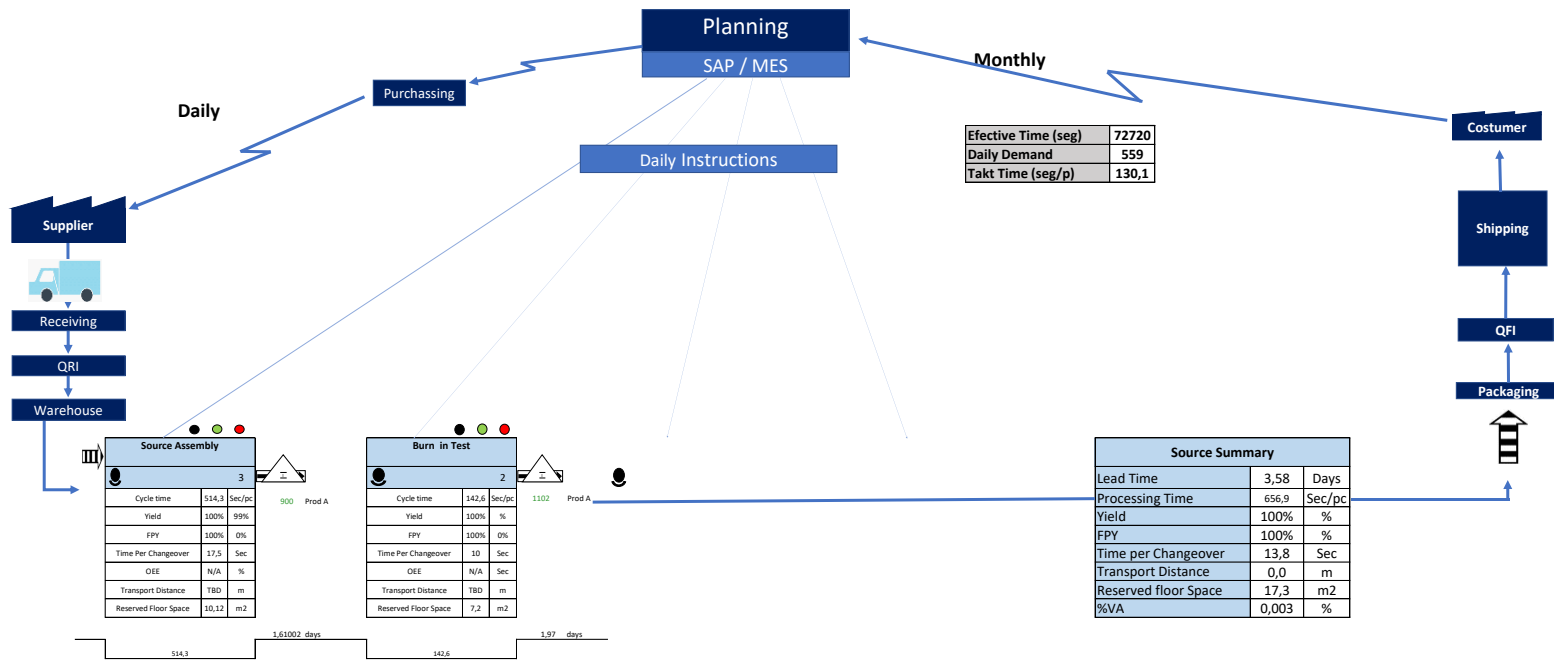


Gráfico 21 Value Stream Map actual de la línea Source

En base a este se presentan los siguientes datos del proceso en el Cuadro No. Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Source.

Source Summary		
Lead Time	3,58	Days
Processing Time	656,9	Sec/pc
Yield	100%	%
FPY	100%	%
Time per Changeover	13,8	Sec
Transport Distance	0,0	m
Reserved floor Space	17,3	m ²
%VA	0,003	%

Tabla 20 Resumen de Value Stream Map actual de la línea de Source.

En la tabla No.20, se tiene que el tiempo actual para completar una orden es de 3.58 días (Lead Time). Esta es a su vez es una manera de medir la eficiencia que comparado a si se lograra reducir el inventario de la operación de Detector Assembly, en cuyo caso el valor del Lead Time sería de 2.05 días, lo que representa una posible por un mejor manejo del proceso.

Esto quiere decir, que de los 3,58 días que las piezas están en producción, solo 656,9 segundos son utilizados para agregarle valor a la pieza, o lo que representa un 0.003% del tiempo total, lo que demuestra una ineficiencia muy alta donde las unidades pasan la mayor parte del tiempo en el proceso alimentando inventarios de producto en proceso.

Además, el tiempo tan alto de la operación Detector Assembly está generando una acumulación de inventario de 696 piezas antes de esta operación.

Determinación del tiempo de ciclo

J. Tabla 5 Tiempo de ciclo por unidad

Tiempo de ciclo por unidad (seg)	112
---	-----

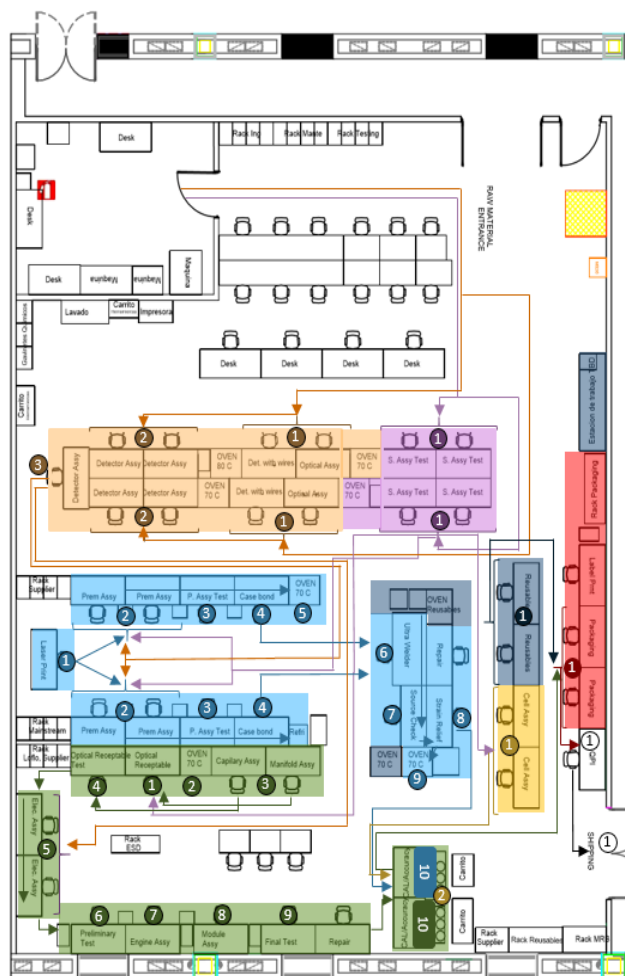
Tabla 21 Tiempo de ciclo por unidad

Los tiempos estándar establecidos cuentan con un 15% de suplementos estándar, definido por la empresa, compuesto por un 8% asociado a fatiga y un 7% asociados a necesidades personales. Además, cada operario cuenta con una calificación de manera que los datos se puedan normalizar para que se consideren bajo una velocidad normal ya que según la habilidad o experticia del operario estos datos muchas veces pueden cambiar ya que son factores que inciden en la velocidad de ejecución de las operaciones.

C. Analizar

Diagrama de Espaguetis y Layout

Antes de analizar el proceso, su capacidad, operaciones y demás es importante conocer como está distribuida la línea, como es su proceso en el piso de producción y demás, por esto, a continuación, se muestra el diagrama de espaguetis que explica el flujo de las operaciones, desde el inicio de los subensambles, hasta la entrega final. Esto tiene como objetivo mostrar aquellas oportunidades de mejora que puedan incidir en una disminución de los tiempos de las operaciones, y por ende una mayor capacidad en la línea. Este mismo hace referencia a la figura No.1 la cual se ve a continuación en el documento:



Flujo Completo

- Source
- Detector
- Mainstream
- LoFlo
- Capnotrak
- Reusables
- Packaging

PHILIPS

Figura 1 Layout actual del piso de JAVA

En la anterior se pueden observar los recorridos tanto de los subensambles como de la línea final, ambos subensambles se almacenan en un rack que se encuentra al inicio de la línea principal de producción o más conocida como línea final, esto se muestra en el diagrama y luego pasan a alimentar diferentes operaciones, en el caso de Source, abastece las líneas finales: Mainstream, Capnotrak y LoFlo y en el caso del subensamble Detector, abastece las líneas finales: Mainstream y LoFlo.

La demanda en el caso de Souce se divide en un 52% para Mainstream, 35% para LoFlo y 13% para Capnotrak, en el caso de Detector la distribución es un 52% para Mainstream y 48% para LoFlo.

Determinación de las horas operario actuales

En JAVA se pueden evidenciar todos los horarios de trabajo, dependiendo de cuál sea varia el tiempo efectivo de manufactura, como se puede observar en la siguiente imagen:

Available Time						
Available Minutes for Production Per Shift	1st Shift	2nd Shift	3rd Shift	Sat 2nd Shift	Compressed A	Compressed B
Start Time	6:00 a. m.	3:36 p. m.	10:00 p. m.	7:00 a. m.	6:00 a. m.	6:00 p. m.
Departure Time	3:36 p. m.	10:00 p. m.	6:00 a. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	6:00 a. m.
Available Time (Hrs)	9,6	6,4	8,0	8,0	12,0	12,0
Gross Time per Shift (Mins)	576	384	480	480	720	720
Number of Days Worked (Shifts)	1	1	1	1	1	1
Standard Deductions						
Start of shift	5	5	5	5	5	5
Coffee Break 1	20	0	15	20	20	15
Ergonomic 1	5	5	5	5	5	5
Ergonomic 2	5	0	5	5	5	5
Ergonomic 3	0	0	0	0	5	5
Lunch/Dinner	30	30	30	30	30	30
Coffee Break 2	0	0	0	0	15	15
Daily meeting	6	6	6	6	6	6
End of Shift (COVID 19)	30	30	30	30	15	15
Deduction 1	20	20	0	0	0	0
Deduction 2	0	0	0	0	0	0
Deduction 3	0	0	0	0	0	0
Total Deductions	121	96	96	101	106	101
Net available Time/Shift (Mins)	455	288	384	379	614	619
Net available Time/Shift (Secs)	27 300	17 280	23 040	22 740	36 840	37 140
Net available Time/Shift (Hr)	7,58	4,80	6,40	6,32	10,23	10,32

Tabla 22 Tabla de tiempo disponible

Como se puede observar la tabla No.22 se representan las horas efectivas de manufactura por turno, se realizan las deducciones de tiempo referentes a inicio de turno (5 minutos), estiramientos ergonómicos los cuales dependiendo el turno puede ser entre 2 y 3 al día (5 minutos), el almuerzo o la cena (30 minutos), el tiempo de café es únicamente para los horarios comprimidos (15 minutos), reunión diaria en el piso de producción, en esta reunión se les explica a los colaboradores en cual línea y estación van a desempeñar su trabajo, cual es el compromiso del día y los resultados del día anterior (6 minutos), final de turno, actualmente los

trabajadores están saliendo entre 15 a 30 minutos antes para evitar aglomeraciones en las paradas de autobús de la zona franca por un tema de COVID-19.

Como consecuencia de estas reducciones se llega un número de horas, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Available Time (hours)	
1st Shift	7,58
2nd Shift	4,80
3rd Shift	6,40
Comprimido A	10,23
Comprimido B	10,32

Tabla 23 Tiempo disponible por turno

En el caso de este proyecto solo se va a trabajar con Source y Detector, Source trabaja de manera comprimida, como se observa en la tabla No. comprimido A trabaja 10,23 horas y comprimido B 10,32, para llegar a un tiempo efectivo de manufactura de 20,55 horas al día y Detector posee turno A el cual trabaja 7,58 horas, turno B 4,80 horas y turno C 6,40 horas, esto para llegar a un tiempo efectivo de manufactura de 18,78 horas.

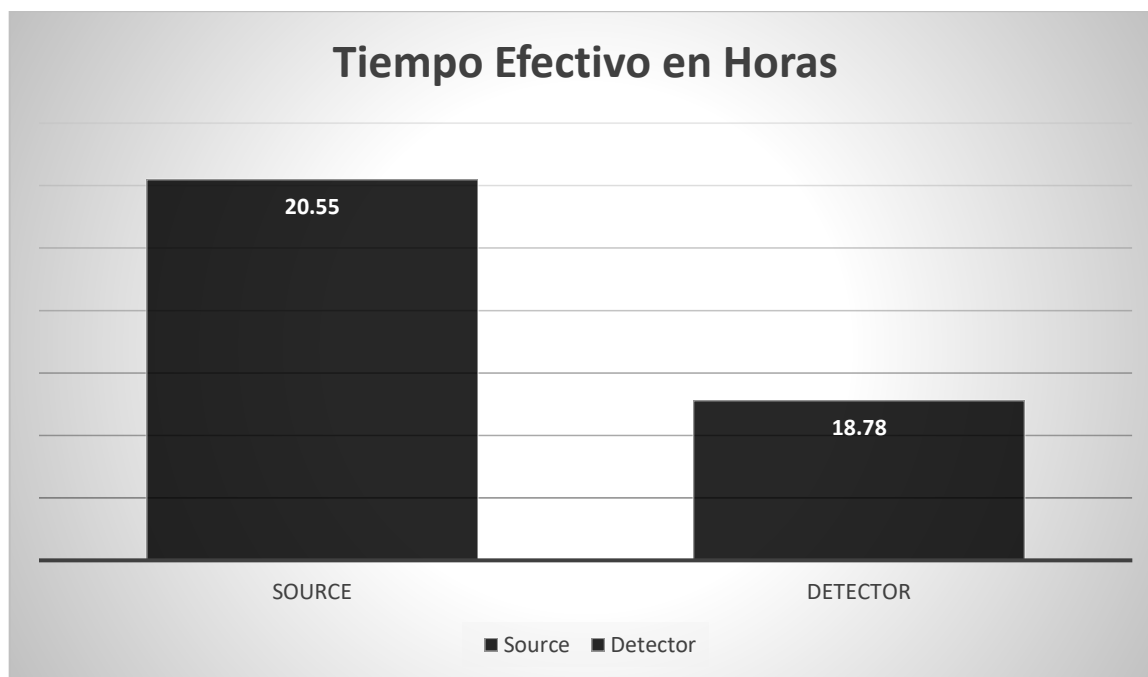


Gráfico 22 Tiempo Efectivo en Horas

Como se puede observar en el grafico No. Source posee 1,77 horas efectivas más que Detector.

Análisis de capacidad instalada

Para definir la capacidad instalada fue necesario crear una plantilla para automatizar el cálculo de dicha capacidad, esta plantilla se puede observar en el el apéndice 1 se aprecia el gráfico de dicha plantilla, este ayudará para tener un apoyo visual de los tiempos de ciclo, del flujo de la línea o Flow line y del takt time yileado.

En dicha plantilla se cuenta con índices y cálculos importantes para realizar el análisis de capacidad instalada de la línea, cada una de las columnas, índices y formulas presentes en esta plantilla se explicarán a continuación para tener un mejor entendimiento de los análisis de capacidad realizados en esta sección.

Cálculo del tiempo total disponible

Inicialmente, se tiene una tabla con todos los turnos posibles y sus respectivas deducciones por turno esta se muestra a continuación en la figura No.24.

2. Available Minutes for Production Per Shift	1st Shift	2nd Shift	3rd Shift	Comprimido A	Comprimido B	Total
Start Time	6:00 a. m.	3:36 p. m.	10:00 p. m.	6:00 a. m.	6:00 p. m.	
Departure Time	3:36 p. m.	10:00 p. m.	6:00 a. m.	6:00 p. m.	6:00 a. m.	
Available Time (Hrs)	9,6	6,4	8,0	12,0	12,0	56,0
Gross Time per Shift (Mins)	576	384	480	720	720	3360
Number of Days Worked (Shifts)	0	0	0	0	0	

3. Standard Deductions

Start of shift	5	5	5	5	5	30
Coffee break	20	0	15	20	15	90
Ergonomic 1	5	5	5	5	5	30
Ergonomic 2	5	0	5	5	5	25
Ergonomic 3	0	0	0	5	5	10
Lunch/Dinner	30	30	30	30	30	180
Coffee break	0	0	0	15	15	30
Daily meeting	6	6	6	6	6	36
End of Shift	3	3	3	3	3	18
Rotation	0	0	0	0	0	0
Total Deductions	0	0	0	0	0	0
Net available Time/Shift (Mins)	0	0	0	0	0	0
Net available Time/Shift (Secs)	0	0	0	0	0	0
Net available Time/Shift (Hr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Effective Shift Minutes	0	0	0	0	0	
Net Available daily minutes	0					
Net Available daily hours	0,00					

Tabla 24 Desglose para tiempo disponible

A partir de la figura No.24 se obtiene el tiempo efectivo total disponible en horas, minutos y segundos para cada uno de los turnos que se tengan activados y de esta manera poder utilizar esta información en el análisis de capacidad, en el caso del turno A se tienen 30120 segundos disponibles luego de deducciones y para el turno B se tienen 20100 segundos.

Resumen de información general para el análisis de capacidad

En la hoja principal de la plantilla para el cálculo de la capacidad instalada de la línea se tiene el indicador del yield, este será el producto de los yield de cada una de las estaciones, por lo que se podría decir que en el cuadro de resumen lo que se observará será el valor general de la línea para este índice, es decir, la cantidad de unidades clasificadas como buenas del total de producción.

Inmediatamente de este se tiene un espacio para introducir un porcentaje de down time, este porcentaje hace referencia a un tiempo muerto de la línea, se pueden dar debido a problemas en alguna operación por máquinas, falta de material, o más.

Se tomará en cuenta un 0,5% como referencia para este indicador, de manera que entre el análisis de capacidad se tenga previsto que se puedan dar estos paros no programados de la línea correspondientes a un 0,5% del total del tiempo disponible por día.

Luego de este se tiene un indicador llamado tamaño del lote, este lo que muestra es simplemente una referencia para conocer cuál es el tamaño de los lotes que se trabajan en la línea.

Seguidamente se muestra la tabla con la que se realizan todos los cálculos de la capacidad instalada de la línea, en esta se tienen diferentes indicadores, estos tienen fórmulas, cada una de estas fórmulas se explicarán más adelante. Hay datos que deben de introducirse en algunas de las columnas para poder realizar dichos cálculos, estos son la demanda mensual, los días disponibles para desarrollar la

producción, el tiempo estándar de las operaciones, el nombre de las operaciones y por supuesto el Yield.

Porcentaje de Yield.

En la línea se tienen valores establecidos de yield para cada una de las operaciones, estos valores son medidos por el ingeniero de manufactura de la línea mediante los resultados diarios se calcula un valor mensual, de manera que tenga el control de las unidades desechadas durante el mes, en este caso, para el análisis de capacidad se utilizaron los valores de yield presentes en la tabla No.25:

Source		
N°	Operación	Yield
1	Source Assembly	99,6%
2	Burn in Test	85,3%
Detector		
N°	Operación	Yield
1	Optical Assembly	100,0%
2	Detector Welding	100,0%
3	Detector Assembly	94,5%
4	Detector testing	99,5%

Tabla 25 Yield de las operaciones de subensambles

Los datos del yield son importantes debido a que a como se muestra en la fórmula No., es el porcentaje de unidades conformes con respecto a las unidades producidas en la operación y se debe de tomar en cuenta en el análisis de capacidad porque dependiendo de este valor la cantidad de unidades que debe de producir una estación para poder satisfacer la siguiente operación va a variar.

Los datos mostrados en la tabla No.25 fueron obtenidos gracias a los ingenieros de manufactura del área de Java ya que son los encargados de mantener bajo control y estudio estos porcentajes.

Se puede observar de acuerdo a los valores de yield presentados en la tabla No.25 que el porcentaje más bajo es el del subensamble Source en la estación Burn in Test, por tanto, debería de analizarse el proceso en busca de mejoras para poder

aumentar este porcentaje ya que este porcentaje afecta directamente la producción y hace que la cantidad de unidades a producir sean aún mayores para poder satisfacer la demanda diaria del producto final.

Unidades por producir:

Este indica las unidades requeridas a ser producidas por cada operación para poder cumplir con la demanda final, se calcula dividiendo la demanda necesaria por la siguiente estación entre el yield de la operación.

Takt Time

Luego de esto, es importante observar la referencia de lo que es el takt time yileado, ya que, que indica el significado de takt time, es la división de tiempo total disponible entre las unidades a ser producidas por la estación. Lo que dirá es el tiempo en el que se debe de producir cada unidad para satisfacer la demanda de la siguiente estación tomando en cuenta el yield.

Flujo de la línea.

El indicador del flujo de la línea a como se muestra en el marco teórico con la fórmula No., es el tiempo de ciclo entre la cantidad de estaciones disponibles en la operación, por tanto, este indicará de acuerdo con el tiempo estándar y a los recursos disponibles, cada cuanto se podrá tener una unidad disponible en la siguiente estación.

Es de gran importancia que el flujo de la línea se encuentre por debajo del valor del takt time debido a que si esto no sucede no se podrá satisfacer la demanda de la estación.

Porcentaje de utilización:

Este porcentaje se calcula con la fórmula No. presente en el marco teórico, este porcentaje es la división del flujo de la línea entre el takt time de la operación, o lo que es lo mismo, cual es el tiempo en el que se podrá entregar una unidad entre

el tiempo en el que se debe de entregar una unidad para poder cumplir con la demanda, lo más óptimo es tener un valor de utilización de los recursos de un 85% de esta manera se puede tener capacidad de respuesta a cualquier retraso o inconveniente que se pueda presentar en el proceso.

3.8. Capacidad de la línea al 100%.

La capacidad de la operación al 100% es la cantidad de tiempo total disponible entre el Flow line, de esta manera se conoce las unidades que pueden ser producidas en cada día de producción por cada una de las estaciones.

3.9. Capacidad de la línea yileado

En este índice se toma en cuenta la capacidad de la estación, y la capacidad de la estación anterior y este valor es multiplicado por el yield de la operación, de esta manera se puede conocer cuál es la capacidad real de la línea al tomar en cuenta el flujo del proceso y la capacidad de la estación anterior, además de descartar las unidades que no son aceptables.

3.10. Índice de estaciones teóricas

Este valor se calcula de acuerdo con la fórmula No., este es la división del tiempo estándar entre el takt time, de esta manera se conocerá teóricamente cuantos recursos son necesarios para poder cumplir con el tiempo mínimo en el que se tiene que producir cada unidad.

Una vez que se tiene el conocimiento para poder interpretar cada uno de los indicadores presentes en la plantilla necesarios para poder conocer la capacidad real del proceso, se procederá a explicar la situación en la que se encuentra la línea.

Capacidad de subensamble Detector

En la Tabla 26, se muestra el análisis de capacidad para el subensamble Detector.

