

**UNIVERSIDAD CENTRAL  
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE COSTOS Y MEJORA EN LA  
EFICIENCIA DEL PROCESO DE UN DISPOSITIVO MÉDICO  
POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA DMAIC Y UN ESTUDIO  
DE CAPACIDAD EN LA COMPAÑÍA MEDICAL DEVICES**

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

**ESTUDIANTE: ANTHONY BARQUERO ESQUIVEL**

**TUTOR: ING. KATHERINE CARVAJAL**

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA**

**MARZO, 2025**

# CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA .....	I
CÉDULA DE IDENTIDAD.....	II
SOLICITUD DE DEFENSA.....	III
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR .....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL LECTOR.....	V
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO .....	VI
CARTA DE ENTENDIMIENTO.....	VII
CONTENIDO .....	VIII
TABLAS.....	XIII
FIGURAS.....	XVI
DEDICATORIA .....	XIX
AGRADECIMIENTOS .....	XX
EPÍGRAFE .....	XXI
RESUMEN.....	XXII
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4 ANTECEDENTES .....	4
1.4.1 Antecedentes nacionales .....	4
1.4.2 Antecedentes internacionales .....	7
1.5 PROYECCIONES.....	10
1.5.1 Alcances .....	10
1.5.2 Limitaciones .....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	12
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES .....	13
2.1.1 Metodología DMAIC.....	13

2.1.2 Project charter.....	14
2.1.3 Diagrama de flujo .....	17
2.1.4 Análisis FODA.....	18
2.1.5 Matriz FODA .....	20
2.1.6 Diagrama SIPOC .....	21
2.1.7 Análisis de stakeholders .....	22
2.1.8 Diagrama de espagueti .....	24
2.1.9 Matriz de relaciones .....	25
2.1.10 Análisis de costos .....	26
2.1.11 Gráfico circular .....	27
2.1.12 Indicadores de productividad .....	28
2.1.13 Estudio de tiempos.....	29
2.1.14 Estudio de métodos .....	30
2.1.15 Cursograma analítico .....	31
2.1.16 Estudio de yield de los procesos.....	32
2.1.17 Gráfico de dispersión .....	33
2.1.18 Gráfico de barras .....	34
2.1.19 Estudio de capacidad y utilización .....	35
2.1.20 Lluvia de ideas .....	37
2.1.21 Diagrama de Ishikawa.....	39
2.1.22 Multivoto.....	42
2.1.23 Diagrama de Pareto .....	43
2.1.24 Diagrama de relaciones .....	44
2.1.25 Cinco porqués.....	47
2.1.26 Diagrama de Gantt.....	49
2.1.27 Estrategia para la resistencia al cambio.....	51
2.1.28 Análisis del retorno de la inversión (ROI).....	51
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA .....	52
2.2.1 Visión/misión .....	52
2.2.2 Antecedentes históricos .....	53
2.2.3 Ubicación geográfica.....	53

2.2.4 Estructura organizacional.....	53
2.2.5 Cantidad de empleados .....	55
2.2.6 Tipos de productos.....	55
2.2.7 Mercado de exportación.....	55
2.2.8 Descripción general del proceso productivo .....	56
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	59
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	61
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	63
3.3.1 Sujetos de información.....	63
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS.....	65
3.5 INSTRUMENTOS.....	67
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS .....	68
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
4.1 DEFINIR.....	71
4.1.1 Diagrama de flujo .....	71
4.1.2 FODA.....	74
4.1.3 Matriz FODA .....	76
4.1.4 Diagrama SIPOC .....	78
4.1.5 Análisis de stakeholders .....	81
4.1.6 Diagrama de espagueti .....	86
4.1.6.1 Desglose de recorridos en la línea.....	89
4.1.7 Matriz de relaciones de los procesos .....	91
4.2 MEDIR.....	97
4.2.1 Análisis de costos .....	97
4.2.1.1 Determinar el costo de la mano de obra directa e indirecta .....	97
4.2.1.2 Desglose de los costos por unidad .....	100
4.2.2 Indicadores de productividad .....	101
4.2.3 Estudio de tiempos.....	104
4.2.3.1 Tiempos observados por operario.....	104
4.2.3.2 Tiempos observados.....	106

4.2.3.3 Determinación de la muestra .....	107
4.2.3.4 Aplicación de la tabla Westinghouse.....	109
4.2.3.5 Aplicación de la tabla de suplementos .....	111
4.2.4 Estudio de métodos de los procesos .....	117
4.2.5 Estudio de yield de los procesos.....	136
4.2.5.1 Evaluación por ensamble del producto .....	145
4.2.5.2 Porcentaje de las unidades desechadas.....	145
4.2.6 Estudio de capacidad y utilización .....	146
4.2.6.1 Establecer el tiempo disponible efectivo del proceso.....	148
4.2.6.2 Establecer las metas de producción para cada ensamble .....	148
4.2.6.3 Explicación de la herramienta de capacidad.....	151
4.2.6.4 Resumen del personal requerido actualmente.....	154
4.2.6.5 Resumen sobre la utilización actual de las estaciones de trabajo .....	154
4.3 ANALIZAR .....	158
4.3.1 Lluvia de ideas .....	158
4.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	161
4.3.3 Multivoto.....	165
4.3.4 Diagrama de Pareto .....	168
4.3.5 Diagrama de relaciones .....	171
4.3.6 Ejercicio de los 5 porqués .....	172
CAPÍTULO V. PROPUESTA .....	176
5.1 MEJORAR.....	177
5.1.1 Propuesta 1: Realizar un nuevo layout en la línea .....	177
5.1.1.1 Estudio de los procesos .....	178
5.1.1.2 Localizar improductividades.....	179
5.1.1.3 Distribución del espacio y disposición del equipamiento.....	179
5.1.1.4 Un buen ordenamiento interno.....	179
5.1.1.5 Reducir los desplazamientos en la zona de trabajo.....	184
5.1.1.6 Contemplar nuevos traslados dentro del estudio de métodos previo.....	188
5.1.1.7 Contemplar nuevos traslados dentro del estudio de tiempos previo.....	200
5.1.1.8 Definir los requerimientos para implementar el nuevo layout.....	203

5.1.2 Propuesta 2: Restructurar el plan de producción y la mano de obra.....	205
5.1.2.1 Definir un nuevo plan de producción diario .....	206
5.1.2.2 Establecer requerimientos para un nuevo plan de producción .....	207
5.1.2.2.1 Herramienta de capacidad con el escenario de la propuesta .....	208
5.1.2.2.2 Resumen del personal requerido actualmente.....	210
5.1.2.3 Establecer la nueva utilización y verificar la viabilidad de la propuesta ....	211
5.1.2.4 Definir un plan de reubicación del personal .....	214
5.2 CONTROLAR .....	215
5.2.1 Diagrama de Gantt para la propuesta 1 .....	215
5.2.2 Formulario de la solicitud de cambios de layout para controlar la propuesta 1 .....	218
5.2.3 Diagrama de Gantt para la propuesta 2 .....	220
5.2.4 Análisis de costos proyectado con la implementación de las propuestas ....	222
5.2.5 Indicadores de productividad para las propuestas .....	226
5.2.6 Estrategia para la resistencia al cambio.....	231
5.2.7 Análisis del retorno de la inversión (ROI).....	234
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	238
CONCLUSIONES.....	239
RECOMENDACIONES .....	243
REFERENCIAS .....	244
APÉNDICES Y ANEXOS.....	252
APÉNDICE 1: FORMULARIO DE SOLICITUD DE CAMBIOS DE LAYOUT .....	253
ANEXO 1: PROYECCIÓN DE DEMANDA Y PRODUCCIÓN .....	256

## TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área.....	55
Tabla 3.1: Project charter .....	64
Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico.....	66
Tabla 4.1: FODA.....	74
Tabla 4.2: Matriz FODA.....	76
Tabla 4.3: Criterios para evaluar los stakeholders.....	82
Tabla 4.4: Valoración de Stakeholders según sus Características.....	83
Tabla 4.5: Evaluación de stakeholders.....	84
Tabla 4.6: Desglose de los recorridos en la línea.....	90
Tabla 4.7: Criterios para la matriz de relaciones .....	92
Tabla 4.8: Resultados de los criterios para la matriz de relaciones.....	93
Tabla 4.9: Valores y código de color para la matriz de relaciones.....	94
Tabla 4.10: Criterios para la matriz de relaciones .....	95
Tabla 4.11: Matriz de relaciones de los procesos.....	96
Tabla 4.12: Costos de la mano de obra directa .....	98
Tabla 4.13: Costos de la mano de obra indirecta .....	99
Tabla 4.14: Costos de MOD y MOI por unidad.....	99
Tabla 4.15: Tabla de los costos por unidad.....	101
Tabla 4.16: Tabla de indicadores de productividad actuales .....	102
Tabla 4.17: Tabla de tiempos observados por operario .....	105
Tabla 4.18: Tabla resumen de los tiempos observados por operario .....	106
Tabla 4.19: Tabla de tiempos observados (TO) para las operaciones de la línea.....	107
Tabla 4.20: Tabla de las muestras requeridas por operación.....	109
Tabla 4.21: Tabla de tiempos normales (TN) para las operaciones de la línea.....	110
Tabla 4.22: Tabla tiempos estándar (TE) para las operaciones de la línea.....	113
Tabla 4.23: Tabla resumen del tiempo de ciclo estándar .....	116
Tabla 4.24: Cursograma analítico del actual proceso B1 .....	118
Tabla 4.25: Cursograma analítico del actual proceso B2 .....	119
Tabla 4.26: Cursograma analítico del actual proceso B3 .....	120

Tabla 4.27: Cursograma analítico del actual proceso B4 .....	121
Tabla 4.28: Cursograma analítico del actual proceso B5 .....	122
Tabla 4.29: Cursograma analítico de la actual inspección de calidad .....	123
Tabla 4.30: Cursograma analítico del actual proceso B6 .....	124
Tabla 4.31: Cursograma analítico del actual proceso A1 .....	125
Tabla 4.32: Cursograma analítico del actual proceso A2 .....	126
Tabla 4.33: Cursograma analítico del actual proceso A3 .....	127
Tabla 4.34: Cursograma analítico del actual proceso A4 .....	128
Tabla 4.35: Cursograma analítico del actual proceso A5 .....	129
Tabla 4.36: Cursograma analítico del actual proceso C1 .....	130
Tabla 4.37: Cursograma analítico del actual proceso C2 .....	131
Tabla 4.38: Cursograma analítico del actual proceso C3 .....	132
Tabla 4.39: Cursograma analítico del actual proceso C4 .....	133
Tabla 4.40: Cursograma analítico del actual proceso C5 .....	134
Tabla 4.41: Cursograma analítico del actual proceso C6 .....	135
Tabla 4.42: Resumen de los cursogramas analíticos de la línea.....	136
Tabla 4.43: Unidades buenas y malas diarias por proceso .....	138
Tabla 4.44: Tabla de yield y RTY diario por proceso, parte 1 .....	140
Tabla 4.45: Tabla de yield y RTY diario por proceso, parte 2.....	141
Tabla 4.46: Tabla de resumen del yield por proceso y ensamble.....	144
Tabla 4.47: Cálculo del tiempo disponible neto en la línea.....	148
Tabla 4.48: Metas de producción para cada ensamble .....	149
Tabla 4.49: Herramienta de capacidad, estado actual .....	150
Tabla 4.50: Personal requerido actualmente .....	154
Tabla 4.51: Utilización actual de las estaciones de trabajo .....	155
Tabla 4.52: Criterios para el multivoto .....	165
Tabla 4.53: Multivoto .....	167
Tabla 4.54: Matriz para el diagrama de Pareto.....	169
Tabla 5.1: Comparación de los recorridos actuales contra los de la propuesta .....	185
Tabla 5.2: Resumen de los recorridos de la propuesta .....	187
Tabla 5.3: Cursograma analítico del proceso A1 propuesto .....	189