DETECTOR- JAVA												
N°	Operaciones	Tiempo estándar (sec/unit)	Estaciones Teóricas requeridas	Estaciones Reales por línea	Curva	Yield	A Producir	Flujo de la Línea (sec/unit)	Utilización	Capacidad diaria (Yield 100%)	Capacidad Yileada	Takt Time (Sec/unit)
1	Optical Assembly	180,8	1,2	2,00	100%	100%	182	90,4	58%	313	313	156
2	Detector Welding	112,1	0,7	1,00	100%	100%	182	112,1	72%	253	253	156
3	Detector Assembly	941,2	3,5	4,00	95%	94,5%	182	247,7	93%	195	185	266
4	Detector testing	199,2	0,7	1,00	100%	99,5%	172	199,2	71%	243	184	281
Sumatoria		1433	6	8		94,0%				195	184	

Tabla 26 Work Content Graph Inicial Detector

Como se puede observar en la tabla No.26. sobre el análisis de capacidad del subensamble Detector, se tiene una capacidad de 184 unidades por día luego de castigar el 94% que se obtiene del Yield de la línea de producción el cuál se desglosa con un 94,5% en Detector Assembly y un 99,5% en Detector Testing, además de castigar un 95% de curva de aprendizaje en Detector Assembly, al tener personas con menos de 3 meses en esa operación.

La capacidad de la línea sin castigarle ningún factor de Yield o curva de aprendizaje es de 11 unidades por arriba a la real, es decir al perder un 6% de Yield y un 5% de curva de aprendizaje, se pierden 11 unidades de la capacidad total.

También se puede observar que el tiempo de takt time de las operaciones 1 y 3 es menor que el tiempo estándar de las mismas, siguiendo la metodología Lean sería una recomendación agilizar el proceso para poder reducir el tiempo estándar y de esa manera utilizar menos recursos para producir.

Las utilizaciones dentro de la línea de producción están entre un 58% hasta un 93% con la demanda de ese momento, al ser la demanda menor que la capacidad yileada los datos se muestran en verde.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que para la demanda mayor de Detector es de 602 unidades diarias, lo cual no se cumple ni con el 100% de yield meta en la línea. En la tabla N. se muestra el análisis de capacidad instalada actual con la demanda futura.

Análisis de capacidad con demanda futura

DETECTOR- JAVA												
N°	Operaciones	Tiempo estándar (sec/unit)	Estaciones Teóricas requeridas	Estaciones Reales por línea	Curva	Yield	A Producir	Flujo de la Línea (sec/unit)	Utilización	Capacidad diaria (Yield 100%)	Capacidad Yileada	Takt Time (Sec/unit)
1	Optical Assembly	180,8	4,3	2,00	100%	100%	681	90,4	217%	313	313	42
2	Detector Welding	112,1	2,7	1,00	100%	100%	681	112,1	270%	253	253	42
3	Detector Assembly	941,2	13,2	4,00	95%	94,5%	681	247,7	348%	195	185	71
4	Detector testing	199,2	2,6	1,00	100%	99,5%	643	199,2	265%	243	184	75
Sumatoria		1433	23	8		94,0%				195	184	

Tabla 27 Work Content Graph Detector con demanda futura

Como se puede observar en la tabla No.27 sobre el análisis de capacidad del subensamble Detector con la demanda futura de 602 unidades las utilizaciones de todas las estaciones de trabajo van entre 217% hasta 348% lo cual no cumple con el estándar de la empresa, el cual indica que la utilización óptima de las estaciones de trabajo debe de estar en un rango entre 85% hasta 90% para cumplir satisfactoriamente la demanda sin arriesgar capacidad.

Cabe destacar que se realiza esta simulación con el mismo porcentaje de Yield que manejamos en el estado actual, esto ya que no es certero si en el futuro este podría mejorar.

Luego de este análisis se llega a la conclusión de que es necesario tomar medidas para aumentar la capacidad instalada de la línea de detector ya que esta no está en condiciones para cumplir con la demanda futura.

Capacidad de subensamble Source

En la Tabla No.28, se muestra el análisis de capacidad para el subensamble Source.

SOURCE - JAVA												
N°	Operaciones	Tiempo estándar (sec/unit)	Estaciones Teóricas requeridas	Estaciones Reales por línea	Curva	Yield	A Producir	Flujo de la Línea (sec/unit)	Utilización	Capacidad diaria (Yield 100%)	Capacidad Yileada	Takt Time (Sec/unit)
1	Source Assembly (Op 10)	553,8	4,1	4,2	100%	99,6%	212	131,9	99%	215	214	134
2	Horno 1	131,9	1,0	1,0	100%	100,0%	211	131,9	98%	215	215	134
3	Burn in test (Equipo)	896,8	3,9	4,0	100%	100,0%	211	224,2	98%	216	214	229
4	Source Burn in test (Op 20)	201,7	0,9	3,0	80%	85,3%	211	84,0	37%	576	182	229
5	Horno 2	67,2	0,3	1,0	100%	100,0%	180	67,2	25%	720	182	269
Sumatorio		756	5	7		85,0%				215	182	

Tabla 28 Work Content Graph inicial de Source

Como se puede observar en la tabla No.28 sobre el análisis de capacidad del subensamble Source, se tiene una capacidad de 182 unidades por día luego de castigar el 85% que se obtiene del Yield de la línea de producción, además de castigar un 80% de curva de aprendizaje en Source Burn in Test, al tener personas con menos de 3 meses en esa operación.

La capacidad de la línea sin castigarle ningún factor de Yield o curva de aprendizaje es de 33 unidades por arriba a la real, es decir al perder un 15% de Yield y un 10% de curva de aprendizaje, se pierden 33 unidades de la capacidad total.

También se puede observar que el tiempo de takt time de las operaciones 1 y 3 es menor que el tiempo estándar de las mismas, siguiendo la metodología Lean sería una recomendación agilizar el proceso para poder reducir el tiempo estándar y de esa manera utilizar menos recursos para producir.

Las utilizaciones dentro de la línea de producción están entre un 25% hasta un 99% con la demanda de ese momento, al ser la demanda menor que la capacidad yileada los datos se muestran en verde.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que para la demanda mayor de Source es de 559 unidades diarias, lo cual no se cumple ni con el 100% de yield meta en la línea. En la tabla No.29. se muestra el análisis de capacidad instalada actual con la demanda futura.

SOURCE - JAVA												
N°	Operaciones	Tiempo estándar (sec/unit)	Estaciones Teóricas requeridas	Estaciones Reales por línea	Curva	Yield	A Producir	Flujo de la Línea (sec/unit)	Utilización	Capacidad diaria (Yield 100%)	Capacidad Yileada	Takt Time (Sec/unit)
1	Source Assembly (Op 10)	553,8	15,1	4,2	100%	99,6%	773	131,9	360%	215	214	37
2	Horno 1	131,9	3,6	1,0	100%	100,0%	770	131,9	358%	215	215	37
3	Burn in test (Equipo)	896,8	14,3	4,0	100%	100,0%	770	224,2	357%	216	214	63
4	Source Burn in test (Op 20)	201,7	3,2	3,0	80%	85,3%	770	84,0	134%	576	182	63
5	Horno 2	67,2	0,9	1,0	100%	100,0%	657	67,2	91%	720	182	74
Sumatorio		756	18	7		85,0%				215	182	

Tabla 29 Work Content Graph Source con demanda futura

Como se puede observar en la tabla No.29. sobre el análisis de capacidad del subensamble Source con la demanda futura de 559 unidades las utilizations de todas las estaciones de trabajo van entre 91% hasta 360% lo cual no cumple con el estándar de la empresa, el cual indica que la utilización óptima de las estaciones de trabajo debe de estar en un rango entre 85% hasta 90% para cumplir satisfactoriamente la demanda sin arriesgar capacidad.

Cabe destacar que se realiza esta simulación con el mismo porcentaje de Yield que manejamos en el estado actual, esto ya que no es certero si en el futuro este podría mejorar.

Luego de este análisis se llega a la conclusión de que es necesario tomar medidas para aumentar la capacidad instalada de la línea de detector ya que esta no está en condiciones para cumplir con la demanda futura.

A continuación, en el grafico No.30 se muestra visualmente la discrepancia entre el tiempo estándar y el Takt Time.

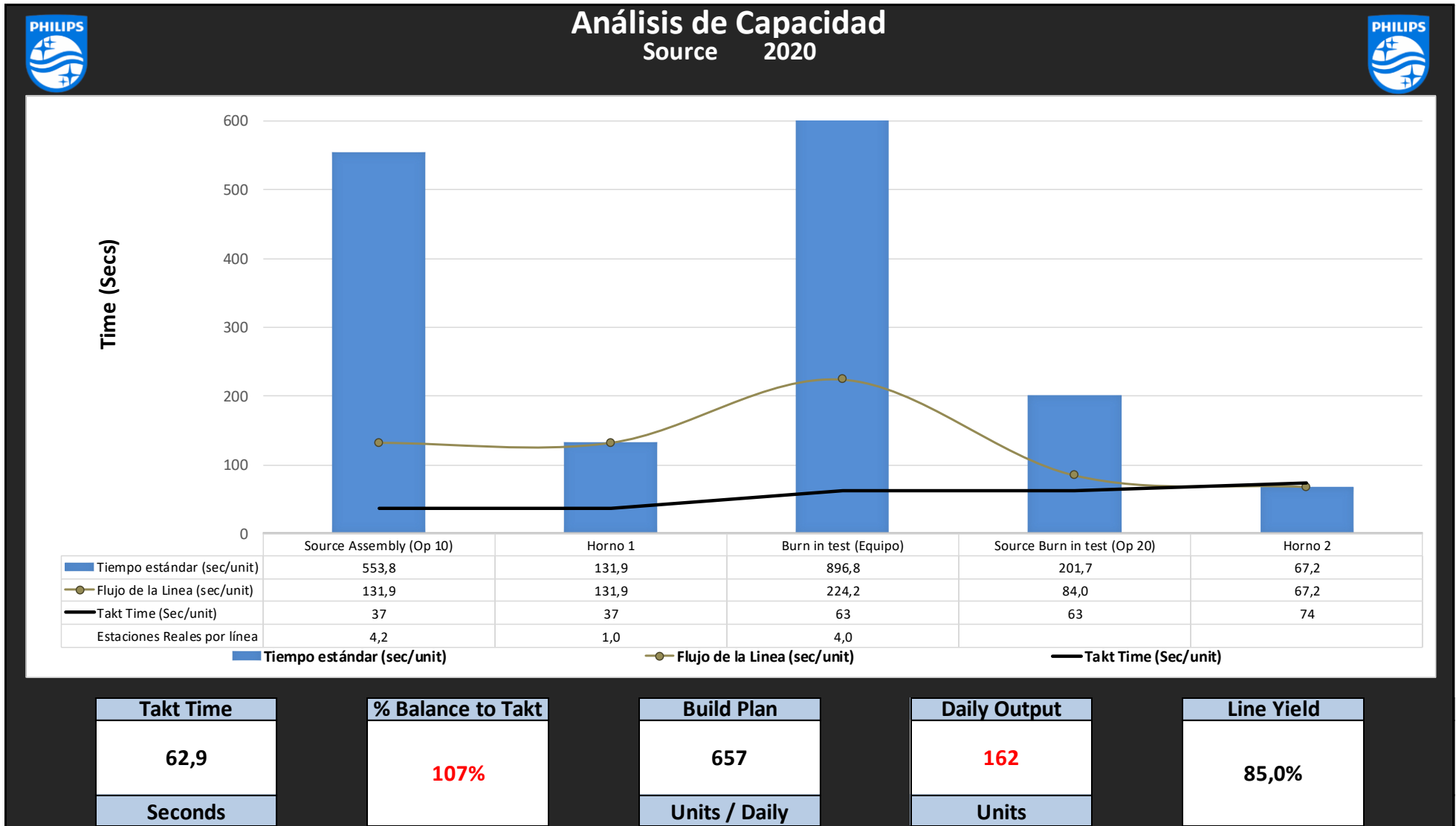


Tabla 30 Análisis de Capacidad de Source 2020

Como se puede observar en el grafico No.30 donde se muestra la capacidad instalada de la línea final de manera

gráfica, se puede observar que hay operaciones con tiempos de ciclo muy altos que sobre pasan por mucho el takt time, como lo son Source Assembly, Burn in Test, además, se puede observar que el flujo de la línea es mayor al valor del takt time yileado, lo que quiere decir que estas operaciones tienen una capacidad de producir unidades más lento al tiempo requerido por el takt time para poder satisfacer la demanda.

Determinación del cuello de botella

Las operaciones cuello de botella son las que presentan los tiempos de flujo de línea mucho mayores que el tiempo de takt time de la operación, estas operaciones son la Source Assembly y Burn in Test principalmente.

En la tabla No.29 se puede observar que la operación con mayor utilización es Source Assembly, lo que me permite en conjunto con el análisis del índice del flujo de línea con respecto al takt time de la operación estimar que esta operación es el mayor cuello de botella de la operación, se puede observar en dicha tabla que el valor del takt time de este proceso es de 37 segundos por unidad y el flujo de la línea es mucho mayor, siendo este de 139 segundos, siendo este mayor que el takt time.

A continuación, en la siguiente figura se presenta un Ishikawa con un resumen de todas las causas encontradas para el problema en estudio.

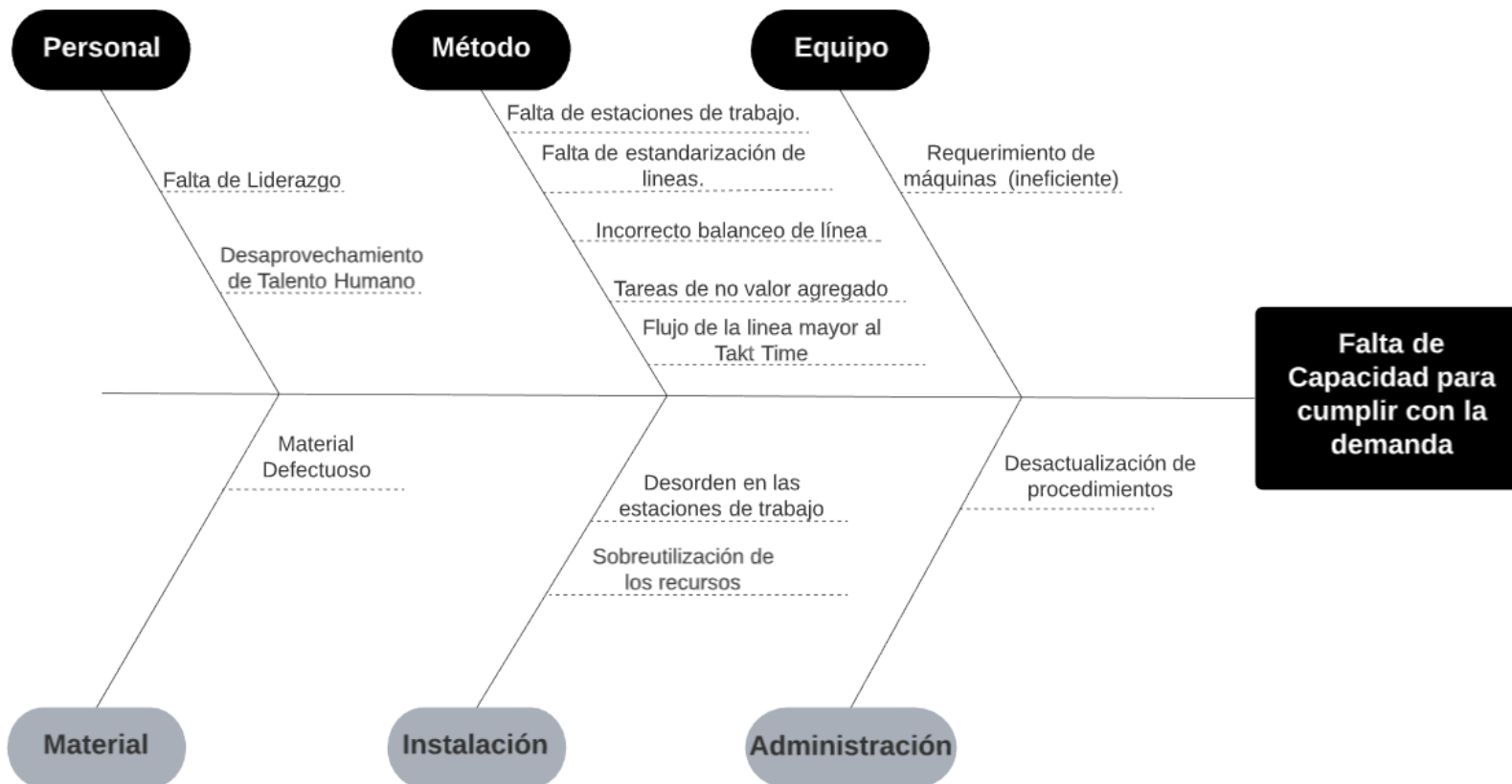


Diagrama 8 Ishikawa

Como se puede observar en el diagrama 8 se tienen múltiples causas que se han analizado a lo largo del diagnóstico de la situación actual.

Inicialmente se tienen las asociadas al factor del material se tiene material defectuoso, esto se da en la estación que poseen un yield menor a 100% y se evidencia con la cantidad de scrap que se genera en la operación.

También se tiene el problema de una mala disposición de materiales, ya que debido a una falta de comunicación con los *wire spiders* (suplidores de los materiales para las líneas de producción) las personas no realizan la notificación del requerimiento del nuevo material hasta que ya este se ha acabado y, por lo tanto, esto produce esperas en el proceso, que a largo plazo también van a representar una reducción en la capacidad de la línea.

En la siguiente espina se encuentra el factor de instalación, en este caso las causas presentes son el desorden en las estaciones, este desorden se da porque en varias estaciones no se están siguiendo los estándares de 6^ˆS y la sobre utilización de los recursos, dicha sobre utilización se da debido a que se aumentó la demanda y no se ha tenido una correcta planificación en la distribución de los recursos.

Luego con la referencia a equipo se habla del requerimiento presente por la ineficiencia de la prueba burn in test, es una de las causas que afectan más el flujo de la línea ya que tiene la capacidad máxima menor a la demanda futura, por tanto, se convierte en una de las mayores limitantes del proceso y, por tanto, se debe de buscar mejorar la capacidad de la misma ya sea reduciendo el tiempo de ciclo de la máquina o aumentando el tiempo disponible para que esta máquina opere.

En el método se tiene falta de estandarización en las líneas, esto se da debido a que algunos operarios no siguen el instructivo de las operaciones, lo que genera que algunos realicen más movimientos y por esto, tengan una capacidad menor a la definida para la operación.

Se tiene como causa de método también el balanceo incorrecto de la línea de manera que hay recursos más utilizados que otros.

También varias tareas de no valor agregado como lo son algunos transportes e inspecciones, pero son necesarios para el correcto funcionamiento de la manufactura del subensamble.

Además el valor del takt time es menor al flujo de línea, con esto lo que se logra evidenciar es que con los tiempos estándar existentes y con los recursos con los que se cuenta en la actualidad no se va a poder cumplir con la demanda requerida ya que el takt time marca el ritmo máximo al que se tiene que producir cada pieza y el flujo de línea el ritmo al que la operación tiene la capacidad de entregar una unidad a la siguiente estación, por tanto, es indispensable encontrar la manera de reducir el tiempo del Flow line o de aumentar el tiempo del takt time.

En las causas de administración está presente la desactualización de los procedimientos, esto también es una causa que afecta la capacidad de la línea ya que hay operaciones como Detector Assembly con tareas innecesarias pero que se exige que se realicen en el instructivo de la operación.

En la espina referente a las causas personales se encuentran la falta de liderazgo y de aprovechamiento del talento humano, esto se da debido a que hay operarios estrellas en múltiples operaciones sin embargo los mantienen en operaciones que no les agradan y esto genera un descontento en los operarios que a la larga se puede convertir en un factor de desmotivación y por esto mismo, se puede dar la afectación de la capacidad del operario. Y con respecto a la falta de liderazgo, lo que sucede es que entre el líder y colaboradores no se mantiene una buena comunicación de manera que hace falta mejorar la motivación de estos para que su desempeño sea el más eficiente posible.

Siguiendo con el análisis del diagrama de Ishikawa se realiza una segregación de las categorías por frecuencias, esto para realizar un porcentaje acumulado que muestra la categoría que se debe atacar y cuales se pueden descartar por el momento. Como se ve en la siguiente tabla, se puede observar la frecuencia, porcentaje y porcentaje acumulado de las causas del diagrama de Ishikawa.

Categorías	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Administración	1	8%	8%
Material	1	8%	17%
Equipo	1	8%	25%
Personal	2	17%	42%
Instalación	2	17%	58%
Método	5	42%	100%
Total	12	100%	

Tabla 31 Tabla de frecuencias del Ishikawa

Luego analizar el comportamiento de las frecuencias de las causas de la falta de capacidad del cuarto para cumplir la demanda se obtiene el siguiente gráfico:

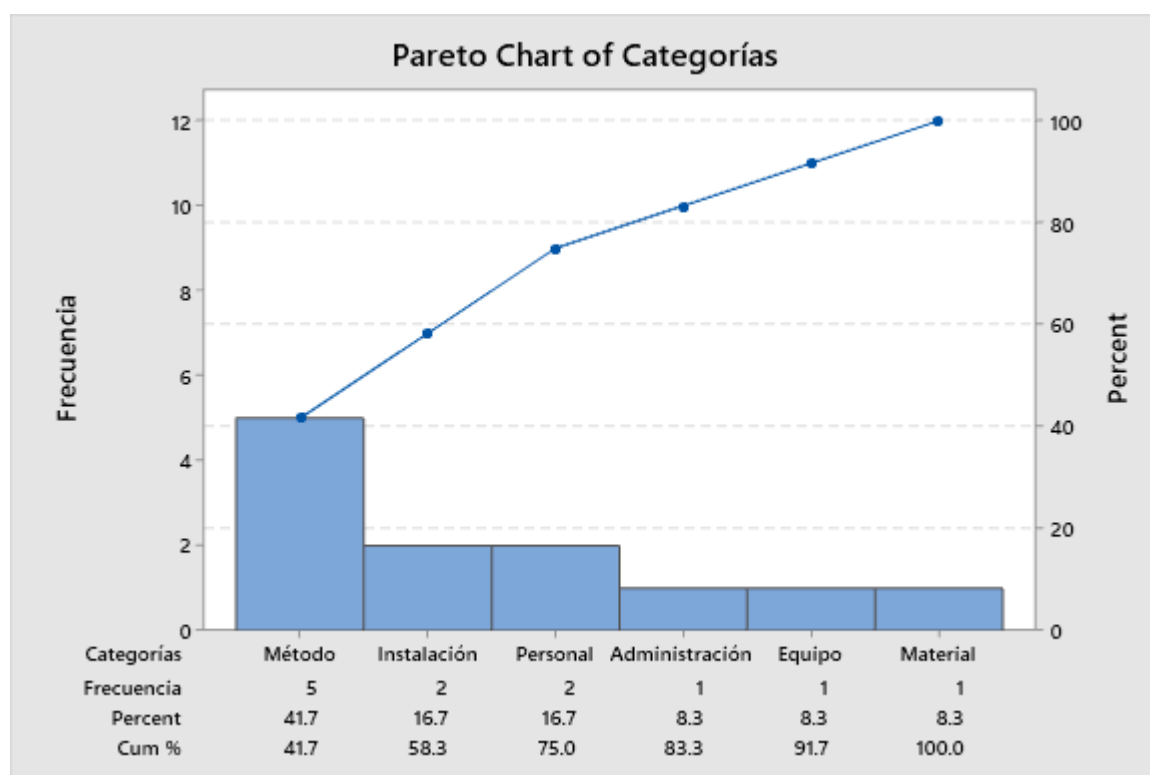


Diagrama 9 Pareto

Como se puede observar en el grafico No.9 se debe atacar inicialmente método, instalación, personal y administración, ya que corresponden a un 83.3% de las causas por las cuales no se está logrando llegar a la meta, sin embargo, al estar correlacionadas, al momento de trabajar en el método se van a trabajar en aspectos de las demás causas.

Aspecto económico del incumplimiento con la demanda

Para medir el impacto que se podría tener si no se logra cumplir con la demanda se realiza un análisis con los costos de realización y de venta con respecto a la demanda de los meses julio y agosto de los sensores de capnografía de líneas finales, los cuales son surtidos por las líneas de subensambles. A continuación, se presentan dos tablas con la información con relación a lo menciona anteriormente:

Subensambles	
Producto	Costo de realización
Source	\$13.85
Detector	\$18.52

Tabla 32 Costo de cada Subensamble

Como se pudo observar en la tabla No.32 se presenta la información en relación al costo de producir un subensambles, ya sea Source o Detector. El costo de realización del Detector es mayor ya que este posee subensambles más costosos como las tarjetas que se utilizan para ensamblar el mismo.

A continuación, se presenta la tabla con relación a líneas finales:

Línea Final		
Producto	Costo de realización	Precio de Venta
Mainstream	\$67.61	\$218.44
LoFlo	\$106.56	\$474.00
Capnotrak	\$126.18	\$522.00

Tabla 33 Costo de Ensamblados finales

Se puede observar que las líneas finales poseen altos costos de realización, cada uno posee un Source y un detector dentro de su ensamble. Sin embargo, la ganancia por cada ensamble es alta, como se puede observar en la siguiente tabla:

Linea Final	
Producto	Ganancia
Mainstream	\$150.83
LoFlo	\$367.44
Capnotrak	\$395.82

Tabla 34 Ganancias sensores de capnografía

Las ganancias de los sensores de capnografía superan los \$150, como se puede observar Mainstream con una ganancia de \$150.83, LoFlo \$367.44 y Capnotrak \$395.82, la cantidad de personas que trabajan dentro de una línea final en promedio es de 20 a 25.

Seguidamente se presenta una tabla de Mainstream con la demanda de julio y agosto para realizar un aproximado de lo que se podría perder al no lograr cumplir con la demanda:

Mainstream				
Mes	Semana	Demanda	Días Efectivos	Cantidad de piezas
Julio	27	187	6	1122
	28	282	6	1692
	29	282	6	1692
	30	354	6	2124
	31	354	6	2124
TOTAL				8754
Agosto	32	354	6	2124
	33	354	6	2124
	34	354	6	2124
	35	354	6	2124
TOTAL				8496
PROMEDIO				8625

Tabla 35 Demanda de Mainstream

En la tabla No.35 se puede observar cómo se comportó la demanda de julio y agosto, esto quiere decir que para el mes de julio la cantidad unidades necesaria es de 8754 y para agosto 8496, esto para llevarnos a un promedio de 8625 unidades por mes para Mainstream.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de Source y Detector necesarios y su costo acumulado, además de la cantidad de dinero que se perdería al no lograr el cumplimiento de Mainstream:

Mainstream						
Mes	Costo de realización	Precio de venta	Cantidad de piezas	Costo Total de Producir	Precio de Venta	Ganancia
Source	\$13.85	N/A	8625	\$119,456.25	N/A	N/A
Detector	\$18.52	N/A	8625	\$159,735.00	N/A	N/A
Ensamble Final	\$67.61	\$218.44	8625	\$583,136.25	\$1,884,045.00	\$1,300,908.75

Tabla 36 Tabla de costos para Mainstream

Esto quiere decir que al no cumplir con la demanda se perderían \$1,300,908.75 dólares, casi 800 millones de colones al tipo de cambio del 18 de nov. de 2020.

Seguidamente se va a presentar el mismo análisis para la línea final LoFlo:

LoFlo				
Mes	Semana	Demanda	Días Efectivos	piezas semanales
Julio	27	58	6	348
	28	90	6	540
	29	90	6	540
	30	118	6	708
	31	118	6	708
TOTAL				2844
Agosto	32	118	6	708
	33	118	6	708
	34	118	6	708
	35	118	6	708
TOTAL				2832
PROMEDIO				2838

Tabla 37 Demanda de LoFlo

En la tabla No.37 se puede observar cómo se comportó la demanda de julio y agosto, esto quiere decir que para el mes de julio la cantidad unidades necesaria es de 2844 y para agosto 2832, esto para llevarnos a un promedio de 2838 unidades por mes para LoFlo.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de Source y Detector necesarios y su costo acumulado, además de la cantidad de dinero que se perdería al no lograr el cumplimiento de LoFlo:

LoFlo						
Mes	Costo de realización	Precio de venta	Cantidad de piezas	Costo Total de Producir	Precio de Venta	Ganancia
Source	\$13.85	N/A	2838	\$39,306.30	N/A	N/A
Detector	\$18.52	N/A	2838	\$52,559.76	N/A	N/A
Ensamble Final	\$106.56	\$474.00	2838	\$302,417.28	\$1,345,212.00	\$1,042,794.72

Tabla 38 Tabla de costos para LoFlo

Esto quiere decir que al no cumplir con la demanda se perderían \$1,300,908.75 dólares, casi 650 millones de colones al tipo de cambio del 18 de nov. de 2020.

Seguidamente se va a presentar el mismo análisis para la línea final Capnotrak:

Capnotrak				
Mes	Semana	Demanda	Días Efectivos	Cantidad de piezas semanales
Julio	27	0	6	0
	28	0	6	0
	29	24	6	144
	30	24	6	144
	31	24	6	144
TOTAL				432
Agosto	32	18	6	108
	33	18	6	108
	34	18	6	108
	35	18	6	108
TOTAL				432
PROMEDIO				432

Tabla 39 Demanda para Capnotrak

En la tabla No.39 se puede observar cómo se comportó la demanda de julio y agosto, esto quiere decir que para el mes de julio la cantidad unidades necesaria es de 432 y para agosto 432, esto para llevarnos a un promedio de 432 unidades por mes para Capnotrak.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de Source y Detector necesarios y su costo acumulado, además de la cantidad de dinero que se perdería al no lograr el cumplimiento de Capnotrak:

Capnotrak						
Mes	Costo de realización	Precio de venta	Cantidad de piezas	Costo Total de Producir	Precio de Venta	Ganancia
Source	\$13.85	N/A	432	\$5,983.20	N/A	N/A
Detector	\$18.52	N/A	432	\$8,000.64	N/A	N/A
Ensamble Final	\$126.18	\$522.00	432	\$54,509.76	\$225,504.00	\$170,994.24

Tabla 40 Tabla de costos de Capnotrak

Esto quiere decir que al no cumplir con la demanda se perderían \$170,994.24 dólares, casi 104 millones de colones al tipo de cambio del 18 de nov. de 2020.

En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los análisis realizados a cada línea final con respecto a los subensambles.

Sensores de Capnografía			
Mes	Costo Total de Producir	Precio de Venta	Ganancia
Source	\$164,745.75	N/A	N/A
Detector	\$220,295.40	N/A	N/A
Ensamble Final	\$940,063.29	\$3,454,761.00	\$2,514,697.71

Tabla 41 Resumen de tablas de costos y ganancia

Al realizar la tabla No. se puede evidenciar un resumen de la cantidad total de dinero que se puede perder al no cumplir con la demanda de los subensambles, esto ya que todo va en cadena, si no hay subensambles tampoco

hay sensores de capnografía, esto para un total de \$2,514,697.71 lo cual se traduce a 1,520,763,010.75 millones de colones.

Análisis de los modos de falla del proceso de Detector

Otra de las causas rastreables para la incapacidad de la línea de alcanzar la demanda del cliente, es la gran cantidad de piezas que se pierden día con día con las fallas producidas en el proceso, los tipos de fallas rastreadas por el equipo de producción se encuentran listadas en la tabla No. 42.

Tipos de fallas
Detector con lentes dañados
Tarjeta dañada
Flex dañado
Termistor dañado
Detector con fallo de cables
Bloque separado
Detector con cables rotos
Rayas en el detector
Bloque óptico dañado
Espejo dañado
Detector con falta de Epoxy
Exceso de goma o adhesivo
Detector roto
Soldadura insuficiente
Referencia dañada
Humedad en el área activa del detector
Falla general
Optical nLook dañado
Falla de Welding
Welding insuficiente

Tabla 42 Tipos de falla Detector

Pareto de modos de falla.

Estos modos de falla son cuantificados de manera que sea posible encontrar aquellos que ocurren con mayor frecuencia, de manera que sea posible trabajar con aquellos que generen mayores consecuencias a nivel productivo. 48 Esta clasificación puede ser vista en el siguiente diagrama de Pareto, representado en el

Cuadro No. 15, y la tabla No. 43, donde se muestran las principales causas con mayor peso en las consecuencias del proceso.

Tipos de falla	Cantidad	%	Acumulado
Detector con lentes dañados	1004	44	44
Tarjeta dañada	315	14	58
Flex dañado	157	7	65
Exceso de Epoxy	143	6	71
Termistor dañado	111	5	76
Detector con fallo de cables	100	4	80
Bloque separado	99	4	84
Detector con cables rotos	92	4	89
Rayas en Detector	52	2	91
Bloque óptico dañado	68	3	94
Espejo dañado	33	1	95
Detector con falta de Epoxy	28	1	96
Exceso de Goba o Adhesivo	26	1	98
Detector roto	19	1	98
Soldadura insuficiente	12	1	99
Referencia dañada	9	0	99
Humedad en el área activa del detector	5	0	100
Falla general	4	0	100
Optical nLock dañado	3	0	100
Falla de Welding	2	0	100
Welding insuficiente	1	0	100

Tabla 43 Cantidad de fallas por tipo

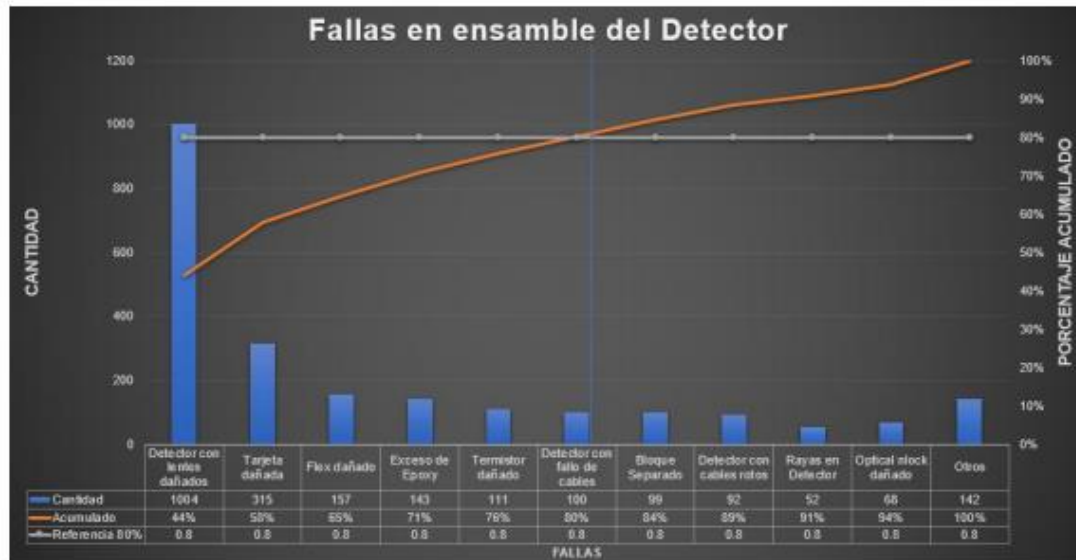


Gráfico 23 Fallas en ensamble del Detector

En el mismo, puede ser apreciado que el 80% de las fallas son causadas por solo 6 de los 21 modos de falla que son rastreados actualmente, un 29% del total de los modos de falla, lo cual sigue, de manera relativa, el principio de Pareto.

Clasificación de modos de falla.

Estos modos de falla, además son agrupados mediante el método alfa, beta, gamma, con el objetivo de determinar aquellos puntos de mayor criticidad para ser atacados, utilizando la siguiente métrica para realizar la clasificación:

Clasificación 1, 2 y 3, y ABC:

en la tabla No. 44. Criterios de clasificación 123 y ABC para clasificación de modos de falla en línea de Detector.

Clasificación	Criterio
1	Aquellos modos de falla que agrupen hasta el 80% de las fallas reportadas.

Clasificación	Criterio
2	Aquellos modos de falla que agrupen más del 80%, pero menos del 95% de las fallas reportadas
3	Aquellos modos de falla que agrupen más del 95% en delante de las fallas reportadas
A	Aquellos modos de falla se encuentren en la parte final del proceso productivo
B	Aquellos modos de falla que se encuentren a la mitad del proceso productivo
C	Aquellos modos de falla que se encuentren al inicio del proceso productivo.

Tabla 44 Criterios de clasificación 123 y ABC para clasificación de modos de falla en línea de Detector.

2.2. Clasificación Alfa, Beta, Gamma.

		Clasificación ABC		
		A	B	C
Clasificación 123	1	α	α	α
	2	α	β	β
	3	α	β	γ

Tabla 45 Criterios de clasificación Alfa, Beta, Gamma.

Dados estos criterios de clasificación, se presenta la clasificación de los modos de falla en la tabla No. 45. de los modos de falla representándose en ella la criticidad de los modos de falla a ser atacados.

Tipo de falla	Acumulad o 123	Punto en el proceso	ABC	Alfa, Beta, Gamma	
Detector con lentes dañados	44	1	Inicio	C	Alfa
Tarjeta dañada	58	1	Final	A	Alfa
Flex dañado	65	1	Final	A	Alfa
Exceso de Epoxy	71	1	Medio	B	Alfa
Termistor dañado	76	1	Inicio	C	Alfa
Detector con fallo de cables	80	2	Medio	B	Beta
Bloque separado	84	2	Final	A	Alfa
Detector con cables rotos	89	2	Medio	B	Beta
Rayas en Detector	91	2	Inicio	C	Beta
Bloque óptico dañado	94	2	Inicio	C	Beta
Espejo dañado	95	3	Inicio	C	Gamma
Detector con falta de Epoxy	96	3	Medio	B	Beta
Exceso de Goba o Adhesivo	98	3	Medio	B	Beta
Detector roto	98	3	Inicio	C	Gamma
Soldadura insuficiente	99	3	Final	A	Alfa
Referencia dañada	99	3	Inicio	C	Gamma

Tabla 46 Clasificación Alfa Beta Gamma de los modos de falla de la línea Detector.

Tipo de falla	Acumulad o	123	Punto en el proceso	ABC	Alfa, Beta, Gamma
Humedad en el área activa del detector	100	3	Inicio	C	Gamma
Falla general	100	3	Final	A	Alfa
Optical nLock dañado	100	3	Medio	B	Beta
Falla de Welding	100	3	Inicio	C	Gamma
Welding insuficiente	100	3	Inicio	C	Gamma

Tabla 47 Clasificación Alfa Beta Gamma de los modos de falla de la línea Detector.

A partir de esta clasificación, se señala que aunque hay varios modos de falla que son clasificados con la categoría de Alfa, estos deben ser ordenados en base de su criticidad para el proceso, y el verdadero impacto que estos pueden tener en el proceso, ya que aunque un modo de falla sea clasificado como Alfa, puede que se encuentre fuera de las áreas que pueden generar el mayor impacto, como por ejemplo, que se encuentre en el final del proceso, haciendo que se pierda todo el trabajo que se le dio a esta pieza, sin embargo, representando solamente un porcentaje mínimo de las fallas reportadas.

Por este motivo, entonces se determina la clasificación de los modos de falla, representada en la tabla No. 48, que son designados con la categoría Alfa, donde además se toma en cuenta el orden de los modos de falla con respecto a las clasificaciones 123, y ABC.

Tipo de falla	123	ABC	Alfa, Beta, Gamma
Tarjeta dañada	1	A	Alfa
Flex dañado	1	A	Alfa
Exceso de epoxy	1	B	Alfa

Tabla 48 Clasificación ordenada de los modos de falla de criticidad alfa para la línea Detector.

Tipo de falla	123	ABC	Alfa, Beta, Gamma
Detector con lentes dañado	1	C	Alfa
Termistor dañado	1	C	Alfa
Bloque dañado	2	A	Alfa
Soldadura insuficiente	3	A	Alfa
Falla general	3	A	Alfa

Tabla 49 Clasificación ordenada de los modos de falla de criticidad alfa para la línea Detector.

A partir de esto, se obtiene la anterior clasificación de la criticidad en la que debieran ser atacados los tipos de fallas. Teniendo prioridad aquellos modos de falla que se encuentran en primer lugar en la clasificación, siendo estos los modos de falla de Tarjeta dañada, Flex dañado y Exceso de epoxy en primer lugar, siendo de mayor criticidad, los primeros dos, debido a que se encuentran entre las causas que producen el 80% de las fallas, así como también se encuentran al final del proceso, lo que está produciendo una pérdida de trabajo dedicado a las piezas importante.

Costo de los modos de falla.

Sabiendo que el costo, al punto final del proceso de las piezas de la línea de ensamble Detector, es de \$ 18.52 por pieza, según el departamento de finanzas, se realiza el siguiente análisis de los costos semanales promedio que se obtienen por estos modos de falla.

Modos de falla									
Tarjeta dañada					Flex dañado				Promedio
Semana	Scrap	Total	%	Costo Semana	Scrap	Total	%	Costo Sema (\$)	
33	10	146	7	185.20	22	146	15	407.44	\$485.64
34	40	265	15	740.80	29	265	11	537.08	
35	44	222	20	814.88	16	222	7	296.32	
36	18	163	11	333.36	3	163	2	55.56	
37	38	337	11	703.76	15	337	4	277.80	
38	38	479	8	703.76	12	479	3	222.24	
39	51	521	10	944.52	22	521	4	407.44	
40	47	590	8	870.44	22	590	4	407.44	
41	29	383	8	537.08	16	383	4	296.32	

Tabla 50 Costos semanales de las fallas producidas por los modos de falla de tarjeta y Flex dañados

Determinándose un costo por semana promedio de \$ 485.64, o, a escala anual, \$ 25,700.

Además, se menciona que estos dos modos de falla se generan en la operación de Detector Assembly, en el momento en que se suelda el L Flex, con el Detector.

Actualmente, los operarios trabajan con un fixture que les permite realizar esta soldadura de manera que la pieza no se mueva, pero el fixture como tal no fue diseñado para esta tarea, sino que es utilizado en una parte anterior del proceso, adaptándolo, instalando un trozo de aplicador en una ranura para que sirva de apoyo para el proceso. Este fixture puede apreciarse en la Figura No. 2.



Figura 2 Fixture actualmente utilizado para soldadura de L Flex.

Sin embargo, solo es posible utilizar este fixture para uno de los dos modelos de Detector que se trabajan, el utilizado en el ensamble de la línea de Mainstream, sin embargo, el proceso del Detector para la línea de Loflo no puede ser realizado utilizando este mismo proceso debido a que el L Flex tiene una orientación contraria, haciendo que sea en este modelo donde se producen la mayor parte de los defectos en las piezas. Ambos modelos pueden ser observados en las Figuras No. 3, y No. 4.

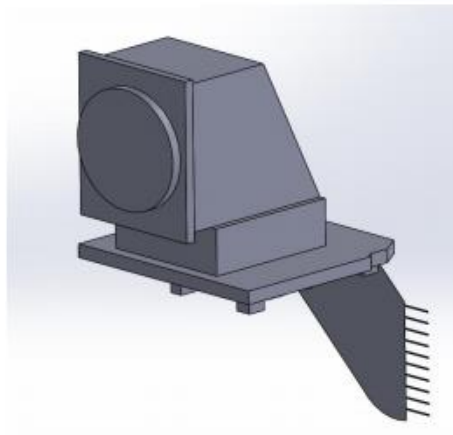


Figura 3 Ensamble de Detector Loflo.

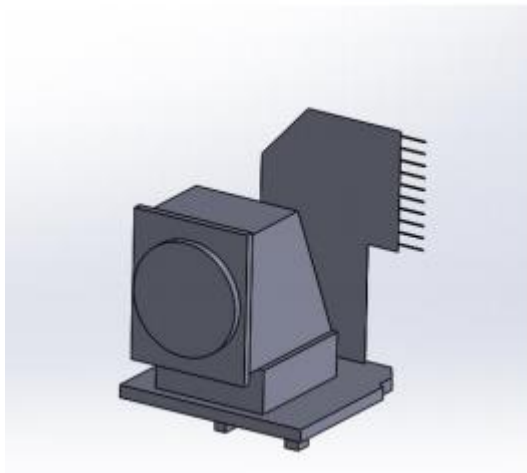


Figura 4 Ensamble de Detector Mainstream.

En ambos casos, puede visualizarse que la pieza es fundamentalmente igual, con el único cambio siendo el tipo de parte “L Flex”, siendo el componente de menor tamaño en el modelo Loflo que en el modelo Mainstream, donde se señala que se suelda de manera inversa.

Conclusiones de la situación actual

1. En Source se da un aumento de la demanda de 70 unidades diarias en enero a 559 unidades diarias para agosto, quiere decir que tuvo un aumento de un 698%, lo que afecta directamente la capacidad instalada de la línea ya que esta solo posee capacidad de manufacturar 2,8 lotes diarias, lo que significa que solo posee capacidad de producir 157 unidades diarias.
2. En Detector se da un aumento de la demanda de 60 unidades diarias en enero a 602 unidades diarias para agosto, quiere decir que tuvo un aumento de un 903%, lo que afecta directamente la capacidad instalada de la línea ya que esta solo posee capacidad de manufacturar 2,5 lotes diarias, lo que significa que solo posee capacidad de producir 145 unidades diarias.
3. Todas las operaciones de Source (Source Assembly y Burn in Test) presentan sobre utilización de hasta 360% al realizar el análisis de capacidad instalada actual con la demanda futura, la cual corresponde a 559 unidades diarias.
4. Todas las operaciones de Detector (Optical Assembly, Detector Welding, Detector Assembly y Detector Testing) presentan sobre utilización de hasta 348% al realizar el análisis de capacidad instalada actual con la demanda futura, la cual corresponde a 602 unidades diarias.
5. La sobre utilización de los recursos de Source y Detector se da cuando el flujo del proceso es mayor al valor del takt time, por esto el porcentaje de utilización dice cuántos recursos requiero para tener la capacidad para cumplir con la demanda.
6. Se determina que la operación cuello de botella del proceso de Detector, es la operación de Detector Assembly. Ya que un lote requiere de 6 horas para poder completarse, lo que está generando una acumulación de inventario de producto en proceso en la línea.

7. Se determina que los modos de falla de Detector que generan más impacto a nivel productivo son los modos de falla de Tarjeta y Flex dañados, puesto acumulan el 21% de las fallas que se producen en la línea, 58 así como ocurren en la parte final del proceso, lo que hace que se pierda todo el trabajo que se invierte en la pieza. Estos modos de falla representan un impacto económico por material y tiempo perdido de \$ 25,000 anuales.

Capítulo V. Diseño e Implementación de la Solución

En el presente capítulo se desarrollan las etapas de Hacer y Validar de la metodología PHVA, donde la etapa de Hacer se refiere al diseño de las propuestas de solución para el problema planteado, y la etapa de validar se refiere a las acciones realizadas para determinar la factibilidad de las propuestas y la obtención de retroalimentación del equipo de producción.