Tabla 5.4: Cursograma analítico del proceso A2 propuesto .....	190
Tabla 5.5: Cursograma analítico del proceso A3 propuesto .....	191
Tabla 5.6: Cursograma analítico del proceso A4 propuesto .....	192
Tabla 5.7: Cursograma analítico del proceso A5 propuesto .....	193
Tabla 5.8: Cursograma analítico del proceso C1 propuesto .....	194
Tabla 5.9: Cursograma analítico del proceso C2 propuesto .....	195
Tabla 5.10: Cursograma analítico del proceso C3 propuesto .....	196
Tabla 5.11: Cursograma analítico del proceso C4 propuesto .....	197
Tabla 5.12: Cursograma analítico del proceso C6 propuesto .....	198
Tabla 5.13: Resumen de los porcentajes de mejora en los procesos .....	199
Tabla 5.14: Resumen de los tiempos observados actuales contra los propuestos .....	201
Tabla 5.15: Resumen de los tiempos normales actuales contra los propuestos .....	202
Tabla 5.16: Resumen de los tiempos estándar actuales contra los propuestos .....	203
Tabla 5.17: Propuesta de segregación del volumen de producción .....	207
Tabla 5.18: Herramienta de capacidad, propuesta .....	209
Tabla 5.19: Personal requerido según la propuesta .....	210
Tabla 5.20: Comparación del personal actual vs. el personal propuesto .....	210
Tabla 5.21: Utilización de las estaciones de trabajo con la propuesta 2 .....	212
Tabla 5.22: Cálculo del costo de la mano de obra directa con la propuesta .....	222
Tabla 5.23: Cálculo del costo de la mano de obra indirecta con la propuesta .....	223
Tabla 5.24: Costo por unidad para la propuesta .....	223
Tabla 5.25: Comparación de los costos actuales contra los de la propuesta .....	225
Tabla 5.26: Comparación de los indicadores de productividad actuales contra los de la propuesta .....	227
Tabla 5.27: Inversiones requeridas en el trabajo de investigación .....	235

## FIGURAS

Figura 2.1: Metodología DMAIC .....	14
Figura 2.2: Project charter .....	16
Figura 2.3: Simbología de un diagrama de flujo .....	18
Figura 2.4: Análisis FODA .....	19
Figura 2.5: Matriz FODA.....	21
Figura 2.6: Diagrama SIPOC.....	22
Figura 2.7: Análisis de stakeholders .....	24
Figura 2.8: Diagrama de espagueti .....	25
Figura 2.9: Ejemplo de una matriz de relaciones.....	26
Figura 2.10: Análisis de costos .....	27
Figura 2.11: Gráfico circular .....	28
Figura 2.12: Ejemplos de indicadores de productividad .....	29
Figura 2.13: Pasos para un estudio de tiempos .....	30
Figura 2.14: Procedimiento de un estudio de métodos .....	31
Figura 2.15: Ejemplo de un cursograma analítico .....	32
Figura 2.16: Ejemplo de un rolled throughput yield en un proceso.....	33
Figura 2.17: Ejemplo de un gráfico de dispersión.....	34
Figura 2.18: Ejemplo de un gráfico de barras.....	35
Figura 2.19: Ejemplo de un gráfico de capacidad contra la demanda esperada .....	37
Figura 2.20: Ejemplo de un diagrama de lluvia de ideas .....	39
Figura 2.21: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa.....	41
Figura 2.22: Proceso para el multivoto .....	42
Figura 2.23: Ejemplo de una tabla para un diagrama de Pareto .....	43
Figura 2.24: Ejemplo de un diagrama de Pareto .....	44
Figura 2.25: Ejemplo de un diagrama de relaciones .....	46
Figura 2.26: Ejemplo de 5 porqués.....	48
Figura 2.27: Ejemplo de un diagrama de Gantt.....	50
Figura 2.28: Fórmula para calcular el ROI.....	52
Figura 2.29: Organigrama de Medical Devices.....	54

Figura 2.30: Diagrama de flujo de la línea .....	57
Figura 3.1: Metodología DMAIC para la presente investigación.....	62
Figura 3.2: Diagrama de flujo de recolección de datos.....	69
Figura 4.1: Diagrama de flujo del proceso .....	73
Figura 4.2: Diagrama SIPOC.....	79
Figura 4.3: Matriz de stakeholders .....	85
Figura 4.4: Diagrama de espagueti .....	88
Figura 4.5: Transportes requeridos por ensamble.....	91
Figura 4.6: Gráfico circular de los costos por unidad.....	100
Figura 4.7: Gráfico de los indicadores de productividad.....	103
Figura 4.8: Tabla del sistema de valoración Westinghouse.....	110
Figura 4.9: Tabla de la guía de suplementos.....	112
Figura 4.10: Gráfico de dispersión del RTY diario .....	142
Figura 4.11: Gráfico de barras del porcentaje de scrap por proceso.....	146
Figura 4.12: Proceso para elaborar la herramienta de capacidad y utilización del proceso.....	147
Figura 4.13: Utilización actual de las estaciones de trabajo .....	157
Figura 4.14: Lluvia de ideas.....	160
Figura 4.15: Diagrama de Ishikawa .....	162
Figura 4.16: Diagrama de Pareto de las causas.....	170
Figura 4.17: Diagrama de relaciones de las causas.....	172
Figura 4.18: Ejercicio de 5 porqués .....	173
Figura 5.1: Pasos para implementar un nuevo layout en la línea .....	178
Figura 5.2: Propuesta de layout por celdas .....	180
Figura 5.3: Diagrama de espagueti de la propuesta.....	181
Figura 5.4: Comparación de los traslados con el método actual contra la propuesta..	187
Figura 5.5: Pasos para implementar la propuesta 2 .....	206
Figura 5.6: Utilización propuesta y actual de las estaciones de trabajo .....	213
Figura 5.7: Significado de los colores empleados en los diagramas Gantt .....	216
Figura 5.8: Diagrama de Gantt para la propuesta 1 .....	217
Figura 5.9: Secuencia de los pasos para llevar a cabo cambios de layout .....	219

Figura 5.10: Diagrama de Gantt para la propuesta 2 ..... 221

Figura 5.11: Porcentajes por tipo de costo para la propuesta ..... 224

Figura 5.12: Comparación de los costos actuales contra los de la propuesta ..... 226

Figura 5.13: Comparación de los índices de la productividad actuales contra los  
de la propuesta ..... 228

Figura 5.14: Interpretación de cada color utilizado en los velocímetros de los  
indicadores ..... 229

Figura 5.15: Indicadores de los costos y productividad para el producto ..... 230

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, quien me ha acompañado en cada paso de este camino, dándome la fortaleza y las oportunidades necesarias para seguir adelante.

A mis padres, quienes han entregado su vida por mí y mis hermanos, siendo nuestro pilar, nuestro refugio y nuestro mayor ejemplo de amor sincero y sacrificio. Sin su apoyo incondicional, este logro no sería posible.

A mis hermanos, quienes han sido mis compañeros de vida, mis confidentes y mi mayor fuente de motivación. Gracias por su apoyo, por creer en mí y por ser parte fundamental de mi crecimiento.

A mi yo del pasado, quien con esfuerzo, pequeñas victorias y madrugadas de dedicación fue construyendo el sendero que hoy me trae hasta aquí. A ese yo que dudaba, le diría con certeza que cada esfuerzo ha valido la pena.

A mi yo del futuro, el ingeniero que seré, que llevará con orgullo y responsabilidad los conocimientos adquiridos, con el propósito de buscar siempre la excelencia, la integridad y el compromiso con su profesión.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a Dios, por darme las fuerzas, la sabiduría y la paz necesarias para enfrentar los retos que se presentaron a lo largo de este proceso.

A mi tutora, Katherine Carvajal Ávila, por su apoyo constante y su paciencia, así como por brindarme su conocimiento y profesionalismo.

A mi gerente y directora actual, por su confianza y por siempre facilitarme el espacio y la ayuda necesaria dentro de la compañía para permitirme seguir adelante con este importante proyecto.

A todos mis profesores, quienes, con su experiencia y enseñanza, me proporcionaron herramientas y habilidades valiosas que me han permitido crecer.

A mis padres, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Gracias por ser mi fuerza, por creer en mí y estar siempre a mi lado.

Agradezco también a los momentos difíciles, que lejos de detenerme, me han enseñado a crecer, aprender y a mirar siempre hacia adelante con determinación y esperanza.

Por último, agradezco a todas aquellas personas, amigos y compañeros que, sin saberlo, han sido ángeles en mi vida, pues han aparecido en los momentos más difíciles para brindarme una palabra de aliento, un gesto de apoyo o simplemente su presencia.

# EPÍGRAFE

*“La mente que se abre a una nueva idea jamás volverá a su tamaño original”.*

Albert Einstein

## RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en una línea de producción de la empresa Medical Devices, ya que la misma presentaba un alto costo por unidad producida. Así, mediante la metodología DMAIC, se analizaron aspectos clave del proceso con el fin de reducir el costo por unidad y mejorar la eficiencia operativa en, al menos, un 5 %.

Al respecto, para abordar el problema planteado, primero se realizó un mapeo del proceso por medio de herramientas como el diagrama de flujo, SIPOC y diagrama de espagueti; de esta forma, se identificaron posibles desperdicios en el proceso. Mientras que con la matriz de relaciones y el análisis de *stakeholders*, se determinó la relación entre los procesos y los actores clave del proyecto. Posteriormente, se efectuó un estudio de costos del producto, un estudio de tiempos y un estudio de métodos. En estos se estableció que la mano de obra directa e indirecta representaba el 50 % del costo total, de esta manera fue el tipo de costo más representativo y la oportunidad de mejora a la cual apuntar. Por otro lado, mediante un estudio de capacidad y de *yield* de la línea, se evidenció que la utilización promedio de la línea era del 40 %, indicador de un desaprovechamiento tanto en la mano de obra como de equipos y estaciones.