Propuestas para la línea Detector

Propuesta 1, rediseño y rebalanceo de línea Detector:

Debido a que la operación de Detector Assembly representa el cuello de botella del proceso, y marca el tiempo de ciclo productivo que actualmente se ubica en 848 segundos por pieza, lo que se entiende en un tiempo de 6 horas y 28 minutos por lote por operario, y que esto produce que el porcentaje de utilización de los hornos de la línea productiva es relativamente baja puesto que solo se utilizan dos veces en el día para procesar las piezas en sus dos horneados, se separa la operación en unidades más pequeñas de trabajo, puesto que esto incrementaría el uso de la línea productiva.

Se menciona, además, que debido a que este tiempo de ciclo es tan alto, a los operarios no les da tiempo para poder empezar un segundo lote en su turno, y como el proceso requiere el uso de un sistema de manejo empresarial, no pueden empezar el siguiente lote debido a que el operario del siguiente turno no podría continuarlo, por lo que esto limita aún más la capacidad de la línea.

Además, las reducciones de estas unidades de trabajo reducen los tiempos de entrenamiento para los operarios para esta línea productiva, lo que hace más sencillo la obtención de mano de obra para la línea, así como reduce la cantidad de tareas que un solo operario debe realizar, reduciendo las oportunidades de fallo para los operarios.

Separación de tareas en operación Detector Assembly:

Actualmente, la operación de Detector Assembly consiste en las tareas enlistadas en el Cuadro No. 51.

Elemento No.	Descripción	Segundos por pieza
1	Introducción a sistema	5,14
2	Documentación escrita	1,47
3	Unir disipador con espaciador	13,46
4	Hacer Epoxy	2,68
5	Poner Epoxy en ensamble	16,37
6	Poner termistor	14,18
7	Poner Epoxy en termistor	2,69
8	Poner Epoxy en disipador y espaciador	18,42
9	Poner detector y termistor en disipador	12,21
10	Poner Epoxy	6,39
11	Movilizar y llevar a horno	1,43
12	Horno, 30 minutos	0,00
13	Sacar del horno, traer	1,25
14	Colocar flex en calentador y soldar	70,17
15	Aplicar Epoxy en ensamble	60,75
16	Aplicar Epoxy en bloque óptico	29,50
17	Colocar bloque óptico sobre disipador	11,90
18	Inspeccionar, acomodar wire, aplicar Epoxy, colocar en fixture	35,71
19	Movilizarse, colocar piezas en horno	0,99

Tabla 51 Tareas de la operación actual Detector Assembly 1

Elemento No.	Descripción	Segundos por pieza
20	Horno, 30 minutos	0,00
21	Sacar del horno, quitar fixture	1,64
22	Soldar Detector W/Wires y cables del termistor	191,99
23	Soldar L Flex a la tarjeta del detector	104,95
24	Verificación	15,63
25	Cortar pines	20,80
26	Poner etiquetas	30,33
27	Limpiar lentes, acomodar pines	127,51
28	Introducción a sistema	3,39

Tabla 52 Tareas de la operación actual Detector Assembly 2

Para el rediseño se toma en cuenta que en la línea se hace uso de hornos para la producción en dos partes del proceso, por lo que se generan tres propuestas para su posible implementación a nivel producción, una en la que se generan 5 operaciones, y dos donde se manejan 4 operaciones.

- **Primera propuesta: 5 operaciones de trabajo**

Se realiza la separación de las tareas de trabajo según la tabla No. 53, donde se separan ambas tareas que requieren el horneado al finalizar, así como las dos operaciones con soldadura, y la verificación y limpieza de las piezas.

No de ele	Descripción	Seg/piezs	Op A	T Op A	Op B	T Op B	Op C	T Op C	Op D	T Op D	Op E	T Op E
1	MES 1	5.14	✓	5.142284	✓	5.142284	✓	5.142284	✓	5.142284	✓	5.142284
2	Documentación escrita	1.47	✓	1.469224	✓	1.469224	✓	1.469224	✓	1.469224	✓	1.469224
3	Unir disipador con espaciador	13.46	✓	13.455	✗		✗		✗		✗	
4	Hacer Epoxy	2.68	✓	2.676724	✗		✗		✗		✗	
5	Poner Epoxy	16.35	✓	16.353	✗		✗		✗		✗	
6	Poner termistor	14.18	✓	14.1795	✗		✗		✗		✗	
7	Poner Epoxy en termistor	2.69	✓	2.691	✗		✗		✗		✗	
8	Poner Epoxy en el disipador y espaciador	18.42	✓	18.423	✗		✗		✗		✗	
9	Poner piezas de detector y termistor en el disipador	12.21	✓	12.213	✗		✗		✗		✗	
10	Poner epoxy	6.39	✓	6.39	✗		✗		✗		✗	
11	Movilizar y llevar a homo	1.43	✓	1.427586	✗		✗		✗		✗	
12	Homo, 30 minutos	0.00	✓	0	✗		✗		✗		✗	
13	Sacar del homo, traer	1.25	✓	1.249138	✗		✗		✗		✗	
14	Colocar flex en calentador y soldar	70.17	✗		✓	70.173	✗		✗		✗	
15	Aplicar epoxy en ensamble	60.75	✗		✓	60.7545	✗		✗		✗	
16	Aplicar Epoxy en bloque Óptico	29.50	✗		✓	29.4975	✗		✗		✗	
17	Colocar bloque sobre al disipador	11.90	✗		✓	11.9025	✗		✗		✗	
18	Inspección, acomodar wire, aplicar epoxy, colocar en fixture	35.71	✗		✓	35.7075	✗		✗		✗	
19	Colocar piezas al homo	0.99	✗		✓	0.993103	✗		✗		✗	
20	Homo, 30 minutos	0.00	✗		✓	0	✗		✗		✗	
21	Sacar del hom, quitar fixture	1.64	✗		✓	1.641724	✗		✗		✗	
22	Soldar wires (Detector) y cables del termistor	191.99	✗		✓		✓	191.9925	✗		✗	
23	Colocar L. flex a la tarjeta detector	104.95	✗		✓		✓		✓	104.949	✗	
24	Verificación	15.63	✗		✓		✓		✓		✓	15.6285
25	Cortar pines	20.80	✗		✓		✓		✓		✓	20.8035
26	Etiquetas	30.33	✗		✓		✓		✓		✓	30.3255
27	Limpiar lentes, acomodar pines	127.51	✗		✓		✓		✓		✓	127.512
28	MES 2	3.39	✓	3.390517	✓	3.390517	✓	3.390517	✓	3.390517	✓	3.390517

Tabla 53 División de tareas de Detector Assembly en 5 operaciones

Siguiendo esta redistribución de las cargas de trabajo, se señala que la nueva operación cuello de botella sería la operación B, cuyo nuevo tiempo de ciclo sería de 220 en segundos por unidad, lo que tiene como consecuencia que el tiempo requerido para terminar un lote para esta operación es de una hora con 47 minutos, una mejora de casi 5 horas con respecto al valor actual de 6 horas y 28 minutos.

Nuevo balance en primera propuesta.

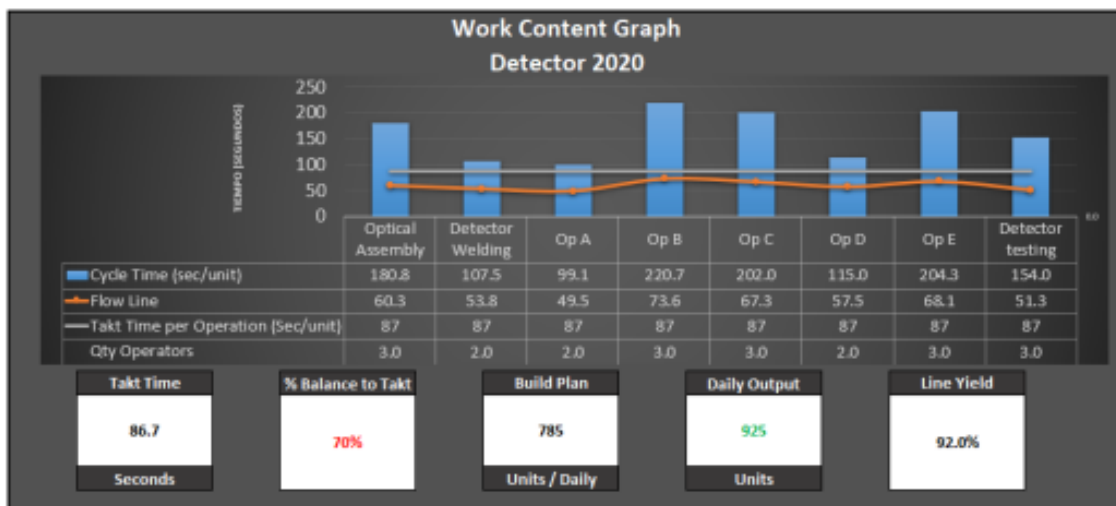


Gráfico 24 Work Content Graph de propuesta de division 1.

Donde se realiza el balance de línea señalado en el Cuadro No. 22.

Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad real	Yield	Utilización
Optical Assembly	180,8	2,1	3	100%	71%
Detector W/Wires	107,5	1,2	2	100%	63%
Operación A	99,1	1,1	2	100%	58%
Operación B	220,7	2,5	3	100%	65%
Operación C	202,0	2,3	3	100%	59%
Operación D	115,0	1,3	2	100%	67%
Operación E	204,3	2,4	3	100%	68%
Detector test	154,0	1,8	3	92%	60%
Total	1283	15	24	92%	--

Tabla 54 Balance de línea de propuesta de división 1

Se señala que esta propuesta tiene como consecuencia directa el aumento en 6 mesas de trabajo la línea productiva, presentando los resultados a nivel de resumen que son expresados en el Cuadro No. 54.

Indicador	Resultado
Meta	785
Output	925
Diferencia	17.8%
Output por hora	45
Output por hora al 100% de yield	49
UPPH	2.1

Tabla 55 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 1.

Con esta propuesta se señala que, en comparación con los resultados actuales, se mejora el output que pasa de 622 unidades diarias a 925 unidades diarias, además se mejora el UPPH de la línea de 2.1 unidades por operario por hora de 1,8 unidades por operario por hora.

- **Segunda propuesta: 4 operaciones de trabajo con horneado junto**

La segunda propuesta une ambas tareas que requieren el horneado al finalizar, y las siguientes siguen el orden de la anterior separación. Esta propuesta es presentada en la Figura No. 27. Figura No. 28. División de tareas de Detector Assembly en 4 operaciones con horneado junto.

No de e len	Descripción	Seg/piezz	Op A	T Op A	Op B	T Op B	Op C	T Op C	Op D	T Op D	Op E	T Op E
1	MES 1	5,14	✓	5,142284	✓	5,142284	✓	5,142284	✓	5,142284	✗	
2	Documentación escrita	1,47	✓	1,469224	✓	1,469224	✓	1,469224	✓	1,469224	✗	
3	Unir disipador con espaciador	13,46	✓	13,455	✗		✗		✗		✗	
4	Hacer Epoxy	2,68	✓	2,676724	✗		✗		✗		✗	
5	Poner Epoxy	16,35	✓	16,353	✗		✗		✗		✗	
6	Poner termistor	14,18	✓	14,1795	✗		✗		✗		✗	
7	Poner Epoxy en termistor	2,69	✓	2,691	✗		✗		✗		✗	
8	Poner Epoxy en el disipador y espaciador	18,42	✓	18,423	✗		✗		✗		✗	
9	Poner piezas de detector y termistor en el disipador	12,21	✓	12,213	✗		✗		✗		✗	
10	Poner epoxy	6,39	✓	6,39	✗		✗		✗		✗	
11	Movilizar y llevar a horno	1,43	✓	1,427586	✗		✗		✗		✗	
12	Horno, 30 minutos	0,00	✓	0	✗		✗		✗		✗	
13	Sacar del horno, traer	1,25	✓	1,249138	✗		✗		✗		✗	
14	Colocar flex en calentador y soldar	70,17	✓	70,173	✗		✗		✗		✗	
15	Aplicar epoxy en ensamble	60,75	✓	60,7545	✗		✗		✗		✗	
16	Aplicar Epoxy en bloque Óptico	29,50	✓	29,4975	✗		✗		✗		✗	
17	Colocar bloque sobre el disipador	11,90	✓	11,9025	✗		✗		✗		✗	
18	Inspección, acomodar wire, aplicar epoxy, colocar en fixture	35,71	✓	35,7075	✗		✗		✗		✗	
19	Colocar piezas al horno	0,99	✓	0,993103	✗		✗		✗		✗	
20	Horno, 30 minutos	0,00	✓	0	✗		✗		✗		✗	
21	Sacar del hom. quitar fixture	1,64	✓	1,641724	✗		✗		✗		✗	
22	Soldar wires (Detector) y cables del termistor	191,99	✗		✓	191,9925	✗		✗		✗	
23	Colocar L flex a la tarjeta detector	104,95	✗		✗		✓	104,949	✗		✗	
24	Verificación	15,63	✗		✗		✗		✓	15,6285	✗	
25	Cortar pines	20,80	✗		✗		✗		✓	20,8035	✗	
26	Etiquetas	30,33	✗		✗		✗		✓	30,3255	✗	
27	Limpiar lentes, acomodar pines	127,51	✗		✗		✗		✓	127,512	✗	
28	MES 2	3,39	✓	3,390517	✓	3,390517	✓	3,390517	✓	3,390517	✗	

Tabla 56 División de tareas de Detector Assembly en 4 operaciones con horneado junto.

Mediante esta propuesta, la nueva operación cuello de botella sería la operación A, que requeriría un tiempo de 309,73 segundos para ser completada. Esto implicaría que el nuevo tiempo para tener listo un lote sería de 2 horas y 30 minutos, comparado a las 6 horas y 28 minutos necesarios actualmente

Nuevo balance en segunda propuesta.

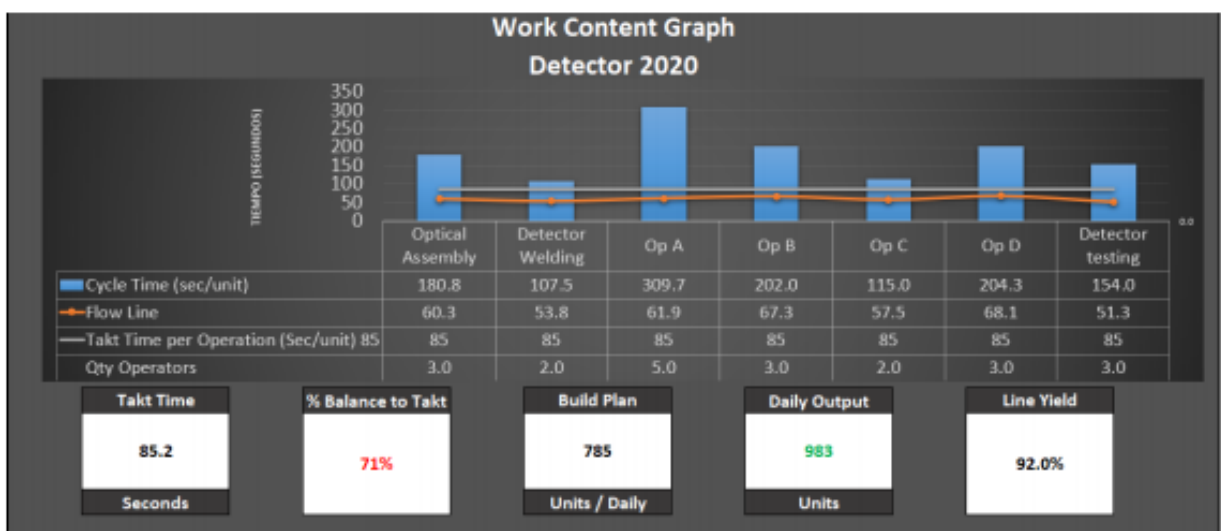


Gráfico 25 Work Content Graph de propuesta de división 2.

Esta propuesta es balanceada según el Cuadro No. 24.

Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad real	Yield	Utilización
Optical Assembly	180,8	2,1	3	100%	85%
Detector W/Wires	107,5	1,3	2	100%	84%
Operación A	309,7	3,6	5	100%	87%
Operación B	220,7	2,4	3	100%	82%
Operación C	202,0	1,3	2	100%	84%
Operación D	115,0	2,4	3	100%	83%
Detector test	154,0	1,8	3	92%	75%
Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad real	Yield	Utilización
Total	1273	15	21	92%	--

Tabla 57 Balance de línea de propuesta de división 2

Esta propuesta presenta una mejora con respecto a la primera debido a que solo requiere la utilización de 3 estaciones de trabajo extra con respecto a la situación actual, a nivel de resumen, se presenta en la tabla 58.

Indicador	Resultado
Meta	785
Output	983
Diferencia	25.22%
Output por hora	49
Output por hora al 100% de yield	53
UPPH	2,3

Tabla 58 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 2

Esta propuesta representa una mejora a nivel de output de 361 piezas diarias extra en comparación con el estado actual del proceso, además de que se mejora

el indicador de productividad UPPH, que pasa de unas 1,7 unidades por operario por hora a 2,3 unidades por operario por hora. Sin embargo, se señala que este aumento de capacidad puede ser en realidad no beneficioso, puesto que genera sobreproducción diaria muy alta.

- **Tercera propuesta: 4 operaciones con soldadura junta.**

No de elem	Descripción	Seg/piezs	Op A	T Op A	Op B	T Op B	Op C	T Op C	Op D	T Op D	Op E	T Op E
1	MES 1	5,14	✓	5,142284	✓	5,142284	✓	5,142284	✓	5,142284	✗	
2	Documentación escrita	1,47	✓	1,469224	✓	1,469224	✓	1,469224	✓	1,469224	✗	
3	Unir disipador con espaciador	13,46	✓	13,455	✗		✗		✗		✗	
4	Hacer Epoxy	2,68	✓	2,676724	✗		✗		✗		✗	
5	Poner Epoxy	16,35	✓	16,353	✗		✗		✗		✗	
6	Poner termistor	14,18	✓	14,1795	✗		✗		✗		✗	
7	Poner Epoxy en termistor	2,69	✓	2,691	✗		✗		✗		✗	
8	Poner Epoxy en el disipador y espaciador	18,42	✓	18,423	✗		✗		✗		✗	
9	Poner piezas de detector y termistor en el disipador	12,21	✓	12,213	✗		✗		✗		✗	
10	Poner epoxy	6,39	✓	6,39	✗		✗		✗		✗	
11	Movilizar y llevar a horno	1,43	✓	1,427586	✗		✗		✗		✗	
12	Horno, 30 minutos	0,00	✓	0	✗		✗		✗		✗	
13	Sacar del horno, traer	1,25	✓	1,249138	✗		✗		✗		✗	
14	Colocar flex en calentador y soldar	70,17	✗		✓	70,173	✗		✗		✗	
15	Aplicar epoxy en ensamble	60,75	✗		✓	60,7545	✗		✗		✗	
16	Aplicar Epoxy en bloque Óptico	29,50	✗		✓	29,4975	✗		✗		✗	
17	Colocar bloque sobre el disipador	11,90	✗		✓	11,9025	✗		✗		✗	
18	Inspección, acomodar wire, aplicar epoxy, colocar en fixture	35,71	✗		✓	35,7075	✗		✗		✗	
19	Colocar piezas al horno	0,99	✗		✓	0,993103	✗		✗		✗	
20	Horno, 30 minutos	0,00	✗		✓	0	✗		✗		✗	
21	Sacar del hom, quitar fixture	1,64	✗		✓	1,641724	✗		✗		✗	
22	Soldar wires (Detector) y cables del termistor	191,99	✗		✓	191,9925	✗		✗		✗	
23	Colocar L. flex a la tarjeta detector	104,95	✗		✓	104,949	✗		✗		✗	
24	Verificación	15,63	✗		✓		✓		✓	15,6285	✗	
25	Cortar pines	20,80	✗		✓		✓		✓	20,8035	✗	
26	Etiquetas	30,33	✗		✓		✓		✓	30,3255	✗	
27	Limpiar lentes, acomodar pines	127,51	✗		✓		✓		✓	127,512	✗	
28	MES 2	3,39	✓	3,390517	✓	3,390517	✓	3,390517	✓	3,390517	✗	

Gráfico 26 División de tareas de Detector Assembly en 4 operaciones con soldaduras juntas.

En esta propuesta, el nuevo cuello de botella sería la operación, que representa la operación de soldadura, que tendría un tiempo de ciclo por pieza de 306,94 segundos, lo que determinaría el tiempo en el que está listo un lote en 2 horas y 28 minutos, comparado con el tiempo de procesamiento actual de 6 horas y 28 minutos.

Nuevo balance en tercera propuesta.

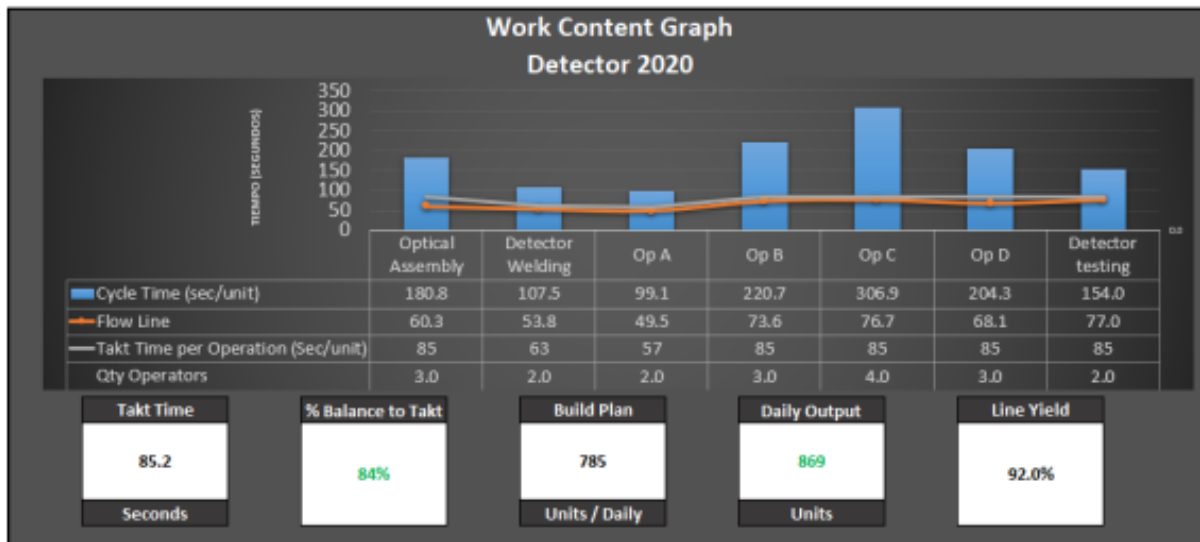


Gráfico 27 Work Content Graph de propuesta de división 3

Esta propuesta es balanceada en el Cuadro No. 26.

Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad real	Yield	Utilización
Optical Assembly	180,8	2,1	3	100%	71%
Detector W/Wires	107,5	1,3	2	100%	86%
Operación A	99,1	1,2	2	100%	87%
Operación B	220,7	2,6	3	100%	86%
Operación C	306,9	3,6	4	100%	90%
Operación D	204,3	2,4	3	100%	80%
Detector test	154,0	1,8	2	92%	90%
Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad real	Yield	Utilización
Total	1273	15	19	92%	--

Tabla 59 Balance de línea de tercera propuesta.

Donde se menciona que, para la realización de este balance, solo se hace uso de turno A y B, en la operación A, y de los turnos A y C en la operación Detector WWires. Se presenta el resumen de esta propuesta en el Cuadro No. 27.

Indicador	Resultado
Meta	785
Output	869
Diferencia	10.70%
Output por hora	43
Output por hora al 100% de yield	47
UPPH	2,3

Tabla 60 Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 3

Se señala que esta propuesta representa una mejora a nivel de output de 247 con respecto al estado actual, además de que mejora el UPPH en la misma magnitud que la propuesta anterior, necesitando menos estaciones de trabajo para ser realizada.

Resumen de nuevos balances de línea.

En el Cuadro No. 28, se muestra un comparativo de las tres propuestas de manera que sea simple determinar las variables de interés.

Indicador	Estado Actual	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Unidad
Meta	785	785	785	785	Unidades
Output	622	925	983	869	Unidades
Diferencia	-17.3%	+17.8	+25.2	+10.7	Unidades
Output por hora	31	45	49	43	Unidades por hora
Output por hora al 100% de yield	42	49	53	47	Unidades por hora
UPPH	1.7	2.1	2,3	2,3	Unidades por operario por hora

Tabla 61 Resumen de los impactos de las propuestas con respecto al estado actual.

Con esto, se señala que se selecciona la opción 3, debido a que esta representa un menor desperdicio a nivel de sobreproducción manteniendo un valor de UPPH alto en comparación al estado actual, por lo que a continuación, el análisis del resto de mejoras se realiza en base a esta propuesta.

Nuevo diagrama de flujo de propuesta final.

El nuevo flujo del proceso puede verse en la Figura No. 61, donde puede visualizarse la separación de las tareas a nivel de proceso. Además, se menciona que ahora el subensamble de Optical Assembly, además como de Detector W/Wires alimentan puntos diferentes del proceso. Se menciona que este proceso

será único, y pasará a ser dominio del departamento de producción de la planta de Costa Rica al finalizar el proyecto.

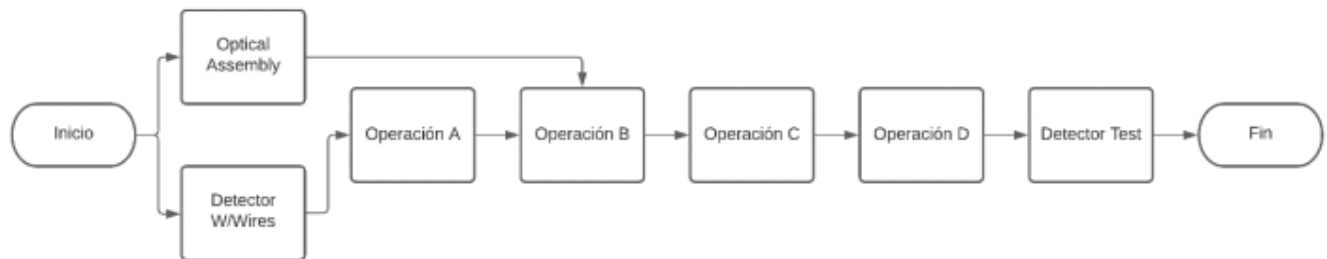


Diagrama 10 Diagrama de flujo de diseño de producción.

- **Rediseño de mesas de trabajo y layout de línea productiva.**

Debido a que la propuesta seleccionada requiere una estación extra en la línea productiva, y que el espacio en el cuarto de producción es limitado, es necesario realizar un rediseño en las mesas de trabajo, en base a las nuevas operaciones que se van a llevar a cabo en estas.

Los requerimientos de las mesas actuales y las propuestas están listados en el Apéndice 9. Estos requerimientos hacen que la mesa actualmente requiera 1,6 m por 75 cm de espacio. La misma está presentada en la Figura No. 5.

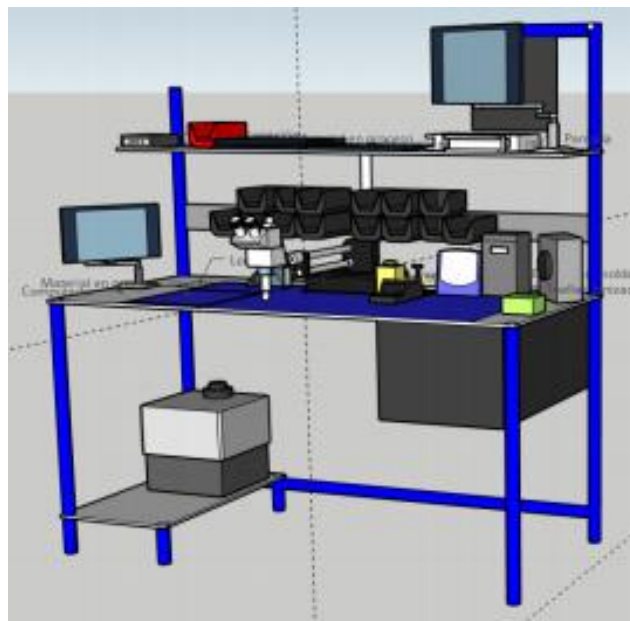


Figura 5 Diseño de mesa actual de trabajo.

Con el objetivo de disminuir el espacio utilizado, se diseñan las siguientes propuestas para las operaciones requeridas en el proceso, las cuales pueden verse en las Figuras No. 6,7,8 y 9.

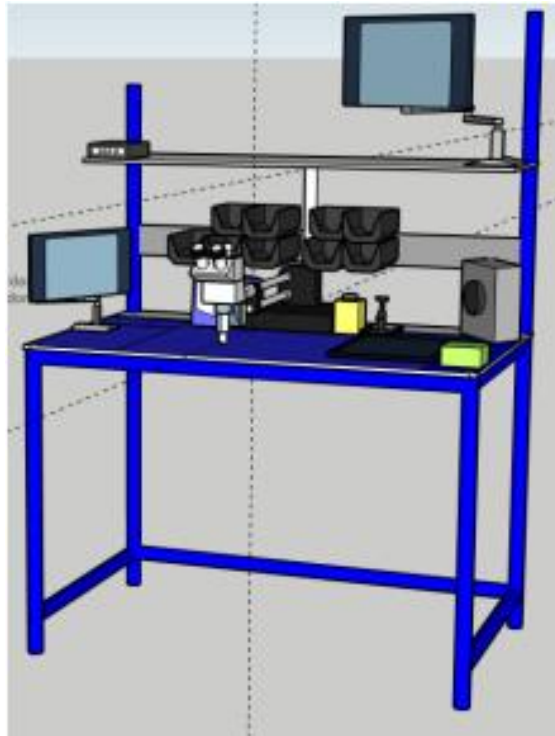


Figura 6 Propuesta de diseño de mesa para operación A.



Figura 7 Propuesta de diseño de mesa para operación B

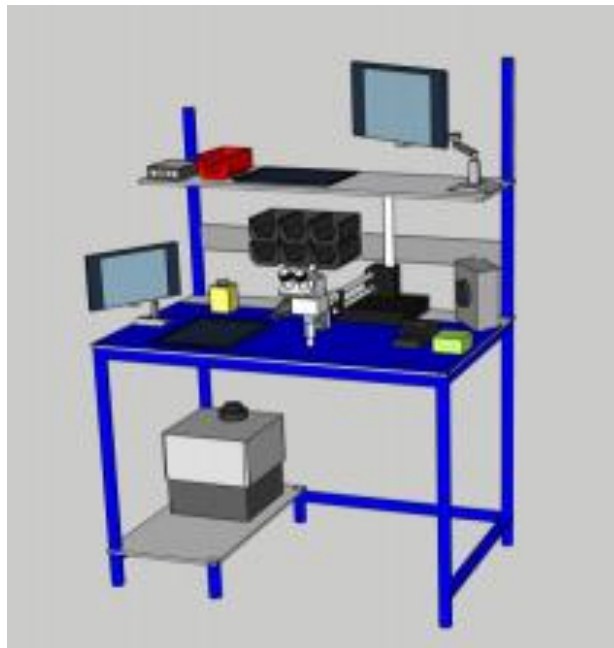


Figura 8 Propuesta de diseño de mesa para operación C.

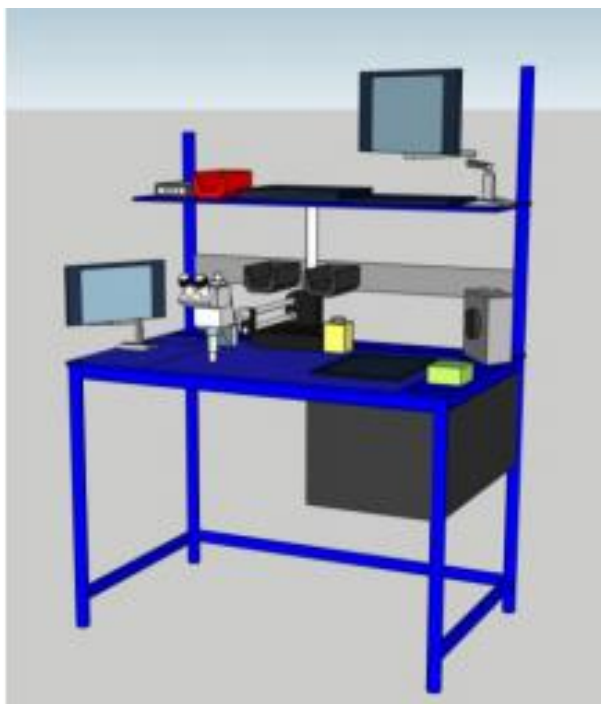


Figura 9 Propuesta de diseño de mesa para operación D.

Además, se presentan los requerimientos de espacio para cada una de estas mesas, así como el espacio destinado a esta en el piso en el Cuadro No. 62.

Mesa	Espacio requerido (m ²)	Cantidad utilizada actualmente	Cantidad requerida para proyecto
Actual	1.2	18	6
Operación A	0.9	-	2
Operación B	1.2	-	3
Operación C	0.9	-	4
Operación D	0.9	-	3
Espacio requerido	-	21.6	18.9

Tabla 62 Espacio requerido por las estaciones de trabajo.

Se menciona entonces que el espacio utilizado actualmente es de 21.6 m², que puede ser mejorado, aún con una estación extra, a 18.9 m², siendo esta una

liberación de espacio de 2.7 m², un 12.5% del espacio ocupado por la línea actualmente.

Nuevo Value Stream Map.

Una vez diseñada la propuesta, se determina el nuevo VSM a nivel futuro, que se señala en la Figura No. 28, donde se menciona como principal punto de mejora, la diferencia de valor agregado que pasa de un 0.005% a un 0.007%, lo que representa una mejora de un 40%, puesto que se reducen los valores de inventario de WIP entre las operaciones, esto hace que las piezas se mantengan esperando un menor tiempo en el proceso.

Esto principalmente puede ser visualizado a nivel de Lead Time, dado que es reducido a 2,36 días, lo que le da al proceso un mejor tiempo de respuesta a las órdenes que recibe. Además, se realiza una tabla a manera de resumen que se

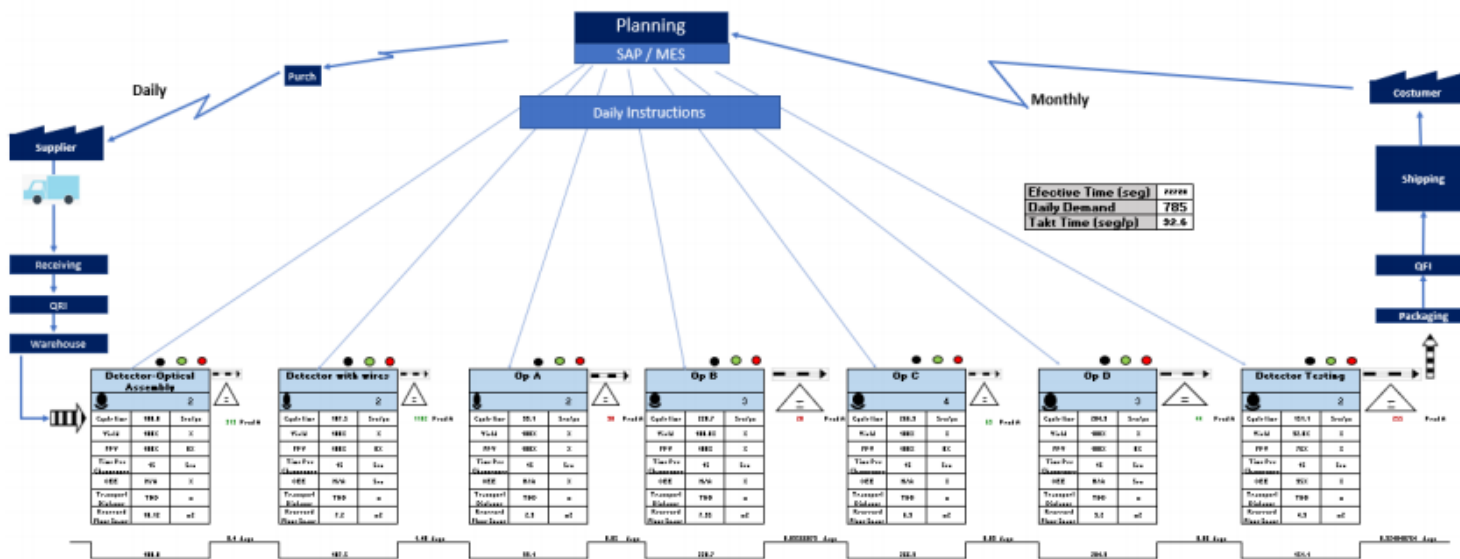


Gráfico 28 Value Stream Map futuro del proceso de Detector.

Resumen			
Indicador	Anterior	Futuro	Mejora
Lead Time	3.76 días	2.36 días	-37,2%
Tiempo en proceso	1278.3 s/pieza	1230.4 s/pieza	-47.9 s/pieza
Yield de la línea	92%	92%	-
First Pass Yield	76%	76%	-
Tiempo de cambio	15 s	15 s	-
Distancia de transportes	0 m	0 m	-
Espacio de piso reservado	21.6 m ²	18.9 m ²	-12.5%
%Valor agregado	0.005%	0.007%	+40%

Tabla 63 Resumen de nuevo Value Stream Map.

En el Cuadro No. 63, se puede visualizar, con respecto al estado actual, que hay una mejora en el proceso a nivel de Lead Time de 1,4 días de respuesta para la empresa, así como existe una mejora a nivel de flujo de línea, debido a que no se requiere tomar el tiempo de horneado dentro del proceso para el cálculo de los tiempos estándar del proceso.

Además, el cambio libera un total de 2,7 metros cuadrados de espacio en la línea, lo que permite utilizar el espacio disponible de una manera más efectiva.

- **Propuesta 2, diseño de fixture para la línea Detector:** Diseño de fixture para estación de soldadura

Dado a que el punto donde se producen las fallas de quemadura de la tarjeta, así como se producen los daños al L Flex, ambas piezas que en caso de presentar defectos producen una unidad defectuosa en el proceso, es la operación de soldadura, se realiza el diseño de un fixture que asista al operario en esta tarea, de manera de que estos modos de falla sean reducidos, así como el tiempo estándar de soldar el componente L Flex al ensamble.

El diseño de la propuesta se realiza utilizando Solid Works, y puede ser apreciado en las Figuras No. 39., y No. 40.

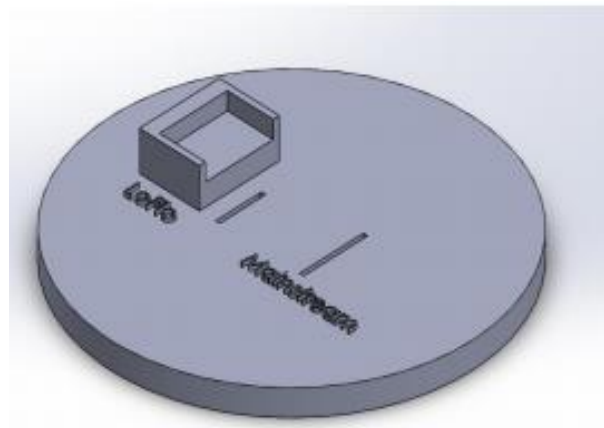


Figura 10 Fixture para operación de soldadura de L Flex, vista 1.

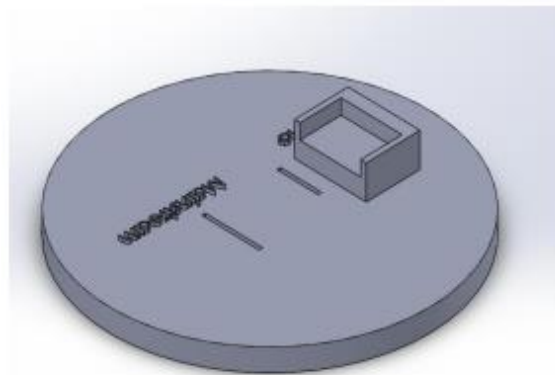


Figura 11 Fixture para operación de soldadura de L Flex, vista 2.

Además, se realizan representaciones digitales con los ensambles de los Detectores de ambos modelos, Loflo y Mainstream, estos modelos se muestran en las Figuras No. 12,13,14 y 15.

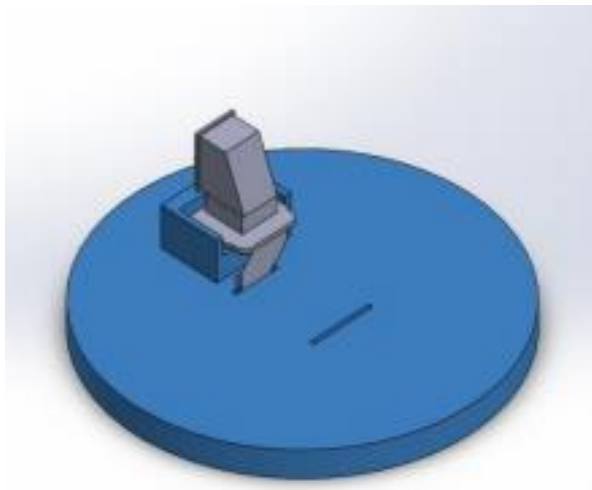


Figura 12 Fixture para operación de soldadura de L Flex, con Detector de Loflo, vista 1.

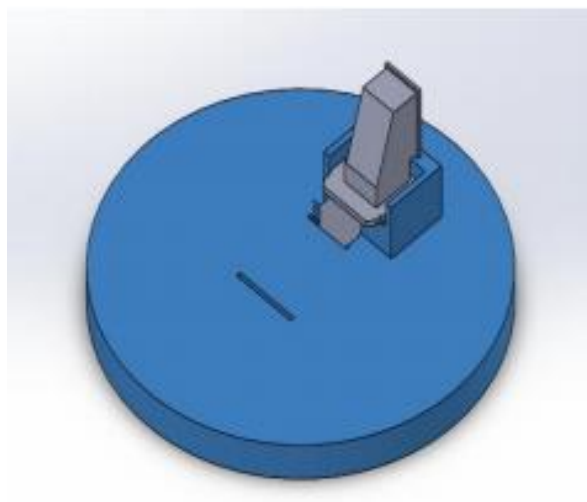


Figura 13 Fixture para operación de soldadura de L Flex, con Detector de Loflo, vista 2.

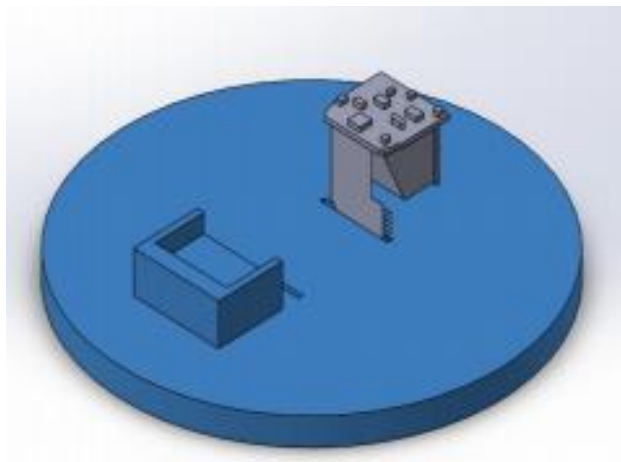


Figura 14 Fixture para operación de soldadura de L Flex, con Detector de Mainstream, vista 1.

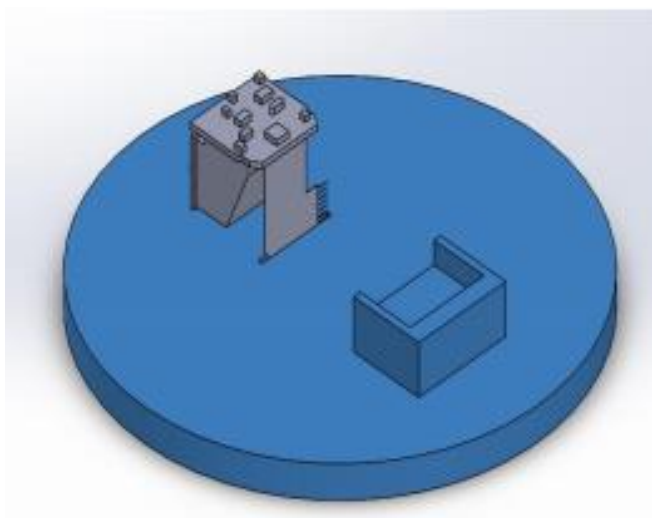


Figura 15 Fixture para operación de soldadura de L Flex, con Detector de Mainstream, vista 2.

Esta pieza tiene el objetivo de servir de soporte al operario mientras realiza la operación de soldadura de los componentes, además de dar a los operarios la capacidad de utilizar estos para realizar la operación sin requerir manipular la pieza de manera excesiva.

Validación de propuestas

Validación de rediseño mediante simulación en Arena.

En la Figura No. 45., se puede ver el modelo utilizado para simular el proceso de Detector, donde se menciona que solo se toman en cuenta los procesos de Detector Assembly y de Detector Test en la simulación del estado actual del proceso, debido a que estos son los únicos afectados por la mejora.

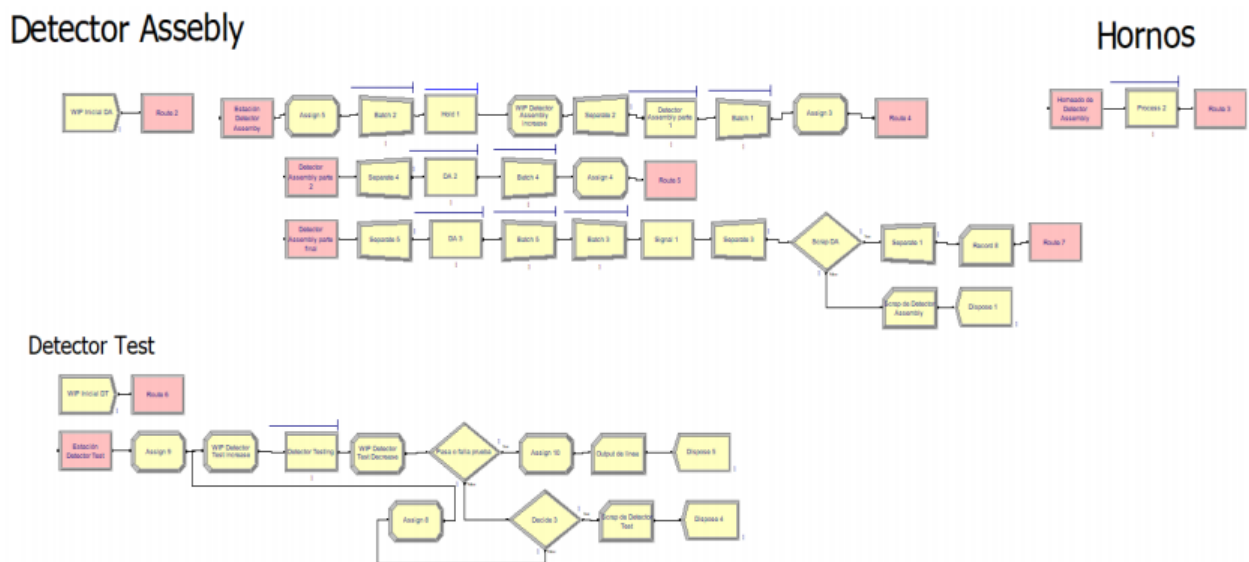


Figura 16 Modelo para la simulación del proceso actual.