Teniendo claridad del problema por estudiar, se aplicaron herramientas como la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, multivoto, diagrama de Pareto y los cinco porqués, para identificar las causas principales del problema, a saber: distribución de planta ineficiente, planificación de producción deficiente y tiempos de ciclo elevados. Ahora bien, con el propósito de atacar directamente las causas, se elaboraron dos estrategias: rediseñar el *layout* de la línea, lo que reduce en un 31 % la distancia recorrida en el proceso y optimiza el flujo de materiales, y reestructurar la planificación de la producción, concentrando la demanda en un solo turno para reducir el requerimiento de mano de obra.

Adicional, se desarrolló un plan de implementación para ambas propuestas y diversos métodos de control con la intención de mantener los cambios en el proceso. Por último, se realizó un análisis del retorno de la inversión, que resultó en un 2464.18 %. Además, el estudio redujo el costo por unidad en un 14.92 % y mejoró la eficiencia de los costos en un 16.98 %; así, se alcanzó el objetivo establecido al inicio de la investigación.

Palabras clave: DMAIC, estudio de capacidad, utilización, costo por unidad, eficiencia, tiempo de ciclo y *yield*.

## **CAPÍTULO I. PROBLEMA**

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio se lleva a cabo en una línea de producción de la compañía Medical Devices, específicamente en la evaluación de los costos operativos y la eficiencia del proceso productivo.

La línea enfrenta un problema crítico: el elevado costo por unidad producida, lo que afecta la rentabilidad de la operación. Las consecuencias de esta problemática incluyen un aumento en los costos totales de operación, una disminución de la eficiencia general de la línea y una presión significativa para mantener la rentabilidad, dado que la demanda del producto no se espera que crezca.

Entre las posibles causas, destacan la falta de una estrategia de diseño eficiente en el *layout*, lo cual genera desplazamientos innecesarios y extensos; el desaprovechamiento de los recursos humanos durante las dos jornadas laborales; así como la ausencia de un plan para maximizar el uso de las estaciones de trabajo. Además, estas condiciones contribuyen a una pérdida potencial de competitividad en un mercado que exige costos bajos y alta eficiencia operativa.

Si esta situación no se resuelve, las consecuencias podrían ser graves: costos cada vez más altos, disminución de la capacidad de respuesta a las necesidades del mercado y una potencial pérdida de rentabilidad en el producto.

Por lo tanto, se realiza un estudio de capacidad y utilización de los procesos que permita evaluar los costos principales asociados al proceso productivo, identificar oportunidades de mejora en el *layout* de la línea y proponer estrategias para optimizar la utilización de los recursos y estaciones de trabajo disponibles. Así, este análisis contribuye a reducir los costos y mejorar la eficiencia operativa.

En resumen: ¿Cómo puede un estudio de capacidad y utilización contribuir en la reducción de los costos por unidad producida y aumentar la eficiencia operativa en una línea de producción?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo general

Crear una propuesta de reducción de costos de producción y mejora en la eficiencia de una línea en la compañía Medical Devices, mediante la realización de un estudio de capacidad, para mejorar estos factores en, al menos, un 5 %.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Definir la situación actual de la línea de producción en la compañía Medical Devices, mediante un análisis de los costos operativos del producto y la eficiencia del proceso.
- Medir la utilización de los recursos y estaciones, así como del diseño del *layout* de la línea de producción, mediante el uso de herramientas de análisis de capacidad, estudios de tiempos y desplazamientos.
- Analizar las causas principales que generan ineficiencias y costos elevados en la línea de producción, utilizando técnicas de análisis de causa raíz y estudios de capacidad, para determinar las áreas críticas de intervención necesarias.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

La razón principal para desarrollar el estudio resulta en la necesidad de optimizar los procesos productivos de una línea de producción de la compañía Medical Devices, con el fin de reducir el costo por unidad producida en, al menos, un 5 %. Esto es crucial para mejorar la competitividad de la empresa en el mercado e incrementar la rentabilidad del producto.

Este proyecto impacta directamente de forma positiva la estabilidad de la compañía, por ende, también beneficia la estabilidad laboral de los empleados al fortalecer la viabilidad financiera de la empresa. Por otro lado, la permanencia en el mercado del producto de Medical Devices representa una cantidad significativa de vidas que se pueden salvar mediante los procedimientos médicos que la compañía coloca a disposición del cliente.

En cuanto a las implicaciones prácticas, el rediseño del *layout* de la línea de producción y la optimización del uso de recursos tienen como objetivo eliminar desperdicios y

maximizar el rendimiento operativo del proceso. Estas mejoras no solo contribuyen a una disminución de costos, sino de igual modo a garantizar una producción más ágil y eficiente.

El valor teórico del estudio radica en que permite profundizar en la gestión eficiente de las líneas de producción en la industria médica al proporcionar un modelo aplicable en otros entornos similares. Este análisis ayuda a fortalecer la capacidad de la empresa para adaptarse a los desafíos de un mercado en constante cambio.

En cuanto al aspecto metodológico, el estudio se basa en herramientas prácticas como el análisis de capacidad, el diseño de *layouts* eficientes y la implementación de estrategias de mejora continua; esto sustentado principalmente en la metodología DMAIC.

La pertinencia y viabilidad del estudio es evidente, ya que responde a una necesidad específica de la compañía para mejorar su rentabilidad sin comprometer la calidad del producto, lo que genera beneficios sostenibles a largo plazo para la organización, los empleados y los clientes.

## **1.4 ANTECEDENTES**

La eficiencia en los procesos productivos es un factor determinante cuando se trata del éxito y la competitividad de una organización en el mercado. No obstante, esta se ve directamente afectada por los desperdicios en los procedimientos y el alto costo del proceso productivo por factores como la mano de obra, métodos de proceso ineficientes, o bien, materiales excesivamente costosos. Lo expuesto fortalece el desarrollo de propuestas que buscan definir y solucionar estas problemáticas a partir de estrategias de mejora, las cuales se basan en principios de ingeniería industrial y gestión de operaciones.

Por lo anterior, se investigan diferentes proyectos con un objetivo semejante al propuesto en este trabajo, o bien, que se relacionan a lo mencionado con anterioridad.

### **1.4.1 Antecedentes nacionales**

El primer antecedente corresponde al trabajo denominado: *Desarrollo de una propuesta para que mejore la productividad en la línea de líquidos 1, con el fin de optimizar el*

*sistema de envasado de medicamentos líquidos en el Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social en La Uruca* y realizado por Viviana Rojas Soto y Jesús Víquez Ramírez (2022) como parte de los requisitos para obtener la Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad en la Universidad Técnica Nacional de Costa Rica.

En este se plantea una estrategia de optimización del sistema de envasado de medicamentos líquidos. Para esto, primero se lleva a cabo un diagnóstico del estado inicial del proceso de envasado de medicamentos líquidos empleando herramientas para definir el proceso y se desarrollan otros estudios como la evaluación de la capacidad del proceso, el estudio del tiempo de ciclo (*takt time*), la medición de la eficiencia de los equipos (OEE) y el cálculo del porcentaje de productos defectuosos (*scrap*).

Como resultado, se proyecta un incremento anual del 7 % en la producción de medicamentos líquidos para 2022, lo que supera las metas de capacidad previamente establecidas.

El segundo antecedente es el trabajo de graduación de Luis Antonio Orozco Cárdenas (2022), titulado: *Propuesta técnica-económica para la optimización de los procesos industriales de la miel de abeja, en una microplanta apícola ubicada en San Francisco de Piedras Sur de San Ramón* y hecho en la Universidad Nacional de Costa Rica para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrónoma.

Este se enfoca en el diseño de una propuesta para mejorar la planta de envasado de miel, con el objetivo de optimizar los procesos técnicos e industriales del procesamiento, además de garantizar la satisfacción del cliente mediante la entrega de un producto de mayor calidad.

Este trabajo busca identificar el proceso operativo óptimo para la compañía al investigar lo necesario respecto al procesamiento de la miel de abeja en plantas extractoras, en cuanto a las buenas prácticas de manufactura (BPM) y los procedimientos operacionales estándar de saneamiento (POES). En conclusión, esta investigación contribuye a ubicar a la compañía en un nivel técnico óptimo, permitiéndole competir en diferentes nichos de mercado tanto a nivel nacional como internacional.

El tercer antecedente es el proyecto de graduación realizado por Débora González Gámez (2018), llamado: *Optimización del proceso de montaje de centros de carga para la empresa Eaton Electrical S. A.* y desarrollado para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Con relación a este, se centra en el diseño de una máquina que automatice parcialmente el ensamblaje en procesos de los centros de carga. Para conseguir la propuesta, se siguen varios pasos que van desde el estudio de la planta y el proceso, el establecimiento de los requerimientos del diseño del proceso deseado, hasta las actividades de validación del diseño propuesto. Esta automatización y nuevo diseño del proceso busca reducir los tiempos de ensamblaje, minimizar fallos de calidad y mejorar las condiciones de seguridad para los operarios durante el proceso.

El cuarto antecedente corresponde al proyecto corporativo de los autores Arnoldo Esparza y Jose Montero (2021), denominado: *Metodología "Lean 14 Steps"* y llevado a cabo en la compañía Abbott Medical, el cual consiste en la implementación total de la metodología *lean* en 14 pasos.

Así, evidencian la relevancia de buscar eficientizar los procesos mediante la implementación de la metodología japonesa *lean* en gran parte de sus áreas. Este proyecto inicia en el 2011 y concluye con el Premio al Compromiso a la Excelencia de la Cámara de Industrias en el 2020.

El enfoque de la investigación se centra en distintos puntos u oportunidades de mejora en diversos factores del proceso productivo, a saber, eficientizar las unidades producidas por hora, mitigar errores humanos y eficientizar los procesos mediante la mejora en la flexibilidad y el *layout* del área productiva. Lo anterior se logra por medio del uso de herramientas como la distribución de planta, metodología SMED, análisis de tiempos y movimientos y otra gran cantidad que forma parte de las metodologías involucradas en la manufactura *lean*.

El quinto antecedente nacional es el proyecto de investigación titulado: *Programa lean six sigma* y realizado en el Instituto Nacional de Seguros por Mariana Gutiérrez, Natalia

Valverde, Fabricio Rojas y Ronald Díaz (2021), el cual consiste en la implementación de un Programa de Optimización de Procesos Lean Six Sigma.

De manera similar al antecedente anterior, se refleja el impacto de las metodologías *lean* y *six sigma* en un proceso; sin embargo, en esta ocasión se enfocan hacia un proceso de servucción. Este proyecto inicia en el 2019 y concluye en el 2021.

El trabajo se enfoca en 4 pilares: cultura, transformación digital, gestión de procesos y gestión del talento humano. La mejora de estos 4 factores se lleva a cabo mediante la implementación de proyectos DMAIC, los mismos se ejecutan posterior a un proceso de entrenamiento al personal involucrado en temas de herramientas *lean* y *six sigma*. En total, se identifican 26 diferentes proyectos, los cuales se orientan a mejorar los cuatro pilares señalados, y se obtienen beneficios como la reducción de tiempos de ciclo, la automatización y digitalización de procesos, y la disminución de defectos.