Se toma una entrada para el proceso de Detector Assembly igual a la demanda de manera que este sea el que marque el ritmo de la operación. Los inventarios iniciales de las demás estaciones corresponden a un lote de producción de manera que no deben esperar a que el proceso Detector Assembly termine para estos poder empezar.

Además, se menciona que se realiza una entrada especial que funciona para dar una señal al proceso Detector Assembly. Estas entradas al sistema pueden ser analizadas en la Figura No. 16.

	Name	Entity Type	Type	Value	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	WIP Inicial DA	Entity 1	Constant	1	Days	1320	1	0.0
2	Create 2	Entity 1	Constant	1	Days	1	Infinite	0.0
3	WIP Inicial DT	Entity 1	Constant	1	Days	100	1	0.0

Figura 17 Entradas supuestas para el modelo actual

Además, se señala que los recursos para cada proceso están señalados en el Cuadro No. 17.

	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Op. Detector Assembly	Based on Schedule	Operarios DA	Operarios DA	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Horno de Detector Assembly	Fixed Capacity	2	2	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Op. Detector Test	Based on Schedule	DT Horario	DT Horario	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 18 Recursos del modelo actual.

Una vez se corre la simulación, se consiguen los resultados señalados en la tabla No.64, donde se puede señalar que la utilización de los hornos del proceso es particularmente baja, teniendo un valor de apenas un 13%, esto porque el proceso solo requiere el uso del horno en dos momentos al inicio del procesamiento del lote, lo que produce que el 87% del tiempo estos hornos no son productivos.

Proceso	Piezas que entran	Piezas que salen	Utilización del recurso
Detector Assembly	1320	933	83%
Detector Test	813	552	54%
Hornos	12 lotes	12 lotes	13%

Tabla 64 Resultados de simulación de proceso actual.

Una vez corrida esta simulación, se realiza el modelaje de la propuesta, que puede ser observada en la Figura No. 19, donde se menciona que la entrada para la Operación A es igual a la entrada del proceso Detector Assembly en la simulación anterior.

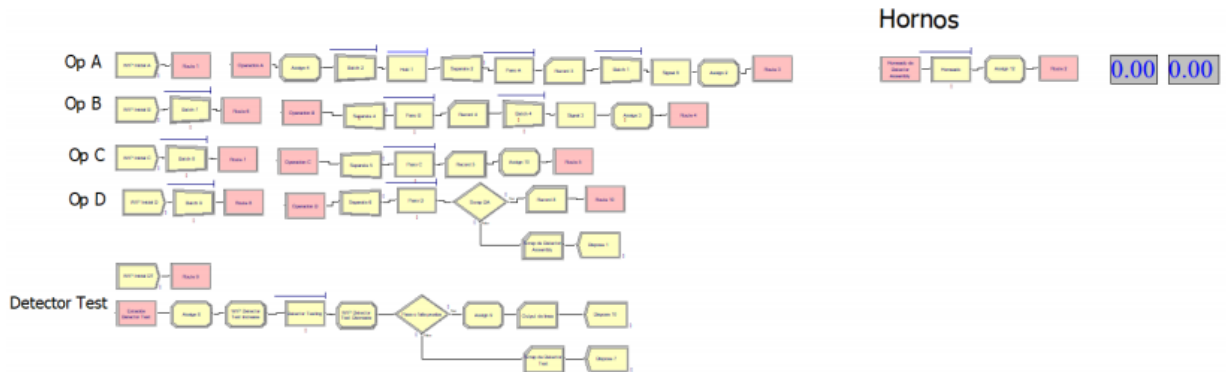


Figura 19 Modelo para simulación de propuesta.

Además, se señala que los inventarios iniciales de las demás operaciones son iguales al equivalente de un lote por operario de esta estación. Estos inventarios iniciales pueden ser apreciados en la Figura No. 20.

	Name	Entity Type	Type	Value	Units	Entities per Arrival	Max Arrivals	First Creation
1	WIP Inicial A	Entity 1	Constant	1	Days	812	Infinite	0.0
2	Create 2	Entity 1	Constant	1	Days	2	1	0.0
3	WIP Inicial B	Detector	Constant	1	Days	58	1	0.0
4	WIP Inicial C	Detector	Constant	1	Days	87	1	0.0
5	WIP Inicial D	Detector	Constant	1	Days	58	1	0.0

Figura 20 Inventarios iniciales para los procesos de la propuesta.

De la misma manera, se señala que los recursos para cada uno de los procesos están determinados en la Figura No. 21.

	Name	Type	Capacity	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Horno de Detector Assembly	Fixed Capacity	2	S	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Operario A	Based on Schedule	Horario A	Horario A	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Operario B	Based on Schedule	Horario B	Horario B	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Operario C	Based on Schedule	Horario C	Horario C	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Operario D	Based on Schedule	Horario D	Horario D	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Op. Detector Test	Based on Schedule	Horario DT	Horario DT	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Op Main	Based on Schedule	Schedule 6	Schedule 6	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 21 Recursos del modelo propuesto.

Se realiza la simulación de la propuesta obteniendo los resultados que se presentan en el Cuadro No. 65. Señalando como principal mejora el hecho de que la utilización del horno se mejora a un valor de 60% del tiempo disponible.

Proceso	Piezas que entran	Piezas que salen	Utilización del recurso
Operación A	812	812	83%
Operación B	870	870	89%
Operación C	957	941	85%
Operación D	999	997	79%
Detector Test	997	832	54%
Horno	58 lotes	58 lotes	60%

Tabla 65 Resultados de simulación para propuesta.

Con estos datos se calcula el número mínimo de corridas para alcanzar un error menor a 5 piezas, esto para determinar el rango en el que se puede afirmar con una confianza de, al menos, un 95% que se encontrará promedio de unidades que sea capaz de procesa la propuesta. En el Cuadro No. 33 se listan los resultados de cada una de las primeras 10 corridas, con los que se calcula el tamaño final de la muestra requerida.

Corrida No.	Unidades producidas por el sistema
1	832
2	849
3	839
4	834
5	844
6	848
7	826
8	830
9	837
10	842
Promedio	838.1
Desviación estándar	7.7

Tabla 66 Replicas para calcular tamaño de muestra para determinar valor de output de la propuesta.

Con estos datos se calcula el tamaño de muestra utilizando una distribución t-student, con el objetivo de alcanzar un error máximo de 2 unidades.

Parámetro	Valor
$t_{(\alpha/2;n-1)}$	2.69
E máx	2
N	107.51
N redondeado	108

Tabla 67 Cálculo del tamaño de muestra para conseguir un error máximo de 2 unidades.

Con este análisis se determina que se requieren un total de 108 corridas para determinar los resultados necesarios. Con esto se realiza la simulación, donde se consiguen los resultados señalados en el cuadro No. 35. Cuadro No. 35. Resultados finales de output en la línea.

Parámetro	Valor
Output medio	836.45
Output mínimo	813
Output máximo	856

Tabla 68 Resultados finales de output en la línea.

De acuerdo a estos resultados, donde se obtiene un error menor a 1, que para efectos del análisis es despreciable, por lo que el valor promedio de output que se obtiene para este proceso se encuentra, con un 95% de confianza en el intervalo de (834.45 - 838.45), que es suficiente para dar abasto con la demanda del proceso.

Prueba piloto de fixture y toma de tiempo.

Una vez impreso el diseño del fixture con el uso de la impresora 3D de la empresa, se realizan pruebas en el área de entrenamiento. El fixture impreso puede ser visualizado en la Figura No. 51, donde se menciona que el material 89 del que está conformado solo es de manera temporal y el fixture final debe ser construido utilizando resina anti-calor o cualquier otro material similar.

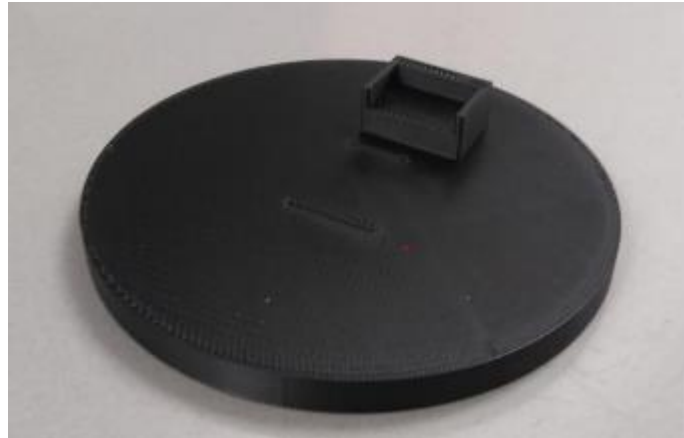


Figura 22 Fixture impreso mediante impresora 3D

En la prueba, se determinan las mejoras en los tiempos de soldadura, en específico, en los elementos de soldadura del componente L Flex, estas mejoras pueden ser visualizadas en el Cuadro No. 69, y se señala que el tiempo estándar se reduce en 40 segundos en promedio, por pieza en esta operación.

Tiempo actual de soldadura	Tiempo de soldadura con Fixture	Mejora (porcentual)
104.1 s	61 s	41.3%

Tabla 69 Mejoras en los tiempos de soldadura al utilizar Fixture para asistir en el proceso.

Además, de esta prueba, se les abrió el espacio a los participantes de dar retroalimentación al diseño, con lo que mencionan que el fixture debería tener un soporte para el modelo de Mainstream, y de hacerlo, el tiempo requerido podría disminuir aún más.

Dado esto, se realizan los ajustes solicitados, obteniendo el diseño de la propuesta mostrada en la Figura No. 23, No. 24, No. 25, y No. 26.

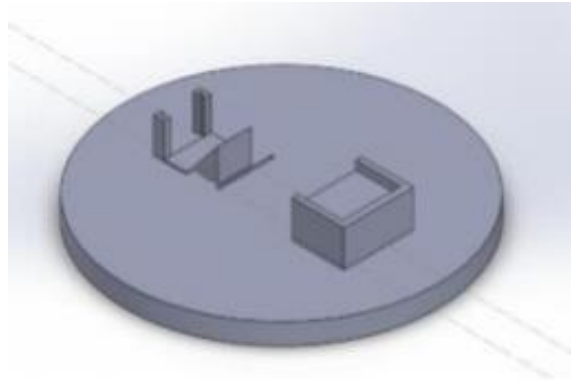


Figura 23 Segunda propuesta de Fixture, vista Isométrica.

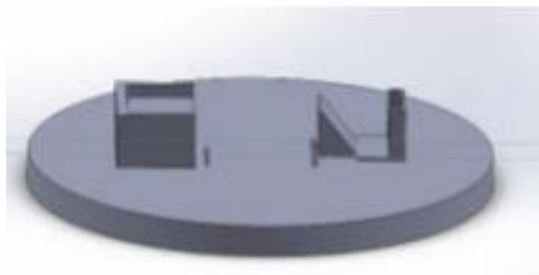


Figura 24 Segunda propuesta de Fixture, vista lateral.

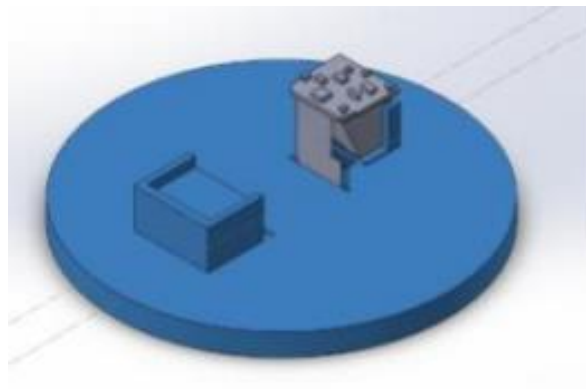


Figura 25 Segunda propuesta de fixture, vista Isométrica con ensamble de Detector modelo Mainstream frontal

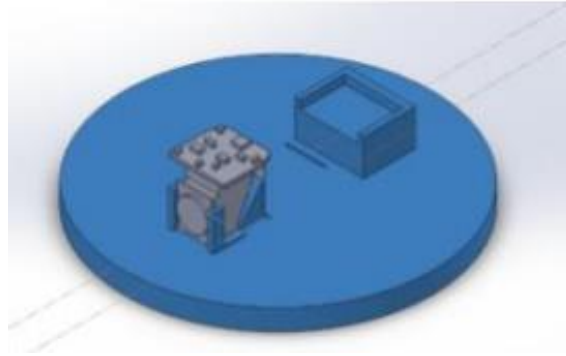


Figura 26 Segunda propuesta de fixture, vista Isométrica con ensamble de Detector modelo Mainstream lateral

Estas mejoras proporcionan soporte al operario a la hora de soldar componente L Flex en la tarjeta sin que este necesite hacer contacto con la misma, lo que le puede dar al operario una mayor flexibilidad para realizar la operación.

Se señala que este segundo diseño se realiza con un margen de error de 0.25 milímetros a ambos lados de la ranura que sostiene al ensamble para evitar que este se raye o se quiebre al entrar en contacto con el fixture. Estas impresiones, tienen un costo de \$12 y fueron hechas en la planta.

Viabilidad económica de propuestas para Detector

Seguidamente, se hace un análisis económico, donde se consiguen los valores de los indicadores financieros del VAN y el TIR, con los que se evalúa la propuesta. Para la realización de este análisis se menciona que se tiene los siguientes datos.

El costo del análisis inicial constituye el salario que paga la empresa por el diseño y representa el salario del pasante que realiza la propuesta, en total representa un total de \$1.800. La puesta en marcha representa los costos de mantener la línea parada durante dos semanas, dato que suministra el departamento de planificación y es estimado en \$13.150, y toma en cuenta los salarios de los colaboradores y los costos indirectos durante estas dos semanas.

La compra de las mesas, materiales necesarios en las estaciones, y la compra de los fixtures en resina se estima en \$31.500, de datos propios de la empresa suministrada por los contratistas que mantienen contrato con esta.

Por lo tanto, la inversión inicial es de \$46.450.

Entre los ajustes que se realizan se menciona que se ajusta el flujo a los ingresos correspondientes únicamente a los ingresos conseguidos a partir de la mejora, por lo que se eliminan aquellos ingresos que se percibirían se haga o no la implementación de la mejora. Además, se ajusta el costo fijo correspondiente al salario extra y el costo por el uso del piso.

Además, se asume una depreciación lineal para los componentes comprados como parte de la inversión inicial, que estos se deprecian en el periodo que en el que se hace la evaluación. Se señala que la empresa requiere de un valor TMAR de 45% para que se realice una inversión, además de que se requiere que el TIR

sea mayor a un 35%. Los principales resultados de la evaluación financiera pueden ser apreciados en la tabla No.70.

Meses		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ingresos													
Producción		0	13450	11754	15464	15687	17546	16484	18459	14546	15438	14785	15357
Ingresos de línea	\$	-	\$ 1,082,725	\$ 946,197	\$ 1,244,852	\$ 1,262,804	\$ 1,412,453	\$ 1,326,962	\$ 1,485,950	\$ 1,170,953	\$ 1,242,759	\$ 1,190,193	\$ 1,236,239
Egresos													
Costos Fijos	\$	-	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)	\$ (15,283)
Costos variables	\$	-	\$ (249,094)	\$ (117,684)	\$ (286,393)	\$ (290,523)	\$ (324,952)	\$ (305,284)	\$ (341,861)	\$ (269,392)	\$ (285,912)	\$ (277,818)	\$ (284,412)
Depreciación mesas y materiales	\$	-	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)	\$ (2,291)
Venta de mesas y materiales	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor en libro de mesas y materiales	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ (6,300)
Utilidad antes de impuestos	\$	-	\$ 829,507	\$ 722,693	\$ 956,348	\$ 970,393	\$ 1,087,473	\$ 1,020,588	\$ 1,144,974	\$ 896,533	\$ 954,711	\$ 913,585	\$ 959,060
Impuestos 7.5%	\$	-	\$ 62,213	\$ 54,202	\$ 71,726	\$ 72,779	\$ 81,560	\$ 76,544	\$ 85,873	\$ 67,390	\$ 71,603	\$ 68,519	\$ 71,929
Utilidad después de impuestos	\$	-	\$ 767,294	\$ 668,491	\$ 884,622	\$ 897,614	\$ 1,005,912	\$ 944,044	\$ 1,059,101	\$ 831,143	\$ 883,108	\$ 845,066	\$ 887,130
Otros ajustes													
Análisis inicial	\$	(1,800)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Puesta en marcha	\$	(13,150)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Compra de mesas y materiales	\$	(31,500)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación de mesas y materiales	\$	-	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291	\$ 2,291
Valor en libro de mesas y materiales	\$	-	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 6,300
Producción sin cambio	\$	0	\$ 12440	\$ 11760	\$ 14306	\$ 12440	\$ 13062	\$ 13062	\$ 13684	\$ 13062	\$ 13062	\$ 12440	\$ 13684
Ingresos sin cambios	\$	-	\$ (713,204)	\$ (674,218)	\$ (820,184)	\$ (713,204)	\$ (748,864)	\$ (748,864)	\$ (784,524)	\$ (748,864)	\$ (748,864)	\$ (713,204)	\$ (784,524)
Ajuste a costo fijo	\$	-	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)
Flujo neto	\$	(46,450)	\$ 56,381	\$ (3,437)	\$ 66,729	\$ 186,701	\$ 259,339	\$ 197,471	\$ 276,867	\$ 84,570	\$ 136,535	\$ 134,153	\$ 111,197
Flujo neto acumulado	\$	(46,450)	\$ 9,931	\$ 6,494	\$ 73,223	\$ 259,923	\$ 519,263	\$ 716,733	\$ 993,601	\$ 1,078,170	\$ 1,214,705	\$ 1,348,858	\$ 1,460,055
VAN	\$	(46,450)	\$ 6,849	\$ 3,089	\$ 24,018	\$ 58,799	\$ 81,012	\$ 77,117	\$ 73,729	\$ 55,175	\$ 42,871	\$ 32,831	\$ 24,609
VAN	\$	433,548											
TIR		53%											

Tabla 70 Análisis financiero para Detector.

Indicador	Valor
VAN	\$433.548
TIR	53%

Tabla 71 Resultados de indicadores financieros VAN y TIR para propuestas
 Teniendo estos valores, se menciona que la inversión inicial se multiplica por un factor de 933,3%, y la única manera en la que la inversión no produzca rentabilidad es teniendo una tasa de interés de 54%. Por lo que se considera que esta inversión es rentable.

Propuesta para la línea Source

Propuesta 1, rediseño y rebalanceo de línea productiva:

Debido a que la operación de Source Assembly representa el cuello de botella del proceso, y marca el tiempo de ciclo productivo que actualmente se ubica en 7 horas y 23 minutos por lote por operario, y que esto produce que el porcentaje de utilización de la prueba Burn in Test (16 horas), se separa la operación en unidades más pequeñas de trabajo, puesto que esto incrementaría el uso de la línea productiva.

Como primera propuesta se presenta la realización de un Split en toda la línea de Source, en donde se realice una segregación de las operaciones que lo componen, es decir segregar en elementos Source Assembly y Burn in Test, esto para reducir el tiempo en que una unidad llega sale de la empresa (lead time), llevar un mejor control de lotes (trazabilidad) ya que se reduce el tiempo estándar de cada sub operación de la línea y aumentar la capacidad de la línea de producción.

Además, las reducciones de estas unidades de trabajo reducen los tiempos de entrenamiento para los operarios para esta línea productiva, lo que hace más sencillo la obtención de mano de obra para la línea, así como reduce la cantidad de tareas que un solo operario debe realizar, reduciendo las oportunidades de fallo para los operarios.

Elaboración de la propuesta:

Para realizar la elaboración de la propuesta se realiza la unión de los manuales de procedimientos (MPI) de cada operación, es decir se realiza la unión de los manuales de procedimientos tanto de Source Assembly como de Burn in Test y luego se segrega en sub procedimientos que se pueden realizar de una manera efectiva, el criterio de esta segregación se realiza con los operarios de la línea e ingenieros de manufactura para certificar que el material pueda quedar en WIP (work in process) sin dañar el producto.

Actualmente, la operación de Source Assembly consiste en las tareas enlistadas en el Cuadro No. 72.

Elemento No.	Descripción	Segundos por pieza
1	Introducción al sistema	8
2	Documentación escrita	3
3	Ir por etiquetas a nivel de sistema	2
4	Poner Source ring en el fixture	5
5	Colocar epoxy y conmutador, limpiar exceso	54
6	Llevar las piezas al horno	4
7	Soldar cables azules de source	60
8	Poner en el fixture y colocar RTV Rojo	14
9	Colocar Emitter	21
10	Soldadura del Emitter	71
11	Limpieza de las piezas	25
12	Colocar RTV Blanco	12
13	Quitar piezas del fixture y acomodar	10
14	Pegar etiquetas	19
15	Completar a nivel de sistema	15
16	Documentación LHR	17
17	Colocar piezas en el multimetro y documentar	25
18	Colocar piezas en Burn in Test	1
19	Hacer epoxy	4
20	Colocar ventanas en el fixture	4
21	Colocar epoxy en las ventanas	29
22	Inspección y limpieza	25
23	2 horas a temperatura ambiente, 30 min horra	5
24	Bajar las piezas del Burn in Test	5
25	Prueba de multimetro	25
26	Hacer epoxy	2
27	Poner epoxy en las ventanas	24

Elemento No.	Descripción	Segundos por pieza
28	Cerrar Source con ventanas	18
29	Limpiar exceso de epoxy	18
30	Horno, llevar piezas al horno	4
31	Limpiar e inspección de piezas	2
32	Registro a nivel de sistema	4

Tabla 72 Tareas de la operación actual Source Assembly.

Para el rediseño se toma en cuenta que en la línea se hace uso de hornos para la producción, por lo que se diseña una propuesta para separar Source en varias operaciones que eliminen un tiempo de procesamiento muy extenso por lote.

Propuesta: Segregación de Source en 9 operaciones para mantener un flujo continuo de piezas.