#### **1.4.2 Antecedentes internacionales**

El primer antecedente es la tesis de Ingeniería Industrial llamada: *Planeación de requerimientos de materiales y programación de la producción en una pyme del sector metalmecánico*, desarrollada por Nicolás Esteban Cuesta Baquero, Lizeth Tatiana Cuineme Infante, Tatiana Alejandra Villate Sánchez y Angie Vanesa Medina Montero (2023) en la Pontificia Universidad Javeriana en Colombia.

En esta se propone un método para la planificación de los requerimientos de materiales y la programación de la producción en una microempresa del sector automotriz en Colombia, conocida como Astecnica Acabados y Servicios Técnicos S.A.S. Este proyecto aborda la problemática de los elevados tiempos de espera y los altos costos administrativos relacionados con el inventario de materias primas y suministros.

En la investigación se propone un modelo de programación lineal que, debido a su complejidad, solo permite obtener resultados a pequeña escala. Por esta razón, en una segunda etapa, se presentan tres enfoques alternativos basados en los métodos EOQ, lote a lote y reabastecimiento trimestral. Además, para optimizar la programación de la producción, se desarrolla un algoritmo que posibilita realizar ajustes cuando surgen pedidos urgentes no planificados. La implementación de este algoritmo logra una

reducción del 57.47 % en la tardanza total, mejorando en un 38.06 % los resultados obtenidos en comparación con el proceso actual para la gestión de pedidos.

El segundo antecedente corresponde a la tesis de Ingeniería en Procesos y Calidad denominada: *Planeamiento estratégico y diseño de un sistema de gestión de procesos para mejorar la calidad de servicio de la empresa D'Anne Carol Eirl*, llevada a cabo por David Edward Sánchez Zavaleta (2016) en Universidad Nacional de Trujillo en Perú.

En esta investigación se propone la creación de un sistema que organice y controle diversos procesos de la empresa, incluyendo ventas, distribución y cobranza, que son fundamentales para su operación.

En forma general, las propuestas del trabajo se enfocan en 3 diferentes puntos de mejora, a saber, la optimización de la estructura organizacional para asegurar la calidad del servicio, diseño e implementación de un sistema eficiente de gestión de procesos como distribución y despacho y, por último, la reducción de costos y optimización financiera del proceso.

Para cada uno de estos puntos de mejora, se generan planes de acción que buscan incrementar la calidad en el servicio ofrecido por la compañía, originar indicadores de cumplimiento para diferentes métricas en cada proceso, implementar medidas de control de gastos y reducción de costos y, por último, llevar a cabo un estudio de métodos para diseñar procesos que se enfoquen en la generación de valor.

El tercer antecedente es el trabajo final de graduación de Especialización en Gerencia Logística Integral titulado: *Análisis de toma de tiempos del proceso de acondicionamiento de una maquila en un operador logístico*, realizada por Vivian Solvey Caucaí García (2022) en la Universidad Militar Nueva Granada en Colombia.

Al respecto, se evalúa la manera de contribuir al desarrollo de un proceso operativo para la mejora de tiempos en un proceso de acondicionamiento de despachos y alistamiento de pedidos. La ruta marcada por seguir en el trabajo muestra en primer lugar efectuar un mapeo de la situación actual del proceso, identificar los procesos críticos posteriormente y generar propuestas de mejora para estos procesos.

Después del análisis inicial, se identifican puntos de mejora en cuanto a la cantidad de personal y equipos requeridos, así como un problema importante en relación con la programación de la producción que se debe procesar, lo cual origina tiempos muertos en la operación. Por lo tanto, al concluir el estudio se evidencia que no se cuenta con un plan estructurado de programación de producción para el acondicionamiento de los productos en las líneas, siendo esta la propuesta generada.

El cuarto antecedente corresponde al trabajo de Ingeniería Industrial llamado: *Mejora de tiempo de atención de camiones en un centro de distribución de bebidas para consumo masivo usando herramientas de calidad y toma de tiempos*, llevado a cabo por Bolívar Javier Palacios Repetto (2009) en la Escuela Superior Politécnica del Litoral en Ecuador. Para abordar el problema, primero, el investigador determina las posibles causas del problema utilizando un diagrama de causa y efecto. Luego, se efectúa un análisis de los tiempos del proceso y, para identificar las causas más relevantes, se elabora un diagrama de Pareto que ayuda a señalar los tiempos más críticos en relación con los estándares. Una vez reconocidas las causas reales, se formulan propuestas de mejora, las cuales se dirigen a incrementar el horario de atención en el centro de distribución, incrementar las estaciones de servicio y disminuir las colas en el proceso de ingreso de mercadería mediante la implementación de un proceso de prefabricación.

Por último, el quinto antecedente internacional es la tesis de Ingeniería Industrial titulada: *Implementación de la metodología gemba walk para la mejora de la gestión de abastecimiento de una empresa dedicada al rubro minero*, hecha por Karol Brishit Mendieta Fernández y Elvis Daniel Salazar Visurraga (2024) en la Universidad Continental en Perú.

Esta busca implementar y demostrar una mejora significativa en la gestión de compras y abastecimiento de los proveedores mediante la metodología *gemba walk*. Para ello, se inicia la investigación con un análisis y comprensión del proceso actual de aprobación de compras, donde se determina una variación muy alta en cuanto al tiempo de cumplimiento del proceso, a saber, de entre 0 a más de 90 días, por lo que se identifica una oportunidad de mejora para este proceso.

Posteriormente, se determina la causa raíz de esta variación y se reduce el tiempo promedio de cumplimiento de órdenes, identificando propuestas de mejora como la implementación de indicadores clave y un estudio de selección de proveedores para el proceso. Así, con estas propuestas se busca mejorar el servicio brindado al reducir el costo del proceso.

## **1.5 PROYECCIONES**

A partir de la implementación de las estrategias propuestas para optimizar la línea de producción, se proyecta reducir el costo por unidad, optimizar el cálculo de la mano de obra requerida por turno y llevar a cabo una mejora del *layout* de la línea. Asimismo, se determina como meta que el costo por unidad disminuya, al menos, en un 5 %. Esta reducción se logra mediante una asignación más eficiente de los recursos al minimizar el tiempo dedicado actualmente en procesos que no agregan valor y los costos asociados a la mano de obra.

Además, se plantea un incremento en la utilización de las estaciones de trabajo y equipos, los cuales en la actualidad sufren un desaprovechamiento considerable; este porcentaje de utilización se espera que se incremente de forma importante. El cumplimiento de esta tarea representaría un mejor aprovechamiento de los recursos y una mayor eficiencia en la producción.

En conclusión, el cumplimiento de las propuestas provoca una mejora en la eficiencia global de la línea. Esto genera principalmente un impacto positivo en los costos requeridos para la producción en esta línea. De esta manera, se coloca a la compañía en una posición más competitiva a nivel de eficiencia en el mercado.

### **1.5.1 Alcances**

La elaboración del proyecto se lleva a cabo en la empresa Medical Devices, Costa Rica. Este comprende una línea de manufactura de dispositivos médicos, por ende, los resultados reflejan mejoras solo en los indicadores de esta línea.

Al implementarse este proyecto, la compañía Medical Devices consigue los siguientes beneficios: reducción de costos operativos, mejora en la eficiencia operativa y sostenibilidad en el mercado para este producto.

### **1.5.2 Limitaciones**

No se tienen limitaciones en la elaboración de la investigación.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

## 2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles tomados en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

### 2.1.1 Metodología DMAIC

Con respecto a la metodología DMAIC, SafetyCulture (2024) explica:

DMAIC es un ciclo de mejora basado en datos que ayuda a las organizaciones a medir y mejorar su rendimiento. DMAIC es el acrónimo de cinco pasos: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

El objetivo principal de DMAIC es identificar y eliminar los residuos en un proceso empresarial. Esto puede hacerse mediante la aplicación de herramientas y técnicas *lean six sigma*.

El DMAIC puede ser una forma eficaz de mejorar el rendimiento de la empresa, ya que puede ayudarle a identificar y resolver problemas, realizar mejoras y hacer un seguimiento de los resultados.

De igual forma, SafetyCulture (2024) señala lo siguiente para cada letra del acrónimo:

- Definir: el primer paso es identificar y definir claramente el problema que se quiere resolver. Esto incluye la comprensión de la causa raíz del problema y el establecimiento de un objetivo de mejora.
- Medir: una vez definido el problema, hay que recopilar datos para comprender la situación actual. Esto incluye la medición de los indicadores clave de rendimiento (KPI) para seguir los progresos e identificar las áreas de mejora.
- Analizar: a continuación, hay que analizar los datos para ver cuál es la causa del problema. Esto incluye la identificación de la causa raíz y el desarrollo de hipótesis sobre cómo solucionarlo.
- Mejorar: una vez que se tenga un plan de acción, es el momento de empezar a mejorar el negocio. Esto incluye la aplicación de los cambios y el seguimiento de los avances con respecto al objetivo fijado.

- Controlar: por último, es importante poner en marcha sistemas que garanticen que las mejoras sean sostenibles a largo plazo. Esto incluye el establecimiento de protocolos para medir los resultados y recalibrar los objetivos según sea necesario.

Figura 2.1: Metodología DMAIC



Fuente: Sushmith, 2024.

### 2.1.2 Project charter

En cuanto al diagrama *project charter*, Santos (2023b) brinda la siguiente descripción:

Un *project charter* es un documento que se crea en función de una necesidad empresarial y reúne toda la información en torno a un proyecto determinado; detalla las especificaciones generales del proyecto, el propósito, las partes interesadas y los alcances; permite la autorización formal del proyecto y sirve como guía durante todo el proceso.

También Santos (2023b) agrega:

El *project charter* es el primer documento que hay que redactar antes de comenzar cualquier proceso, ya que en este se establecen los acuerdos entre el gerente del proyecto y el patrocinador comercial del proyecto. Con el acta de constitución de proyecto se decide si se inicia un proyecto y se garantiza una guía que puede utilizarse durante cualquier etapa.

La importancia de un *project charter* o acta de constitución de proyecto radica en los acuerdos que autorizan las partes involucradas. Según sea la cultura de la empresa, un acta de constitución de proyecto debe incluir diferentes elementos que estén orientados a reunir la información del proyecto y no de cómo se realizará.

Figura 2.2: Project charter

NOMBRE DEL PROYECTO	SIGLAS DEL PROYECTO
Sistema de Gestión de Comercio Electrónico	GESTIONICO
DESCRIPCION DEL PROYECTO	
<p>Desarrollar un una página Web donde los clientes y sucursales pueda hacer sus pedidos a través de la página sin tener preocupación de no ser atendido. De igual manera agilizar el trabajo de compra y venta para desarrollarlo en menor tiempo ahorrando tiempo y costos.</p> <p>El equipo del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Sponsor : Victoria Guillen</li> <li>✦ Jefe de Proyecto : Jazmina Guzman</li> <li>✦ Analista Funcional : Franklyn Bravo</li> <li>✦ Analista Programador : Everth Martínez</li> <li>✦ Analista de Calidad : Jaime Huerta</li> </ul> <p>El proyecto será realizado desde el 19 de Enero hasta el 17 de Abril del 2015 por todo el equipo del proyecto en las instalaciones de COLD IMPORT S.A</p>	
DEFINICION DEL PRODUCTO DEL PROYECTO	
<p>Software que permite registrar los pedidos de los clientes y sucursales vía web, permite controlar el stock de cada almacén y ayuda a gestionar la compra, también permite visualizar los reportes para un mejor control y seguimiento de los proceso en línea.</p> <p>Los entregables son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Gestión de proyecto:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Acta de Constitución</li> <li>❖ Plan de Gestión</li> <li>❖ Informe de Seguimiento</li> <li>❖ Acta de Cierre</li> </ul> </li> <li><b>Análisis y Diseño:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Modelo del Negocio</li> <li>❖ Modelo de Requerimiento</li> <li>❖ Modelo de Análisis</li> <li>❖ Modelo de Diseño</li> <li>❖ Prototipos</li> </ul> </li> <li><b>Desarrollo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Módulo de Seguridad</li> <li>❖ Módulo de Gestión de Ventas</li> </ul> </li> </ul>	

Fuente: Santos, 2023b.

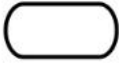


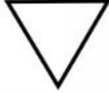


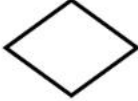

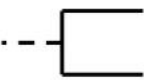







### **2.1.3 Diagrama de flujo**

En relación con el diagrama de flujo, Santos (2023a) indica:

Los diagramas de flujo sirven para analizar las capacidades de una organización y para determinar de manera general a los actores, pasos y procesos que se deben cumplir para alcanzar un objetivo. Podríamos decir que con estos diagramas se puede hacer un mapa de ruta.

Si eres consciente de tus recursos y de los talentos que integran a tu compañía será más fácil implementar una acción. Por ejemplo, si quieres mejorar la productividad de tu equipo deberás comenzar con capacitar a tus líderes, ellos deberán motivar a los trabajadores para que cumplan las metas; en el último paso, tus líderes deberán evaluar el desempeño. Si no haces esto de manera ordenada, seguramente no lograrás elevar la productividad.

Figura 2.3: Simbología de un diagrama de flujo

SÍMBOLO	REPRESENTA	SÍMBOLO	REPRESENTA
	Terminal. Indica el inicio o la terminación del flujo, puede ser acción o lugar; además se usa para indicar una unidad administrativa o persona que recibe o proporciona información.		Documento. Representa cualquier tipo de documento que entra, se utilice, se genere o salga del procedimiento.
	Disparador. Indica el inicio de un procedimiento, contiene el nombre de éste o el nombre de la unidad administrativa donde se da inicio		Archivo. Representa un archivo común y corriente de oficina.
	Operación. Representa la realización de una operación o actividad relativas a un procedimiento.		Conector. Representa una conexión o enlace de una parte del diagrama de flujo con otra parte lejana del mismo.
	Decisión o alternativa. Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.		Conector de página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente, en la que continúa el diagrama de flujo.
	Nota aclaratoria. No forma parte del diagrama de flujo, es un elemento que se adiciona a una operación o actividad para dar una explicación.		Línea de comunicación. Proporciona la transmisión de información de un lugar a otro mediante?
SÍMBOLO	REPRESENTA	SÍMBOLO	REPRESENTA
 *	Operación con teclado. Representa una operación en que se utiliza una perforadora o verificadora de tarjeta.		Dirección de flujo o línea de unión. Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
 *	Tarjeta perforadora. Representa cualquier tipo de tarjeta perforada que se utilice en el procedimiento.	 *	Cinta magnética. Representa cualquier tipo de cinta magnética que se utilice en el procedimiento.
 *	Cinta perforada. Representa cualquier tipo de cinta perforada que se utilice en el procedimiento.	 *	Teclado en línea. Representa el uso de un dispositivo en línea para promocionar información a una computadora electrónica u obtenerla de ello.
NOTA: Los símbolos marcados con * son utilizados en combinación con el resto cuando se está elaborando un diagrama de flujo de un procedimiento en el cual interviene algún equipo de procesamiento electrónico.			

Fuente: Rodríguez, 2012.

### 2.1.4 Análisis FODA

Para explicar el análisis FODA, OCC Mundial (2021) menciona:

Un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) o *SWOT analysis* en inglés, es una herramienta de planeación y toma de decisiones que te ayuda a entender los factores internos y externos de una situación que quieras mejorar, innovar o incluso prevenir. También se le conoce como análisis DAFO, y algo importante por saber es que al realizarlo debes asegurarte de que cada

elemento escrito en este ejercicio pueda medirse, para después corroborar si la estrategia elegida fue la mejor.

Además, OCC Mundial (2021) detalla:

Un análisis FODA sirve para evaluar de manera visual y concreta una situación y tener un panorama de las consecuencias —buenas o malas— que podrían tenerse al elegir una decisión. En las empresas puede ser común que sirva como un estudio previo para trazar la estrategia del siguiente año (ventas, publicidad, logística, etcétera) o el plan de un proyecto en particular: rediseño de un producto o servicio, nuevas ideas de negocio, inversión en un mercado o zona geográfica distinta [...].

Sin embargo, no es únicamente de las empresas. También puede utilizarse en cualquier meta que tengas en mente o para resolver un problema de tu vida personal o incluso para evaluar tu personalidad.

Figura 2.4: Análisis FODA



Fuente: OCC Mundial, 2021.

### **2.1.5 Matriz FODA**

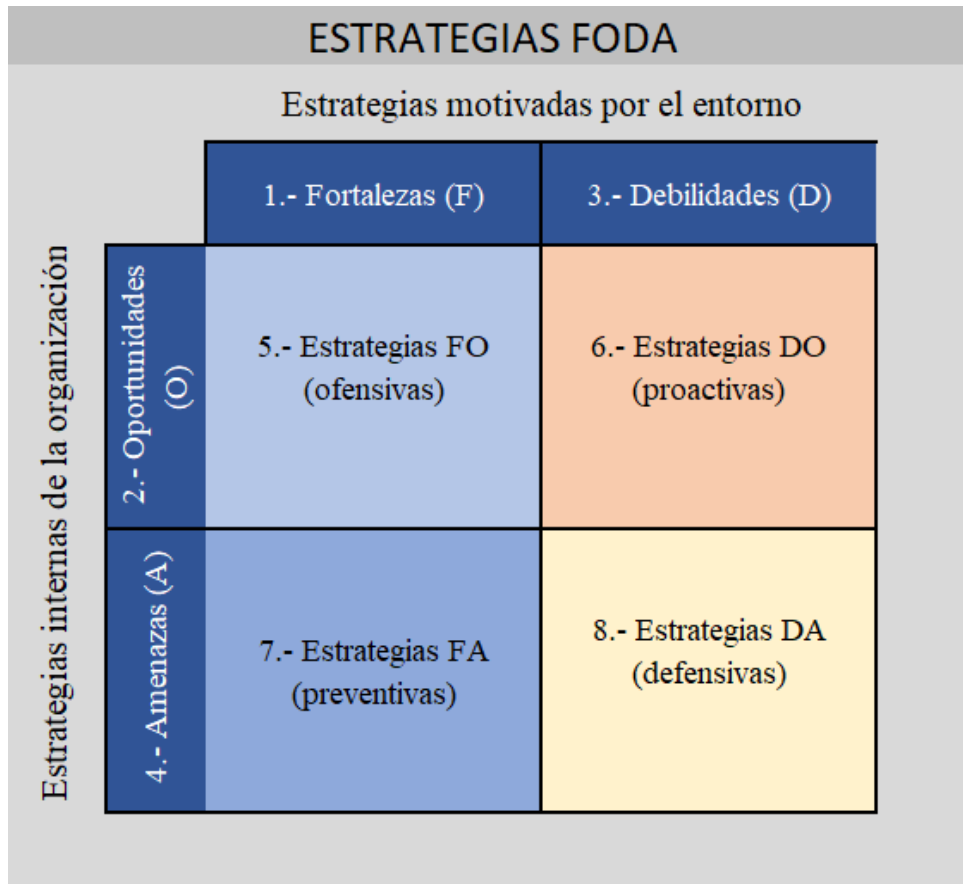
Acerca de la matriz FODA, la compañía Cristo León (2021) indica:

En esta matriz se agrega la dimensión estratégica contrastando los factores internos de la organización contra los factores externos dados por el entorno. Las estrategias se diseñan teniendo en cuenta dos dimensiones del FODA.

En esta matriz se identificarán las estrategias necesarias para enfrentar o solidificar nuestras fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Las cuales se describen a continuación:

- Estrategias FO (ofensivas), se utilizan las fortalezas para aprovechar y potenciar las oportunidades.
- Estrategias FA (preventivas), se utilizan las fortalezas para enfrentar las amenazas
- Estrategias DO (proactivas), se aplican superando las debilidades y aprovechando las oportunidades.
- Estrategias DA (defensivas), se evitan las amenazas que puedan impactar las debilidades.

Figura 2.5: Matriz FODA



Fuente: Cristo León, 2021.

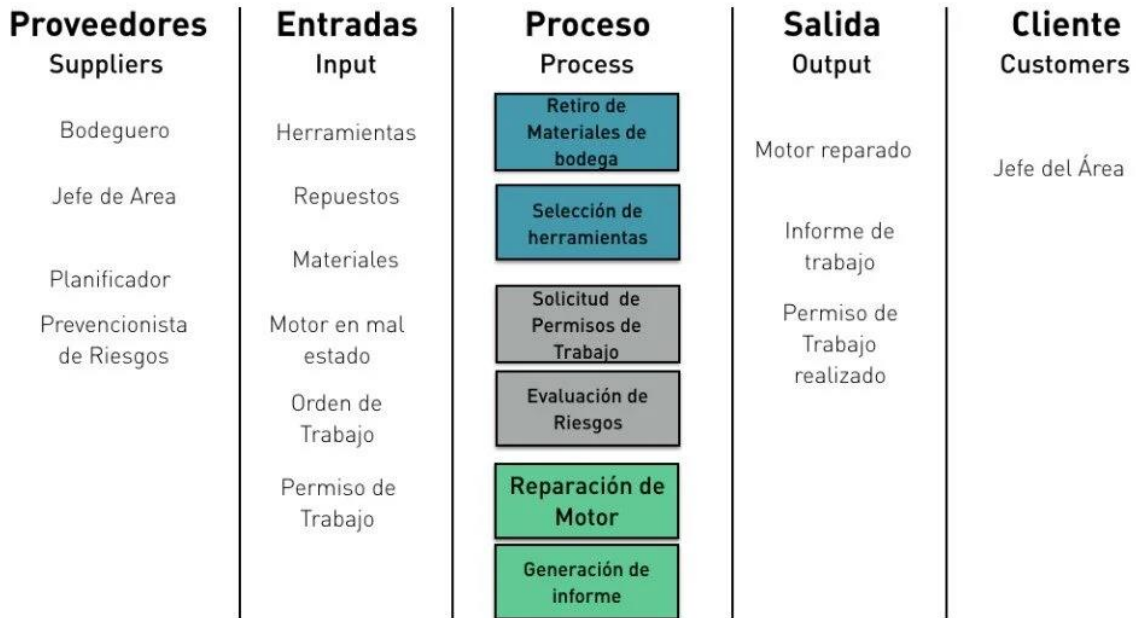
### 2.1.6 Diagrama SIPOC

Con respecto al diagrama SIPOC, la compañía Cristo León (2021) explica:

SIPOC son las siglas en inglés de los conceptos proveedor, entradas, proceso, salidas y cliente. No es tanto un mapa, sino un gráfico que muestra estos elementos clave que estarán involucrados en un proceso o que serán parte de un nuevo proyecto. Por eso es una herramienta que se puede implementar antes de diseñar otro tipo de mapeo de proceso. Ayuda a definir trabajos complejos y a identificar a todos los responsables en cada una de sus etapas.