N°	Descripción	Seg/pieza	Operación 10	Operación 20	Operación 30	Operación 40	Operación 50	Operación 60	Operación 70	Operación 80	Operación 90
1	MES 1										
2	Documentación escrita	15,20	✓	15,2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3	Ir por etiquetas a nivel de sistema										
4	Poner Source ring en el fixture										
5	Hacer epoxy y colocar piezas en el fixture	117,30	✗	✓	117,3	✗	✗	✗	✗	✗	✗
6	Colocar epoxy y conmutador, limpiar exceso										
7	Llevar las piezas al horno										
8	Soldar cables azules de source										
9	Poner en el fixture y colocar RTV Rojo	109,50	✗	✗	✓	109,5	✗	✗	✗	✗	✗
10	Colocar Emitter										
11	Soldadura del Emitter	127,40	✗	✗	✗	✓	127,4	✗	✗	✗	✗
12	Limpieza de las piezas										
13	Colocar RTV blanco										
14	Quitar piezas del fixture y acomodar	94,00	✗	✗	✗	✗	✓	94	✗	✗	✗
15	Pegar etiquetas										
16	Complete a nivel de sistema										
17	Documentación a nivel de MES										
18	Documentación escrita LHR										
19	Colocar piezas en el multimetro y llenar documentación	71,90	✗	✗	✗	✗	✗	✓	71,9	✗	✗
20	Colocar piezas en el burn in test										
21	Hacer epoxy										
22	Colocar ventanas en el fixture										
23	Colocar epoxy en las ventanas	93,90	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	93,9	✗
24	Inspección y limpieza										
25	2 horas a temperatura ambiente, 30 min al horno.										
26	Bajar piezas del burn in test										
27	Prueba del multimetro	34,40	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	34,4
21	Hacer epoxy										
22	Poner epoxy en las ventanas										
23	Cerrar Source con ventanas										
24	Limpiar exceso de epoxy	165,40	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
25	Horno. Ir al horno										
26	Limpieza de las piezas. Inspección de las piezas										
28	Registro de las piezas al sistema										

Figura 27 División de tareas de Source Assembly en 9 operaciones.

Siguiendo esta redistribución de las cargas de trabajo, se señala que la nueva operación cuello de botella sería la operación 90, cuyo nuevo tiempo de ciclo sería de 165,4 segundos por unidad, lo que tiene como consecuencia que el tiempo requerido para terminar un lote para esta operación es de una hora con 2 con 50 minutos, una mejora de casi 3 horas con respecto al valor actual de 8 horas y 56 minutos. Producción en turnos comprimidos A y B, al ser así el tiempo de horno y test se traslapan con los tiempos efectivos de ensamblar.

Se realiza el análisis de capacidad con las operaciones segregadas para ver si realmente se mejora el output en cada operación, se puede observar el resultado en la siguiente imagen:

Source Segregado																				
#	Operation	Cycle Time (sec/unit)	Theoretical station required	Real Qty Ops	Real Qty Station	Yield (%)	To Produce (Units)	Targuet per hour per Station	Select Shifts with "1"							Available Time	Flow Line	Utilization %	Daily Capacity (yield 100%)	Yielded Output
									Shift 1	Shift 2	Shift 3	Saturday	Comp A	Comp B	Over Time					
1	OP 10	15,2	0,2	0	1	100,0%	774	237							73980	58,5	61%	1265	1265	
2	OP 20 EPOXY	86,3	0,9	2	2	100,0%	774	41							73980	57,5	60%	1286	1265	
3	OVEN	61,5	0,6	1	1	100,0%	774	56							73980	55,9	58%	1323	1265	
4	OP 30 EMITTER ASSY	96,4	1,0	2	2	100,0%	774	36							73980	56,7	59%	1305	1265	
5	OP 40 EMITTER SOLDER	191,7	2,0	3	3	100,0%	774	19							73980	63,9	67%	1158	1158	
6	OP 50 RTV AND LABELING	51,2	0,5	1	1	100,0%	774	70							73980	64,0	67%	1156	1156	
7	OP 60 LOAD BURN IN TEST	71,9	0,8	1	1	100,0%	774	50							73980	65,4	68%	1132	1132	
8	BURN IN TEST	1028,6	10,8	13	13	100,0%	774	3							73980	79,1	83%	935	935	
9	OP 70 WINDOW ASSY	114,7	1,2	2	2	100,0%	774	23							73980	57,4	60%	1290	935	
10	OP 80 UNLOAD BURN IN TEST	34,4	0,4	1	1	93,0%	774	60							73980	49,1	51%	1505	870	
11	OVEN	50,4	0,5	1	1	100,0%	720	42							73980	50,4	49%	1468	870	
12	OP 90 SOURCE ASSY	228	2,2	3	3	91,4%	720	13							73980	76,0	74%	973	795	
		890	21	14	15	85,0%								20,55	734		935	795		

Figura 28 Análisis de Capacidad de Source Segregado.

Como se puede observar en la figura No.28 la línea aumenta considerablemente el output y las utilizaciones se mantienen en verde, teniendo como cuello de botella Burn in Test, esto ya que es la primer operación en cortar el flujo de 1132 unidades a 935 unidades, luego de esa operación la capacidad se va disminuyendo a causa del Yield que poseen operación 80 con 93% el cual corresponde a piezas que dieron negativo en la prueba de vida útil (Burn in Test) y operación 90 con 91,4% de Yield, el cual corresponde a la falla eléctrica o exceso/falta de epoxy (pegamento).

Operación	Tiempo de ciclo	Necesidad teórica	Cantidad Real	Yield
OP 10	15,2	0,2	0,3	100%
OP 20	86,3	0,9	2	100%
OP 30	96,4	1	2	100%
OP 40	191,7	2	3	100%
OP 50	51,2	0,5	1	100%
OP 60	71,9	0,8	1	100%
OP 70	114,7	1,2	2	93%
OP 80	34,4	0,4	1	100%
OP 90	228	2,2	3	91,40%

Tabla 73 Balance de línea de propuesta de división 1.

Se señala que esta propuesta tiene como consecuencia directa el aumento en 14 mesas de trabajo la línea productiva, presentando los resultados a nivel de resumen que son expresados en la tabla No.73. Resumen de análisis de capacidad de propuesta de división 1.

Con esta propuesta se señala que, en comparación con los resultados actuales, se mejora el output que pasa de 182 unidades diarias a 795 unidades diarias.

Validación de rediseño mediante simulación en Arena.

En la Figura No. 30., se puede ver el modelo utilizado para simular el proceso de Source, donde se toman en cuenta los procesos

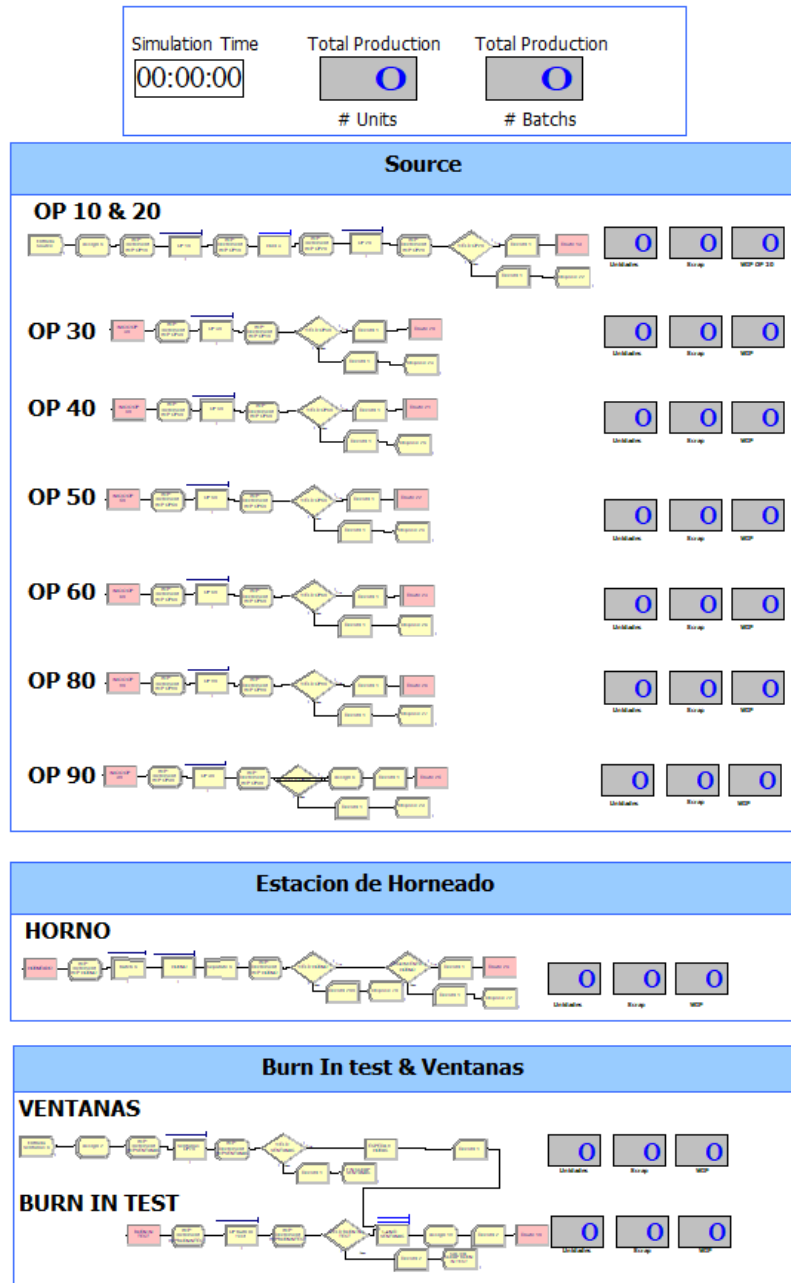


Figura 30 Modelo para simulación de propuesta del Split en la simulación.

Al correr la simulación se evidencia que se realiza un wip bastante bueno en las operaciones de Source, esto quiere decir que se va a poder asegurar el flujo continuo de todas las operaciones durante todas las horas efectivas diarias.

Source es una línea que debe tener utilizaciones bajas ya que según Planning la proyección de las demandas semanales 2021 son abruptas y cambiantes, lo que requieren estar preparados para cualquier alza en la misma.

Parámetro	Valor
Output medio	770
Output mínimo	750
Output máximo	795

Tabla 74 Resultados finales de output en la línea.

De acuerdo a estos resultados, donde se obtiene un error menor a 1, que para efectos del análisis es despreciable, por lo que el valor promedio de output que se obtiene para este proceso se encuentra, con un 95% de confianza en el intervalo de (745. - 750), que es suficiente para dar abasto con la demanda del proceso.

Viabilidad económica de propuesta para Source

Seguidamente, se hace un análisis económico, donde se consiguen los valores de los indicadores financieros del VAN y el TIR, con los que se evalúa la propuesta. Para la realización de este análisis se menciona que se tiene los siguientes datos.

El costo del análisis inicial constituye el salario que paga la empresa por el diseño y representa el salario del pasante que realiza la propuesta, en total representa un total de \$1.800. La puesta en marcha representa los costos de mantener la línea parada durante dos semanas, dato que suministra el departamento de planificación y es estimado en \$14.350, y toma en cuenta los salarios de los colaboradores y los costos indirectos durante estas dos semanas.

La compra de las mesas, materiales necesarios en las estaciones, se estima en \$42.130, de datos propios de la empresa suministrada por los contratistas que mantienen contrato con esta.

Por lo tanto, la inversión inicial es de \$58 280.

Entre los ajustes que se realizan se menciona que se ajusta el flujo a los ingresos correspondientes únicamente a los ingresos conseguidos a partir de la mejora, por lo que se eliminan aquellos ingresos que se percibirían se haga o no la implementación de la mejora. Además, se ajusta el costo fijo correspondiente al salario extra y el costo por el uso del piso.

Además, se asume una depreciación lineal para los componentes comprados como parte de la inversión inicial, que estos se deprecian en el periodo que en el que se hace la evaluación. Se señala que la empresa requiere de un valor TMAR de 45% para que se realice una inversión, además de que se requiere que el TIR sea mayor a un 35%. Los principales resultados de la evaluación financiera pueden ser apreciados en la figura No.31.

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ingresos												
Producción	0	13450	11754	15464	15687	17546	16484	18459	14546	15438	14785	15357
Ingresos de línea	\$ -	\$ 1 082 725	\$ 946 197	\$ 1 244 852	\$ 1 262 804	\$ 1 412 453	\$ 1 326 962	\$ 1 485 950	\$ 1 170 953	\$ 1 242 759	\$ 1 190 193	\$ 1 236 239
Egresos												
Costos Fijos	\$ -	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)	\$ (15 283)
Costos variables	\$ -	\$ (249 094)	\$ (217 684)	\$ (286 393)	\$ (290 523)	\$ (324 952)	\$ (305 284)	\$ (341 861)	\$ (269 392)	\$ (285 912)	\$ (273 818)	\$ (284 412)
Depreciación mesas y materiales	\$ -	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)	\$ (2 291)
Venta de mesas y materiales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 15 750
Valor en libro de mesas y materiales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ (6 300)
Utilidad antes de impuestos	\$ -	\$ 829 507	\$ 722 693	\$ 956 348	\$ 970 393	\$ 1 087 473	\$ 1 020 588	\$ 1 144 974	\$ 896 533	\$ 954 711	\$ 913 585	\$ 959 060
Impuestos 7.5%	\$ -	\$ 62 213	\$ 54 202	\$ 71 726	\$ 72 779	\$ 81 560	\$ 76 544	\$ 85 873	\$ 67 390	\$ 71 603	\$ 68 519	\$ 71 929
Utilidad después de impuestos	\$ -	\$ 767 294	\$ 668 491	\$ 884 622	\$ 897 614	\$ 1 005 912	\$ 944 044	\$ 1 059 101	\$ 831 143	\$ 883 108	\$ 845 066	\$ 887 130
Otros ajustes												
Análisis inicial	\$ (1 800)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Puesta en marcha	\$ (14 350)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Compra de mesas y materiales	\$ (42 130)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación de mesas y materiales	\$ -	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291	\$ 2 291
Valor en libro de mesas y materiales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 6 300
Producción sin cambio	0	12440	11760	14306	12440	13062	13062	13684	13062	13062	12440	13684
Ingresos sin cambios	\$ -	\$ (713 204)	\$ (674 218)	\$ (820 184)	\$ (713 204)	\$ (748 864)	\$ (748 864)	\$ (784 524)	\$ (748 864)	\$ (748 864)	\$ (713 204)	\$ (784 524)
Ajuste a costo fijo	\$ -	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)	\$ (957)
Flujo neto	\$ (58 280)	\$ 56 381	\$ (3 437)	\$ 66 729	\$ 186 701	\$ 259 339	\$ 197 471	\$ 276 867	\$ 84 570	\$ 136 535	\$ 134 153	\$ 111 197
Flujo neto acumulado	\$ (58 280)	\$ (1 899)	\$ (5 336)	\$ 61 393	\$ 248 093	\$ 507 433	\$ 704 903	\$ 981 771	\$ 1 066 340	\$ 1 202 875	\$ 1 337 028	\$ 1 448 225
VAN	\$ (58 280)	\$ (1 310)	\$ (2 938)	\$ 20 138	\$ 56 123	\$ 79 166	\$ 75 844	\$ 72 851	\$ 54 570	\$ 42 453	\$ 32 543	\$ 24 310
TIR												40%

Figura 31 Análisis financiero de Source.

Indicador	Valor
VAN	\$395.870
TIR	40%

Tabla 75 Resultados de indicadores financieros VAN y TIR para propuestas

Teniendo estos valores, se menciona que la inversión inicial se multiplica por un factor de 933,3%, y la única manera en la que la inversión no produzca rentabilidad es teniendo una tasa de interés de 42%. Por lo que se considera que esta inversión es rentable.

Propuestas para realizar el Relaylayout de Source y Detector en JAVA

Se realizaron varias propuestas para ver la manera de reacomodar el piso de JAVA de Philips Costa Rica de una manera que no afecte el flujo y se puedan aumentar la cantidad de estaciones de Source y Detector. Como se puede observar en la figura No. se evidencia el flujo inicial del piso:

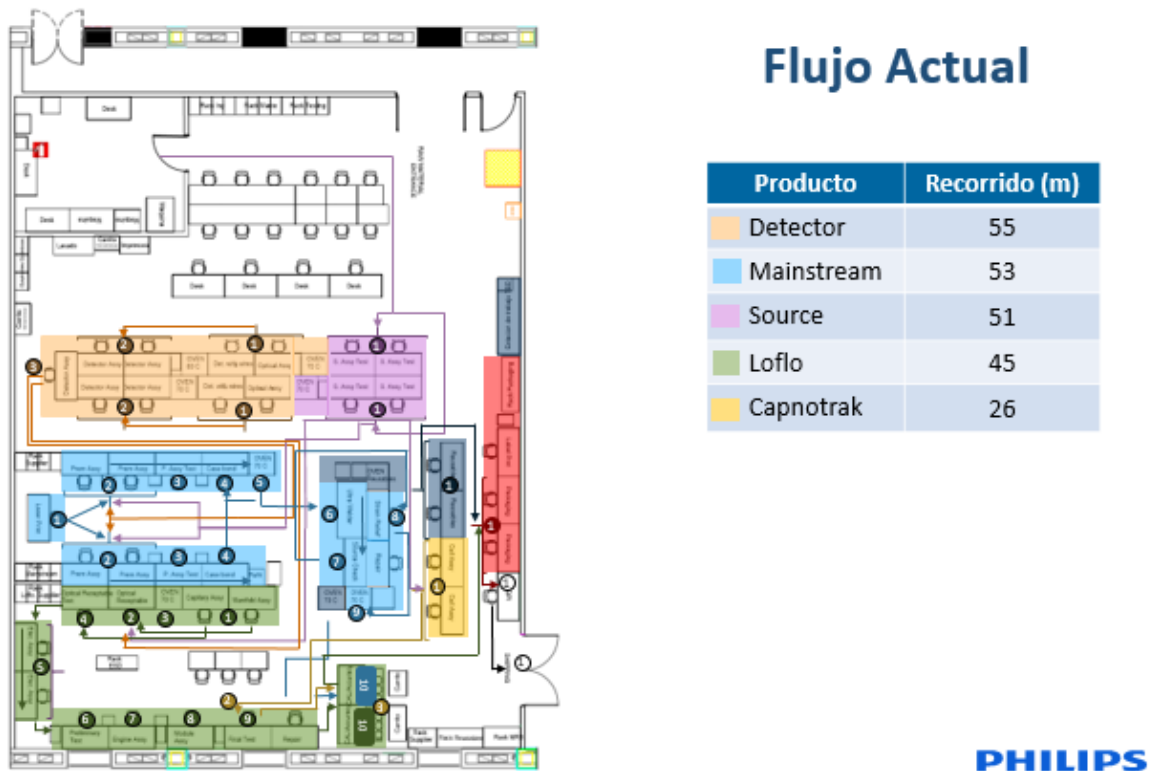
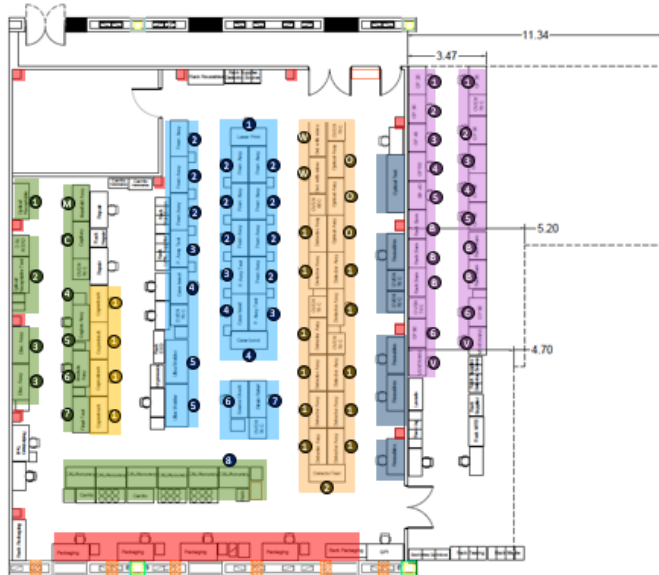


Figura 32 Layout actual del proceso.

En el piso únicamente se cuenta con 74.2 metros cuadrados libres, el incremento de estaciones equivale a un 63% y es necesario utilizar 90 metros cuadrados, por esa razón en algunas propuestas se toma la decisión de colocar la línea de Source externa al cuarto.

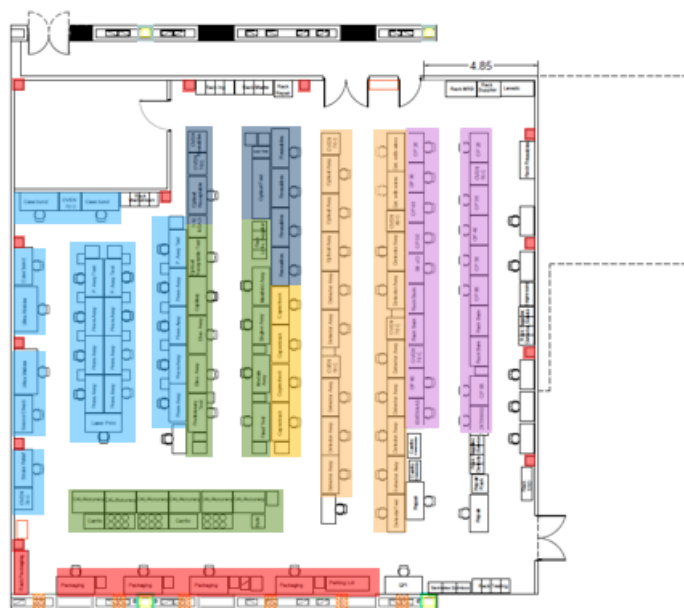


Propuesta 1

Producto	Recorrido (m)
Loflo	59
Source	45
Mainstream	43
Detector	32
Capnotrak	27
Reusables	-

Figura 33 Propuesta de Layout 1

Como se puede observar, Source queda externa al cuarto de JAVA, y Detector está en una posición clave para alimentar a todas las líneas finales.



Propuesta 2

Producto
Source
Mainstream
Loflo
Detector
Capnotrak
Reusables

Figura 34 Propuesta de Layout 2

En la propuesta 2 como se observa en la figura No. se puede evidenciar que se corre la pared aproximadamente 10 metros hacia la derecha para que Source pueda entrar al cuarto de producción.

Al realizar la exposición de las propuestas con la gerencia general de Philips Costa Rica se decidió realizar la propuesta 1, esto ya que la línea de Detector queda unida en el primer escenario, existe un mayor flujo en las líneas finales y no es necesario realizar el traslado de la pared, se decidió realizar ventanas en la pared para llevar el control de los operarios de la línea de Source.

Implementación de las soluciones:

En esta etapa se plantean aquellas acciones necesarias para la estandarización de las mejoras propuestas a nivel de área operativa, donde se señala que se proponen planes de implementación, donde se señalan las principales responsabilidades, además de que se realiza un plan de gestión de riesgos para cada una de las propuestas.

Plan de implementación de Split y aumento de estaciones de Subensambles

Para la implementación de la propuesta de rediseño de las líneas Source y Detector, se señala que el proceso tiene un periodo de inactividad en las líneas de dos semanas, lo que representa un costo total de \$26.300, debido a que la línea se detiene para realizar los movimientos en el piso.

Sin embargo, se menciona que, de este costo, el impacto que genera el proyecto es de solo \$13.150, puesto que la segunda semana de cierre estaba planificada como el periodo de shut-down de la empresa.

Establecimiento de cronograma de actividades.

El diagrama de Gantt para la puesta en marcha de esta propuesta se señala en el diagrama No.11.