Figura 2.6: Diagrama SIPOC.

## Proceso de Reparación de un Motor



Fuente: Santos, 2021.

### 2.1.7 Análisis de stakeholders

En relación con el análisis de *stakeholders*, Cárdenas (2023) detalla:

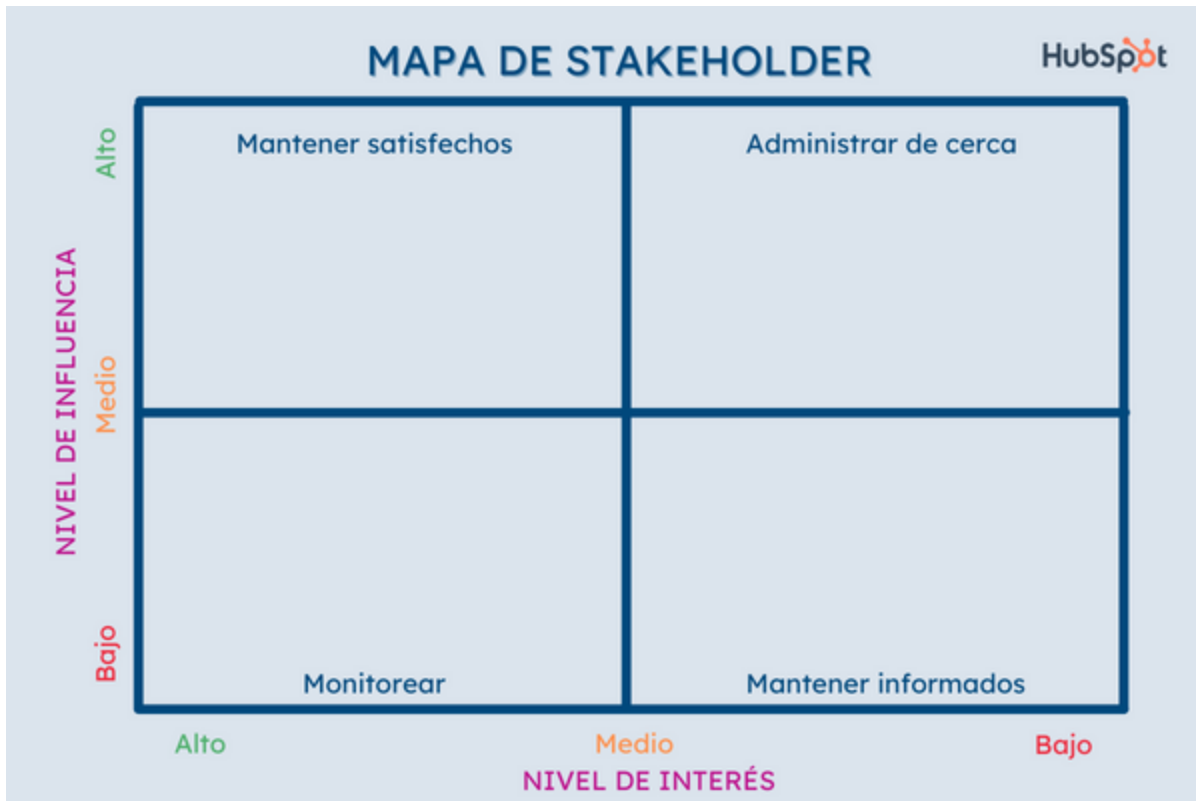
El *stakeholder mapping* o mapa de *stakeholders* es un recurso visual que permite identificar grupos de interés que pueden aliarse con un proyecto en específico. Contiene cuatro cuadrantes para categorizar el nivel de influencia e interés de los involucrados y se utiliza como una herramienta de gestión empresarial.

Este mapa se conforma por un eje x (mide el nivel de influencia de la parte interesada o cuán grande puede ser su impacto) y un eje y (determina el nivel de interés de los resultados en un proyecto).

Acerca de los tipos de *stakeholders*, Cárdenas (2023) los clasifica de la siguiente manera:

- *Stakeholders* de alto poder y con mucho interés en tu proyecto. Estas son las personas o empresas que debes priorizar, pues están implicadas con tu proyecto y realmente quieren formar parte de él. Esto significa que debes ayudarlas a involucrarse más y mantenerlas atraídas para que tu proceso sea mucho más exitoso.
- *Stakeholders* de alto poder, pero con menos interés en tu proyecto. Si bien estas personas o empresas representan una buena oportunidad para tu negocio, aún no tienen un nivel de interés suficiente. Por ello, tu tarea es involucrarlos hasta donde ellos lo permitan y mantenerlos satisfechos. Evita exceder la comunicación con ellos para evitar abrumarlos.
- *Stakeholders* de bajo poder, pero muy interesados en tu proyecto. Estas personas o empresas son de gran apoyo para tu proyecto, pues tienen toda la disposición de ayudarte, aunque sus posibilidades sean menores. A ellas debes mantenerlas informadas sobre las novedades y procesos que realices.
- *Stakeholders* de bajo poder y con poco interés en tu proyecto. Podría pensarse que a estas personas o empresas deberías descartarlas de tu proyecto, pero lo mejor es mantenerlas controladas y monitoreadas, por si cambian de opinión y desean comprometerse más. Si bien no son una prioridad, no las dejes a la deriva y comparte información con ellas oportunamente.

Figura 2.7: Análisis de stakeholders



Fuente: Cárdenas, 2023.

### 2.1.8 Diagrama de espagueti

Referente a este diagrama, PDCA Home (2013) describe:

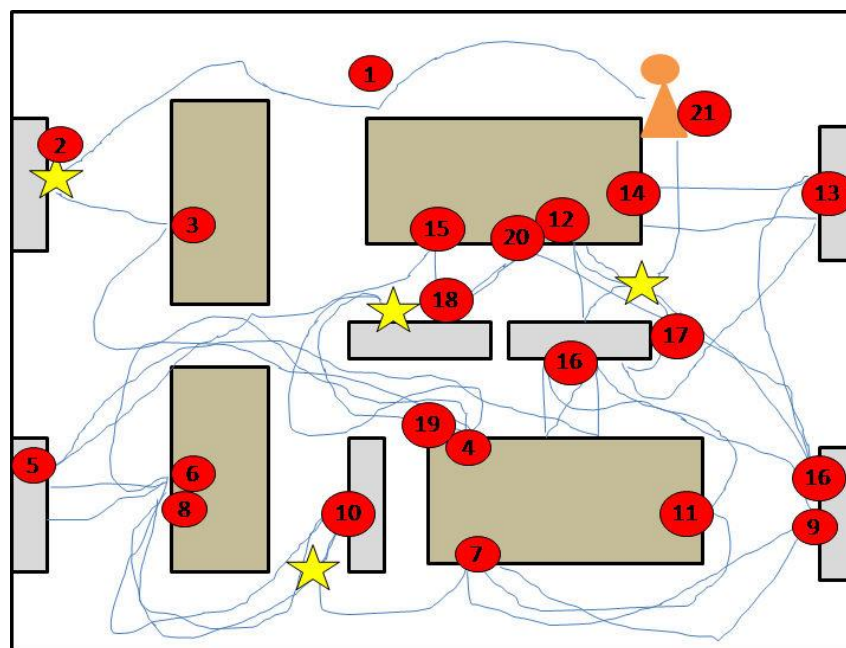
Un diagrama de espagueti o *spaghetti chart* es la representación de cómo es el movimiento de los operarios dentro de su puesto de trabajo. Busca conocer cada movimiento del empleado para *a posteriori* buscar cuál es el orden más lógico para máquinas, armarios, otros puestos de trabajo y ganar en eficiencia dentro de la empresa, en primer lugar, reduciendo el tiempo de desplazamientos de los operarios y aumentando el rendimiento de producción. Aplicable al ámbito sanitario, en producción, talleres, almacenes. [...]

Para este mapeo tenemos que realizar una representación del puesto de trabajo que vamos a analizar. Es importante mantener una escala de tamaño para tener una proporción de las distancias que se van a recorrer. Entonces elegimos un operario con el que comenzar a trabajar, vemos cómo se va moviendo y vamos

trazando los pasos en el mapa que hemos construido, hacemos un seguimiento del empleado hasta que su turno termina, para conocer en detalle cada paso en su labor.

Con el diagrama de espagueti podremos ver cómo existe una serie de líneas dentro de nuestro mapa que marca las posiciones que recorre el operario. Muy importante aquí es marcar la dirección y el orden de secuencia de sus pasos, así como el tiempo que está en cada una de las estancias.

Figura 2.8: Diagrama de espagueti



Fuente: PDCA Home, 2013.

### 2.1.9 Matriz de relaciones

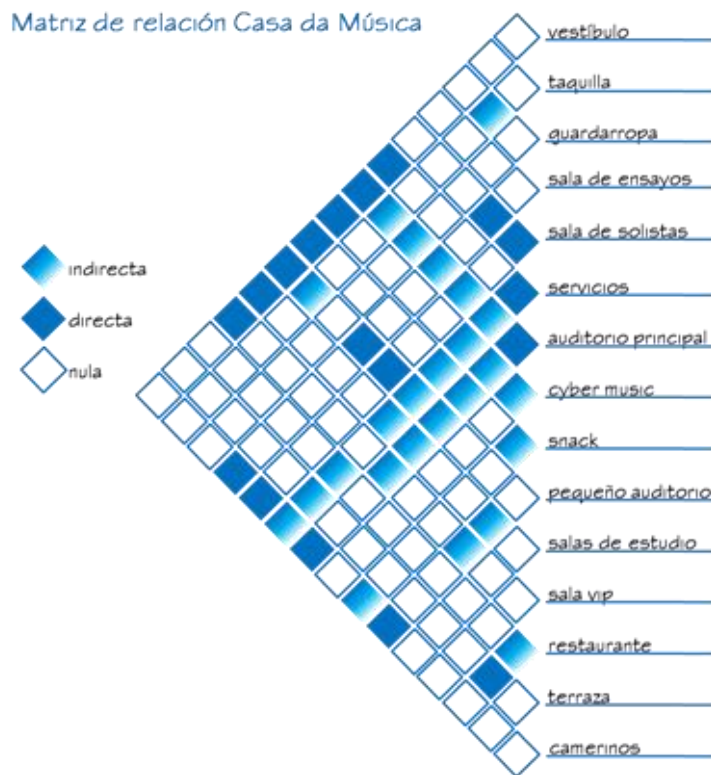
Para poder definir una matriz de relaciones, Bustos (2015) sugiere:

La matriz es la forma de organizar cierto número de datos en un formato de manera que puedan relacionarse. Permite descubrir cualquier tipo de relación deseada entre actividades, por medio de ejes cartesianos que se prolongan y forman una retícula, sobre la cual se vacían los datos deducidos.

Es una disposición de elementos pertenecientes a un conjunto, en filas y columnas.

Una matriz es un arreglo bidimensional de números (llamados entradas de la matriz) ordenados en filas y columnas, donde una fila es cada una de las líneas horizontales de la matriz y una columna es cada una de las líneas verticales.

Figura 2.9: Ejemplo de una matriz de relaciones



Fuente: Bustos, 2015.

### 2.1.10 Análisis de costos

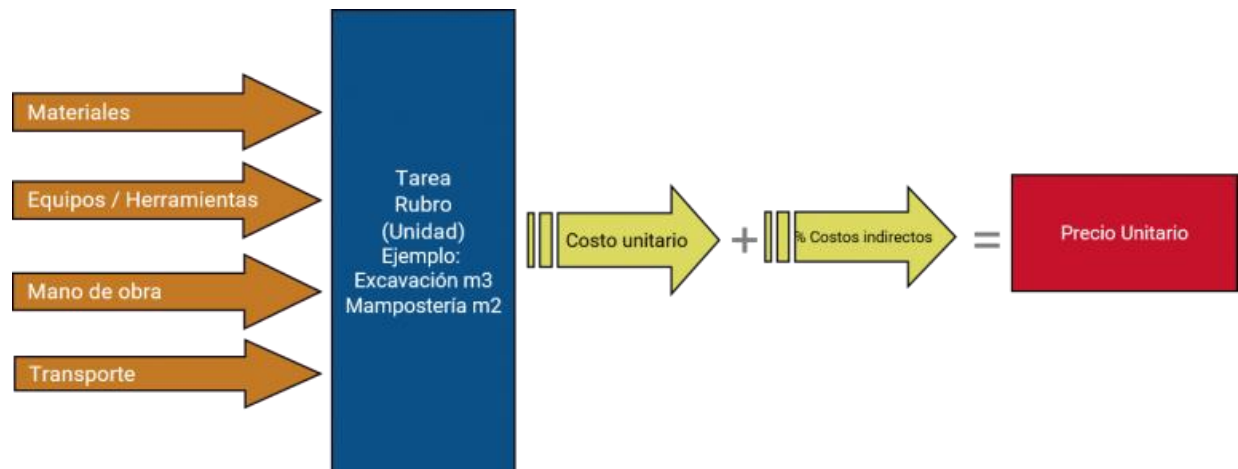
Con relación al análisis de costos, Interpro (2025) menciona:

El análisis de precio unitario consiste en desglosar el costo por unidad de medida de cada rubro, identificando los rendimientos, costos y cantidades de cada uno de los insumos o materiales a utilizarse, y así establecer dichos costos en los diferentes componentes del rubro como: materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos.

También Interpro (2025) enumera las siguientes características para esta herramienta:

- Es un proceso aproximado, ya que no existen procesos constructivos iguales.
- Está basado en la experiencia del analista (juicio de experto), quien fundamenta un promedio de consumos, insumos y desperdicios.
- Se trata de un proceso dinámico, ya que está sujeto a la evolución (mejora continua).

Figura 2.10: Análisis de costos



Fuente: Interpro, 2025.

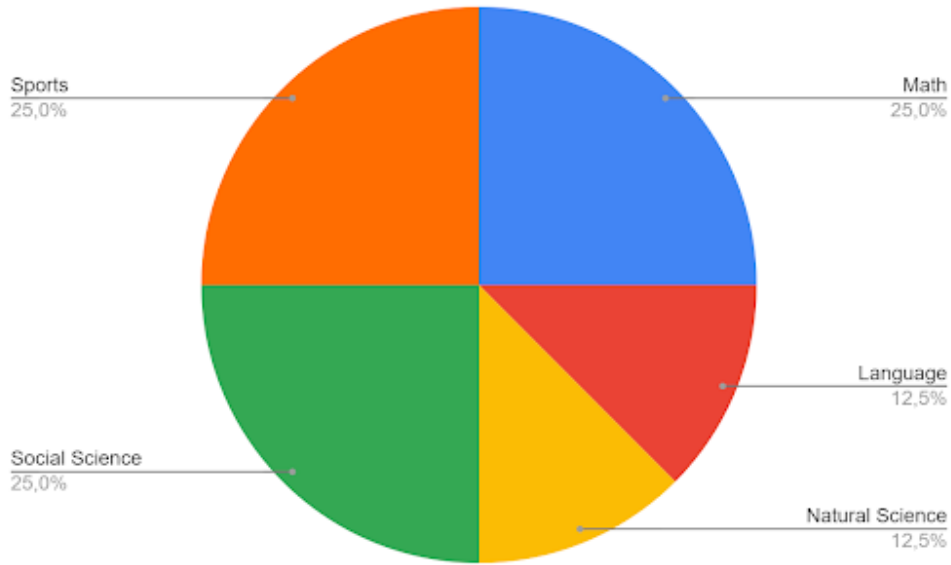
### 2.1.11 Gráfico circular

En cuanto a este tipo de gráfico, Jiménez (2021) indica:

El gráfico circular o *pie chart* es un tipo de representación pictórica de datos que permite visualizar las relaciones entre las partes con el todo de una variable. A partir de la división por áreas o sectores, es posible comprender un sector de conteo o porcentaje de un nivel de variable. [...]

Al ser un gráfico en forma de círculo, el total de los datos que componen los segmentos debe ser igual a 360°, o el total del valor de la circunferencia debe ser siempre 100 %. Para calcular el porcentaje de un gráfico circular, es necesario: categorizar los datos, calcular el total, dividir las categorías, convertir los porcentajes y calcular los grados. [...]

Figura 2.11: Gráfico circular



Fuente: Jiménez, 2021.

### 2.1.12 Indicadores de productividad

Respecto a los indicadores de productividad, INTERIM GROUP (2023) describe:

Los indicadores de productividad te permiten conocer los resultados de tu organización, el rendimiento de esta y el nivel de eficiencia de los procesos productivos. Por esto, es importante tenerlos en cuenta en la empresa, saber medirlos y, sobre todo, sabe redactar y analizar las conclusiones.

El objetivo principal de los indicadores de productividad es aumentar el rendimiento de la empresa, obtener mejores resultados y descubrir, en caso de tener problemas, dónde se encuentran estos, por qué se generan y cómo poder erradicarlos.

Figura 2.12: Ejemplos de indicadores de productividad



Fuente: INTERIM GROUP, 2023.

### 2.1.13 Estudio de tiempos

Acercas de los estudios de tiempos, ADN Lean (2024a) brinda la siguiente información:

El estudio de tiempos es una técnica utilizada en la gestión de operaciones y la ingeniería industrial para analizar y medir el tiempo que lleva realizar una tarea o actividad específica. Su objetivo principal es determinar el tiempo estándar requerido para que un trabajador cualificado complete una tarea en condiciones normales.

Este proceso implica observar y registrar cuidadosamente cada paso de la actividad, desde el inicio hasta la finalización, y luego analizar esos datos para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia y productividad. El estudio de tiempos se utiliza comúnmente en entornos de fabricación, pero también se aplica en otros campos, como la logística, los servicios y la atención médica.

Adicional, ADN Lean (2024a) da una recomendación de los pasos por seguir para un estudio de tiempos, como se aprecia en la figura adjunta a continuación:

Figura 2.13: Pasos para un estudio de tiempos



Fuente: ADN Lean, 2024a.

### 2.1.14 Estudio de métodos

Con respecto a qué es un estudio de métodos, ADN Lean (2024b) establece:

El estudio de métodos es una disciplina fundamental en el ámbito de la gestión empresarial que se enfoca en analizar y mejorar los procesos operativos dentro de una organización. Se basa en una evaluación sistemática y detallada de cómo se realizan las tareas y actividades en un entorno laboral, con el objetivo de identificar oportunidades de optimización y eficiencia. [...]

El estudio de métodos es una herramienta poderosa en el arsenal de gestión empresarial. Su objetivo principal radica en identificar y aplicar métodos más eficientes para aumentar la productividad y reducir costos.

Figura 2.14: Procedimiento de un estudio de métodos



Fuente: ADN Lean, 2024b.

### 2.1.15 Cursograma analítico

Referente al cursograma analítico, Betancourt (2016c) menciona:

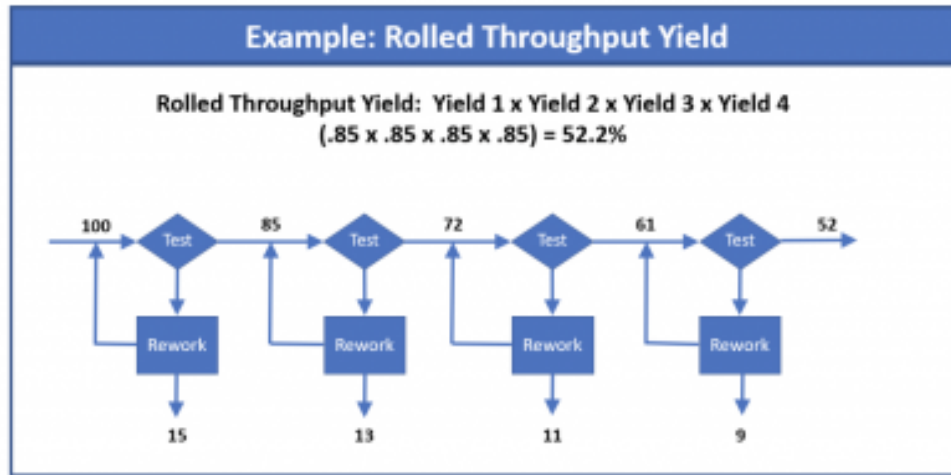
Es una representación gráfica, con la que logramos de forma sistemática y secuencial, documentar las actividades que realiza una o más personas al trabajar en manufactura o con clientes.