Plan de implementación						
Tarea	Inicio	Final	Diciembre			
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Conseguir aprobación de sitio en Wallingford	30 de noviembre	2 de diciembre				
Realizar planeación de movimiento	30 de noviembre	2 de diciembre				
Realizar movimiento de mesas	7 de diciembre	9 de diciembre				
Realización de documentación	7 de diciembre	10 de diciembre				
Entrenamiento de operarios	14 de diciembre	18 de diciembre				
Puesta en marcha	21 de diciembre	21 de diciembre				

Diagrama 11 Diagrama de Gantt para la implementación de la primera propuesta

A través de este diagrama de Gantt se señalan aquellas acciones que deben ser realizadas, así como las fechas en las que las mismas deben estar implementadas.

Responsabilidades para implementación.

A partir de una matriz RACI se plantea el manejo de cada una de las responsabilidades de las actividades que se estará trabajando, señalando que el rol de pasante de OPEX es el encargado de realizar cada una de las actividades, y la gerencia de JAVA es el departamento encargado de aprobar cada uno de los pasos, siendo en algunos casos necesaria una segunda aprobación de otro departamento. Esta matriz RACI puede ser apreciada en el diagrama No.12.

Tarea	Roles								
	Pasante de Opex	Departamento de EHS	Departamento de ingeniería	Ingeniería de transferencia	Departamento de microbiología	Departamento de manufactura	Departamento de recursos humanos	Departamento de planificación	Gerencia de JAVA
Conseguir aprobación de sitio en Wallingford	R			A					A
Realizar planeación de movimiento	R	I	I				C	C	A
Realizar movimiento de mesas	R	I	C		A	A	I	I	A
Realización de documentación	R	A	I						A
Entrenamiento de operarios	R	I		A		I			A
Puesta en marcha	R		A	I				C	A

Diagrama 12 Matriz RACI para la implementación de la primera propuesta.

Se toman en cuenta los principales departamentos que tienen un interés específico en cada una de las etapas de las acciones a realizar.

En la primera actividad, que corresponde a la adquisición de la aprobación de los dueños del proceso (el departamento de producción del sitio en Wallingford), es aprobada adicionalmente por la ingeniería de transferencia, que corresponde al departamento encargado de transferir los procesos que actualmente se realizan en USA a Costa Rica.

La segunda actividad, que corresponde a la planificación del movimiento en el piso productivo requiere que se le informe de los posibles cambios tanto al 96 departamento de seguridad y salud ocupacional, como al departamento de ingeniería, siendo de ayuda para la acción los departamentos de recursos humanos y el de planificación.

El movimiento de las mesas, que corresponde a un paro de la línea, y el acomodo de las mesas debe ser aprobado por el departamento de microbiología que debe realizar las pruebas necesarias para asegurar que el ambiente se mantenga inocuo, y por el departamento de manufactura, además de que se debe informar de cada uno de los pasos a seguir en esta etapa a los departamentos de seguridad y salud ambiental (EHS por su acrónimo en inglés), de recursos humanos, y de planificación. Además, las principales fuentes de experiencia, a quien se le puede consultar para la realización de los movimientos es el departamento de ingeniería.

La realización de la documentación necesaria para el movimiento en el piso debe ser aprobada por el departamento de EHS, y se debe informar al departamento de Ingeniería puesto que este es el encargado de publicar esta información a los operarios.

El entrenamiento de operarios debe ser aprobado por el departamento de ingeniería de transferencia y es necesario informar de los departamentos de EHS, así como el de manufactura, con quienes se requiere trabajar en conjunto para alcanzar un resultado satisfactorio en las mismas.

Una vez que todas las acciones anteriores están completadas, se realiza la puesta en marcha de la propuesta, requiriendo una segunda aprobación por el departamento de ingeniería, e informando al departamento de transferencia.

Análisis de riesgos en los Splits.

Se diseña un plan de gestión de los posibles riesgos para la implementación de la primera propuesta, donde se presentan los principales riesgos que podrían hacer fallar la puesta en marcha de esta, además, se presentan las estrategias a tomar para la mitigación de los posibles efectos adversos.

En la tabla No.76, puede verse este plan, donde se menciona que la peor consecuencia que puede suceder en el avance del proyecto es la posibilidad de que este se atrase, puesto que cada día improductivo de la línea representa un impacto de \$2.640.

No.	Riesgo	Clasificación	Factores o causas	Consecuencias	Estrategias de mitigación
1	No conseguir finalizar las acciones en el plazo determinado	Ejecución	Trabajos en paralelo, poca colaboración entre los departamentos	Retraso en la ejecución de la implementación	Realizar reuniones con los departamentos aprobadores antes de requerir la aprobación, hacer saber a los departamentos involucrados la crucialidad de la implementación y establecer sanciones en caso de que no se cumplan los plazos establecidos.
2	No contar con los operarios entrenados para la implementación	Técnico	Mala planificación del departamento de entrenamiento con respecto a las fechas en que se deben realizar los mismos	Retraso en la ejecución de la implementación, personal con curva de aprendizaje alto, lo que puede llevar a problemas en producción	Mantener a equipo de training informado y hacerles saber los requerimientos de entrenamiento que deben ser alcanzados por los operarios
3	No contar con mesas para realizar movimientos	Proveedor	Proveedor no cumple con fechas de entrega acordadas	Retraso de operación por el periodo de atraso	Ser claros con las expectativas al proveedor, establecer fechas y horas de entrega que de ser violadas podrían traer consecuencias en futuros proyectos en este. Mantener comunicaciones activas con este para evitar cualquier tipo de atraso.

Tabla 76 Plan de gestión de riesgos para la implementación de la segunda propuesta

Plan de implementación de fixture para ayuda de soldadura.

Para la implementación de los fixtures en el área de manufactura, se señala que la inversión en cada uno de los prototipos es de \$12, además de que estos se realizan en la empresa, mediante impresión 3D de las piezas.

Además, el moldeo con resina se realiza en un laboratorio especializado y cada pieza tiene un costo final de \$40, necesitándose en total 9 piezas puesto que la operación que las requiere solo tendrá 4 operarios, por lo que se hacen 4 para cada operario, y una para el piso que sirva de reemplazo en caso de que otra se rompa, y el resto para el cuarto de entrenamiento.

En esta etapa, se realiza un cronograma de las actividades necesarias, los responsables de estas, así como un plan de mitigación de riesgos.

Establecimiento de cronograma de actividades.

Aquellas actividades necesarias para la implementación de esta propuesta, así como las fechas en las que las mismas deben estar completadas para la entrega correcta del proyecto, se presentan en el diagrama No.13.

Plan de implementación						
Tarea	Inicio	Final	Diciembre			
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Conseguir aprobación de sitio en Wallingford	30 de noviembre	2 de diciembre				
Realizar modificaciones finales a propuesta	30 de noviembre	2 de diciembre				
Realizar impresión 3D de fixture	7 de diciembre	9 de diciembre				
Revisión con equipo de entrenamiento	9 de diciembre	9 de diciembre				
Conseguir aprobación de departamento de EHS	14 de diciembre	15 de diciembre				
Moldeo de piezas con resina	15 de diciembre	18 de diciembre				
Entrenamiento de operarios	15 de diciembre	18 de diciembre				
Creación de documentación necesaria	15 de diciembre	18 de diciembre				
Puesta en marcha	21 de diciembre	21 de diciembre				

Diagrama 13 Diagrama de Gantt para la segunda propuesta.

Responsabilidades para implementación.

Para el manejo de las responsabilidades de la implementación de la segunda propuesta, se realiza la matriz RACI presentada en la Figura No. 60, donde es necesario advertir que el responsable de la ejecución de todas las etapas es el

pasante de OPEX que realiza el proyecto, y para cada una de las etapas se requiere aprobación de la gerencia de JAVA.

Tarea	Roles						
	Pasante de Opex	Departamento de EHS	Departamento de ingeniería	Ingeniería de transferencia	Departamento de entrenamiento	Departamento de manufactura	Gerencia de JAVA
Conseguir aprobación de sitio en Wallingford	R			A		I	A
Realizar modificaciones finales a propuesta	R		C			I	A
Realizar impresión 3D de fixture	R	I	I	I		C	A
Revisión con equipo de entrenamiento	R	I			A	C	A
Conseguir aprobación de departamento de EHS	R	A	I	C		I	A
Moldeo de piezas con resina	R	I	I			I	A
Entrenamiento de operarios	R	I	I		A	A	A
Creación de documentación necesaria	R	I	A		C	C	A
Puesta en marcha	R	I	I	I	I	A	A

Diagrama 14 Matriz RACI para la implementación de la segunda propuesta.

Se señala que esta propuesta debe ser aprobada por el propietario del proceso, que en el momento de la implementación será el departamento de manufactura del sitio en Wallingford en USA, esta acción debe ser supervisada por el departamento de transferencia de procesos, y se debe informar al departamento de manufactura.

Para la realización de las mejoras finales, se puede consultar al departamento de ingeniería por retroalimentación extra en la última versión del prototipo. Además, se debe informar al departamento de manufactura una vez esté realizado.

La realización de la impresión 3D se debe informar a los departamentos de EHS, ingeniería, y de ingeniería de transferencia, puesto que una vez se realiza esta acción se realizan pruebas el mismo día para asegurar que será la versión final del proyecto.

Una vez realizadas las pruebas, se realiza una revisión con el equipo de entrenamiento que tendrá retroalimentaciones finales, además, este equipo es quien señala esta acción como completada. Una vez realizada se debe informar al

departamento de EHS quien pone en marcha su última evaluación para asegurar que el fixture cumpla con los requisitos de seguridad.

Seguidamente se realiza una reunión con departamento de EHS quienes dan su aprobación de seguridad final, y se informa al departamento de ingeniería que el fixture es aprobado y que una vez se tengan las piezas en resina se hace la implementación.

Finalmente se realizan las acciones de documentación que incluye la realización de los números de partes y publicación de los diseños a nivel de sistema, y el entrenamiento de los operarios, donde se les enseña a utilizar el fixture.

Una vez terminadas las operaciones anteriores, se pone en marcha el uso del fixture en producción. La misma semana en la que se realiza la puesta en marcha de la propuesta anterior.

Análisis de riesgos.

Finalmente, se diseña un plan de gestión de riesgos, donde se señala que es de especial importancia el trabajar de la mano con el departamento de EHS, debido a que la seguridad del operario siempre debe ser una prioridad para cualquier diseño en la línea. Se indica que este plan de riesgos está desarrollado en la Tabla No.77.

No.	Riesgo	Clasificación	Factores o causas	Consecuencias	Estrategias de mitigación
1	Diseño de fixture inseguro o con ángulos que puedan llegar a herir a operario	Ejecución	Diseño sin tomar en cuenta factores punzocortantes	Heridas en operarios, rechazo de pieza por departamento de EHS	Tener reuniones con departamento de EHS donde se analicen los fixtures antes de imprimirlos y señalar posibles mejoras para hacerlos más seguros, además de conseguir retroalimentación de operarios para que estos mencionen posibles mejoras al modelo
2	Retraso de moldeo con resina	Proveedor	Proveedor no cumple con días especificados	Retraso en implementación, tiempos de soldadura más altos mientras no se tengan fixtures	Ser claros con las expectativas al proveedor, establecer fechas y horas de entrega que de ser violadas podrían traer consecuencias en futuros proyectos en este. Mantener comunicaciones activas con este para

Tabla 77 Plan de gestión de riesgos para segunda propuesta.

Es importante señalar además que el atraso en esta propuesta puede implicar un problema a nivel de producción puesto que el periodo para el entrenamiento de los operarios en esta propuesta es el mismo periodo de entrenamiento de la propuesta anterior, esto diseñado de esta manera para gastar la menor cantidad de tiempo en este proceso. Por lo que las medidas necesarias para la correcta aplicación de esta propuesta constituyen en señalar a proveedores la importancia alta de este proyecto, y de tener medidas disciplinarias para con estos en caso de ser necesario, como lo es no tomarles en cuenta en futuros proyectos y requerimientos de la empresa.

Conclusiones.

1. Se aumenta la capacidad de la línea de Detector en 247 piezas diarias, con una nueva capacidad proyectada de 869 piezas diarias, con lo que se logra satisfacer la demanda de Philips Costa Rica para el año 2021, pasando de un cubrimiento de la demanda de 79% en el periodo de 2020 a ser capaz de soportar el 100% de la demanda del siguiente periodo.
2. Se aumenta la capacidad de la línea de Source en 550 piezas diarias, con una nueva capacidad proyectada de 780 piezas diarias, con lo que se logra satisfacer la demanda de Philips Costa Rica para el año 2021, pasando de un cubrimiento de la demanda de 54% en el periodo de 2020 a ser capaz de soportar el 100% de la demanda del siguiente periodo.
3. Se aumenta la productividad de la línea Detector a 2.3 unidades por hora por operario, lo que representa una mayor eficiencia que la productividad actual de 1.7 unidades por hora por operario.
4. Se aumenta la productividad de la línea Source a 2.9 unidades por hora por operario, lo que representa una mayor eficiencia que la productividad actual de 2.0 unidades por hora por operario.
5. Se mejora el tiempo de soldadura del componente “L Flex” a la tarjeta de Detector, reduciéndose en un promedio de 40 segundos por pieza gracias a la implementación de un fixture de ayuda a la soldadura.
6. Se reduce el Lead Time del proceso en 1.4 días, es decir, un 37.2% del tiempo requerido actualmente, lo que permite tener un mejor tiempo de respuesta para con el cliente, pasando este a 2.9 días.
7. Se aumenta el porcentaje de tiempo en que se da valor agregado a la pieza en un 40% en las 2 líneas.
8. Con la implementación de la propuesta, puede mejorarse el uso de los hornos que actualmente se encuentran en un 13% de utilización a 60% de utilización en Detector.
9. Se concluye el proyecto con un 100% en la implementación del mismo.

Recomendaciones.

1. Se recomienda a la organización realizar ambas propuestas de aumento de capacidad a la vez, ya que esto reduce los tiempos de entrenamiento de los operarios, así como reduce la cantidad de los recursos necesarios para poner en marcha la segunda propuesta.
2. A lo largo del diseño de la propuesta, se demuestra la importancia del conocimiento del comportamiento de los inventarios de producto en proceso, por lo que se recomienda a la empresa mantener estos actualizados, así como realizar tomas físicas, al menos, una vez cada mes y realizar una cada vez que se realiza algún cambio en el proceso.
3. Se determina que gracias al diseño que tiene el proceso, la operación C, la operación D, y la operación de Detector Test pueden trabajar a un ritmo de One-Piece-Flow, por lo que la implementación de una banda transportadora que conecte estas tres operaciones es posible. Además, lo único que hace imposible el uso de una banda transportadora en la totalidad del proceso es el uso de hornos para el curado del epoxy que se aplica en las primeras estaciones, que puede ser mitigado en caso de utilizar un epoxy que sea posible curar con uso de tecnología ultravioleta, lo que mejoraría de una manera muy importante el flujo de la línea y reduciría sustancialmente el Lead time para este subensamble.
4. Es importante tomar en cuenta de las opiniones de los operarios en cuanto a mejoras que se realicen en el proceso, ya que muchos de estos señalaron jamás haber sido contactados, ni tener un medio por el cual proponer ideas de mejoras, por lo que se sugiere el desarrollo de un sitio web o aplicación donde cualquier colaborador de la empresa pueda hacer oír las oportunidades de mejora de estos
5. Se recomienda la realización de una campaña de salud ocupación donde se haga enfoque a que los colaboradores tienen la potestad y en realidad se espera que cualquier dificultad que experimenten en el proceso es algo que pueden reportar. Las dificultades en un proceso son puntos de mejora para el equipo de mejora continua.

BIBLIOGRAFÍA.

Ali, R. M., & Deif, A. M. (2014). Dynamic lean assessment for takt time implementation. In 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems Proceedings: Windsor, Ontario, Canada (Vol. 17, p. 577).

Arena Simulation Software. (2020). Don't play guessing games with business Decisions. Sitio web oficial. Recuperado de: <https://www.arenasimulation.com/>

Berchon, M., Luyt, B. (2014). La impresion 3D, guía definitiva para makers, diseñadores, estudiante, profesionales, artistas y manitas en general. 1 ed. Barcelona, España. Groupe Eyrolles. p. 3-4.

Edward, K. (1967). Methods Engineering, design and measurement of work methods. New York. John Wiley and Sons Inc. p. 201-215.

Ferrari. A. (2018) Como calcular la capacidad de producción. Recuperado el 11 de noviembre del 2020 de: <https://www.cuidatudinero.com/13074185/como-calcular-la-capacidadde-produccion>

Freund, J., Rücker, B. y Hitpass, B. (2014). BPMN 2.0 Manual de referencia y Guía práctica. 4 ed. Santiago de Chile. Camunda. p. 28.

Gidey, E., Jilcha K., Beshah B. y Kitaw D. (2014) The Plan-Do-Check-Act Cycle of Value Addition. Industrial Engineering & Management. 3:1, p. 1-5.

Gilbreth, F. et Gilbreth, L. (1921). Process Charts. The American Society of Mechanical Engineers. USA. Disponible en: <https://archive.org/details/processcharts00gilb/page/n3/mode/2up>

Johnson, C. (2002). The benefits of PDCA. 1 ed. Back To Basics. USA.

Kelton, W., et al. (2015). Simulation with Arena. 6 ed. Mc Graw Hill, New York, USA.

Linck, J., & Cochran, D. S. (1999). The importance of takt time in manufacturing system design. (No. 1999-01-1635). SAE Technical Paper.

Longarini, C. (2011). La Matriz RACI, una herramienta para organizar tareas en la empresa.

- Lovelle, J. (2001). Mapping the value stream. IIE Solutions. Vol 33(2), p. 26-32.
- McManus, H. L. (2005). Product Development Value Stream Mapping (PDVSM) Manual Release 1.0.
- Meyers, F. E., & Stephens, M. P. (2006). In Pablo Miguel Guerrero Rosas (Ed.).
- Moya, M. (1985). Clasificación de materiales procedimiento computarizado. Revista Tecnología en Marcha, 8(1), 35-38.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo. (12a. ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Philips (2020). Vision & Mision. Recuperado el 21/9/2020 de Philips, sitio web: <https://www.philips.com/a-w/research/vision-and-mission.html>
- Philips. (2020). ¿Cuál es la máscara CPAP adecuada para mí? Recuperado el 21/9/2020 de Philips, sitio web: <https://www.centralamerica.philips.com/ce/hs/sleep-apnea-therapy/sleep-apnea-masks.html>
- PMI (2009). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. 4 ed. USA: Project Management Institute, Inc. p. 504.
- Quesada, G. (2015). ¿Cómo hacer un análisis de Pareto? ISOSCORECARD. Recuperado de: <https://isoscorecard.wordpress.com/2015/07/09/80/>
- Saiz, J. (2019). Matriz RACI. La asignación de responsabilidades. Jorge Saiz, sitio web. Recuperado de: <https://jorgesais.com/blog/matriz-raci/>
- Salazar, B. (2019). Clasificación de inventarios. Ingeniería Industrial online. Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-deinventarios/clasificacion-de-inventarios/>
- Sketchup. (2019). What's New with SketchUp Pro [in] 2019? Sitio web, recuperado el 11 de noviembre de 2020, disponible en: <https://blog.sketchup.com/article/a-whole-new-way-to-sketchup>

Solid Works. (2015). Solidworks Introduction. Massachusetts, USA. Dessoault Systems Corporation.

Suñé A., Gil F., Arcusa I. (2004). Diseño de sistemas productivos. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.

Villareal, M. et al (2018). Catéteres venosos centrales. Enferm Nefrol. SciELO. España. Capítulo 6. p. 138-181.

Wilkinson, L. (2006). Revising the Pareto Chart. The American Statistician, Vol 6(4), p. 1-3.

Wilson, J. (2003). Gantt Charts: A centenary appreciation. European Journal of Operational Research. Vol 149(1) p. 430-437.

Zapata, M et Colorado, J. Takt Time, el corazón de la producción. Sennova (1) p. 60-62.

Project Management Institute Inc. (2017). Guia de PMBOK. Pennsylvania, USA: Independent Publishers Group

APÉNDICES

Apéndice 6. Plantilla para el análisis de capacidad

Demanda mensual	
Días disponibles	
Demanda diaria	
Tiempo	
Días de Turno	
Diseño de Turno	

Sub-Assembly	Producción
SUB-ASSEMBLY FOR CASE	
SUB-ASSEMBLY FOR BODY TOP COMPONENTS	

PV 2024 - Turno A											
Operaciones	Tiempo estándar (min/unit)	Lotos mínimos técnicos requeridos	Lotos mínimos reales por línea	Tiempo	A producir	Frecuencia (semanal)	Disponibilidad	Capacidad diaria (year 2024)	Capacidad planificada	Tiempo Total (year/line)	
1 SHAF T PREPARATION / DISASSEMBLY		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
2 BRUSH MOTOR ASSEMBLY		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
3 MOTOR MOTOR ASSEMBLY		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
4 MOTOR CABLE ATTACH		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
5 SHAF T SCREWER COLLATION		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
6 ROTARY SWITCH SCREWER ATTACH		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
7 BONDY-ARM LUBR		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
8 UN FILLER		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
9 FINAL INSPECTION		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
10 CHAMBER MOUNTING DISK		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
11 END ROPEHUNG COATING		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
12 COILING		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
13 UN LASH L PROTECT		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
14 ASSEMBLY		10000/01			10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	10000/01	
	01	10000/01	0,01	0,01%		10000/01		10000/01	10000/01		

Capacity					
	Diseño línea	Línea	Producción por hora	Producción diaria	Producción mensual
Capacidad 100%	////	1	10000/01	10000/01	10000/01
Capacidad Real	0,01%	1	10000/01	10000/01	10000/01

Apéndice 7. Antes y después de la línea Detector



Apéndice 8. Antes y después de la línea Source



Apéndice 9. Carta de aceptación de la empresa

Dirección de Carrera de Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana
Sede Tibás

Señores:

Se envía esta carta para certificar que la estudiante María Laura Saborío Carballo (1-1665-0549) de la carrera Ingeniería Industrial fue aceptada por la empresa Philips Costa Rica para realizar su proyecto de graduación con grado de Licenciatura, el proyecto asignado se realizará en el área SRC (Sleep and Respiratory Care) en el departamento de JAVA. La empresa se compromete a brindarle apoyo a María Laura Saborío Carballo, con respecto a la información necesaria para el proyecto y darle la oportunidad de adquirir experiencia en una empresa de Industria Médica.

Se despide,



Enrique Eduarte B.
Supervisor

Apéndice 10. Carta de culminación de proyecto de la empresa

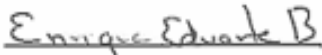
Buenos días,

Alajuela 10 Febrero 2021

Por medio de la presente, hago constar que María Laura Saborío Carballo, cédula: 1-1665-0549, concluye el proyecto de aumento de capacidad de los subensambles de JAVA iniciando como Continuous Improvement Intern y finalizando el mismo como Continuous Improvement Engineer, el proyecto se aprueba dentro de la empresa y se hace constar la realidad del mismo.

Extiendo el agradecimiento al buen trabajo realizado en el proyecto realizado por la Ingeniera.

Saludos,



Enrique Eduarte B.
Supervisor



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

San José, 14 Febrero 2021

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) María Laura Saborío Carballo con número de identificación 1-1665-0549 autor (a) del trabajo de graduación titulado Aumento de capacidad mediante estudios de tiempos y movimientos durante el II semestre del 2020 en el área JAVA, en las líneas de Sub ensambles Source y Detector de Philips Costa Rica, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial; ~~SI~~ / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que, con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

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

Cordialmente,



1-1665-0549