Conocido también como gráfico de proceso, el cursograma permite analizar las labores para detectar errores o mejoras. Es una herramienta vital del ingeniero industrial y comúnmente usada por analistas de proceso, quienes, en conjunto con otras herramientas y trabajos como estudios de tiempos, mejoran las labores administrativas, de servicio y producción de las compañías.



El *rolled throughput yield* es una excelente manera de mostrar cómo el retrabajo está afectando su línea de producción o los procesos de la oficina. Cuando se utiliza junto con otros valores de rendimiento, puede ayudar a brindar una imagen más completa de cómo la mala calidad afecta la operación diaria.

Figura 2.16: Ejemplo de un rolled throughput yield en un proceso



Fuente: Watts, 2025.

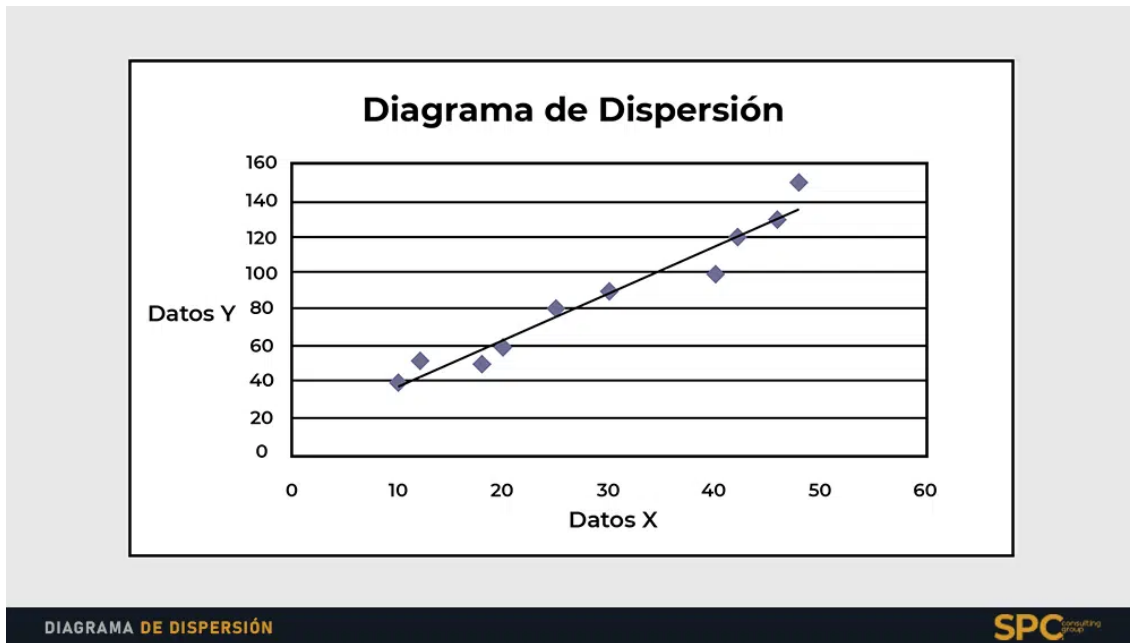
### 2.1.17 Gráfico de dispersión

Para explicar el gráfico de dispersión, SPC Group (2015) señala:

El diagrama de dispersión es una herramienta utilizada cuando se desea realizar un análisis gráfico de datos bivariados, es decir, los que se refieren a dos conjuntos de datos. El resultado del análisis en el diagrama puede mostrar que existe una relación entre una variable y la otra.

El diagrama de dispersión tiene el propósito de controlar mejor el proceso y mejorarlo, resulta indispensable conocer cómo se comportan algunas variables o características de calidad entre sí, esto es, descubrir si el comportamiento de unas depende del comportamiento de otras, o no, y en qué grado.

Figura 2.17: Ejemplo de un gráfico de dispersión



Fuente: SPC Group, 2015.

### 2.1.18 Gráfico de barras

Con relación al gráfico de barras, Rodó (2020) expone:

Un diagrama de barras es una representación en dos dimensiones de la frecuencia, ya sea absoluta o relativa, de una variable cuantitativa o cualitativa, pero siempre discreta y distribuida en filas.

En otras palabras, un diagrama de barras es la representación de una variable discreta a través de columnas horizontales o barras.

Adicionalmente, Rodó (2020) presenta las siguientes ventajas y desventajas para este tipo de gráfico:

#### **Ventajas**

- Visión globalizada de la frecuencia de una variable discreta.
- Se trata de un tipo de gráfico muy fácil de crear. Además, es de gran utilidad para trasladar la información.

## Desventajas

- Con este diagrama no podemos representar una variable continua. En este sentido, tendríamos que buscar otro tipo de gráfico, como el gráfico de línea.

Figura 2.18: Ejemplo de un gráfico de barras

	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Estación de esquí A	200	340	200	170



Fuente: Rodó, 2020.

### 2.1.19 Estudio de capacidad y utilización

Con el fin de establecer qué es la capacidad de un proceso y la importancia de hacer un estudio de esta, Turovski (2023) indica:

La capacidad de producción es el rendimiento máximo de una instalación de producción, estimado en productos terminados durante un periodo de tiempo determinado. Indica la producción potencial, es decir, el límite teórico superior de bienes que pueden producirse con las máquinas, la mano de obra y los recursos instalados.

Conocer la capacidad de producción con la mayor precisión posible es esencial por varias razones:

- Se espera que los fabricantes sean capaces de ofrecer tiempos de entrega precisos. [...].

- Una visión precisa de la capacidad de producción permite un proceso general de programación de la producción más informado que simplifica la toma de decisiones y alivia la incertidumbre a la hora de satisfacer la demanda de los clientes.
- Comparar la capacidad de producción con la capacidad real de los periodos anteriores permite medir la tasa de utilización de la capacidad, lo que resulta útil para calibrar la eficacia de los procesos de fabricación y encontrar un equilibrio entre la tasa de funcionamiento y el coste por unidad.
- Una métrica confiable de la capacidad de producción es un buen indicador del rendimiento y resulta útil, por ejemplo, para motivar a los trabajadores a crear y cumplir objetivos de producción.

Ahora bien, conociendo la relevancia de efectuar un estudio de capacidad, a continuación Turovski (2023) también expone por qué es significativo llevar a cabo un estudio de utilización del proceso:

Una vez que se han medido tanto la capacidad de producción como la producción real, es posible calcular otro KPI de fabricación importante: el índice de utilización de la capacidad. Este KPI muestra qué porcentaje de la capacidad de producción instalada de una empresa se está utilizando o, en otras palabras, a qué porcentaje de la capacidad máxima está funcionando el proceso de fabricación.

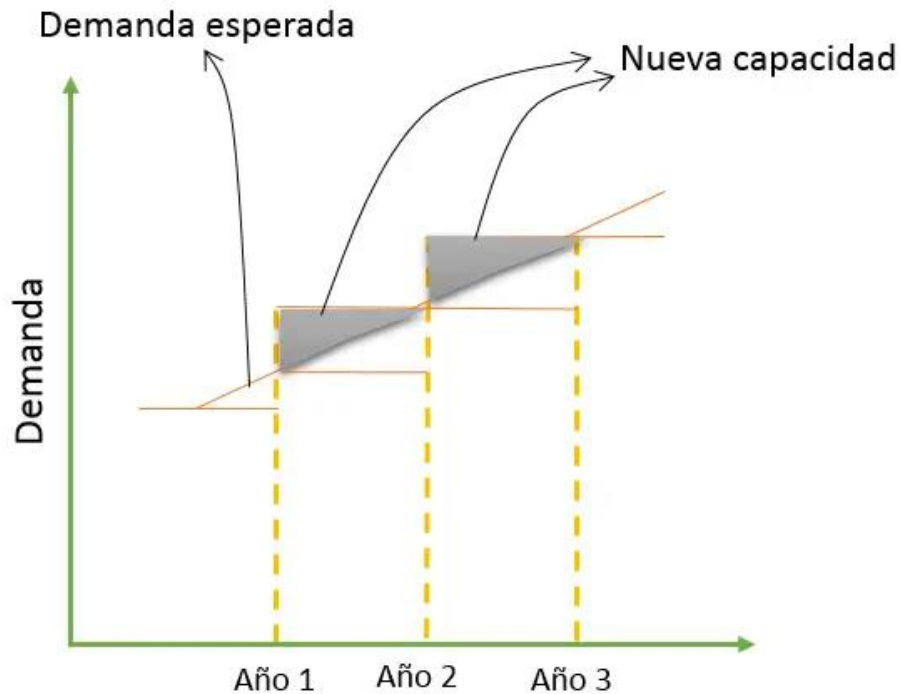
El índice de utilización de la capacidad se calcula dividiendo la capacidad real por la capacidad de producción y multiplicando el resultado por 100 para obtener un porcentaje.

Utilización de la capacidad = (nivel de producción real/capacidad de producción) x 100 %.

El índice de utilización de la capacidad es excelente para evaluar la eficacia operativa de la planta de producción y los costes y precios de los productos. Por lo general, se considera óptimo un índice de utilización de la capacidad en torno al 85 %, un índice superior puede dar lugar a una disminución de los beneficios debido a la depreciación acelerada de las estaciones de trabajo o a la incapacidad

de responder a aumentos repentinos de la demanda. En general, cuanto mayor sea la tasa de utilización de la capacidad, menor será el coste por unidad y mayor el margen de beneficios.

Figura 2.19: Ejemplo de un gráfico de capacidad contra la demanda esperada



Fuente: Betancourt, 2016a.

### 2.1.20 Lluvia de ideas

Para describir en qué consiste una lluvia de ideas, se cita la definición del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (2014):

Es una técnica de grupo que permite generar ideas en un ambiente relajado, logrando aprovechar la capacidad creativa de todos. Donde pueden darse tantas ideas como sea posible, y estas a su vez generan nuevas ideas. Todo esto en un periodo de tiempo previamente determinado. Esta técnica permite a la gente cooperar con ideas y pensamientos que pueden, en principio, parecer un poco

locos. Sin embargo, algunas de ellas pueden dar soluciones originales y creativas para un problema, y otras tantas, pueden provocar aún más ideas interesantes.

Como complemento a la explicación de la lluvia de ideas, el Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (2014) agrega los siguientes pasos para la elaboración de una lluvia de ideas:

#### Paso 1: Preparar al grupo

\*En primer lugar hay que crear un ambiente cómodo para la sesión. Buena iluminación en el área y que se tengan todas las herramientas, los recursos y los refrigerios necesarios.

\*Lo ideal sería incluir en el grupo a personas de una amplia gama de disciplinas, de preferencia personas que tienen diferentes estilos de pensamiento. Para así generar verdaderamente ideas creativas y diferentes puntos de vista. [...]

#### Paso 2: Producción de ideas

\*El formador hace de coordinador y estimula la producción de ideas, y el propio formador o un ayudante toma nota de las ideas como pueden ser en pizarrones, rotafolios, muros de cristal o utiliza una computadora con un proyector multimedia, esto sirve de refuerzo y motivación para la participación de todos. [...]

#### Paso 3: Evaluación de las ideas

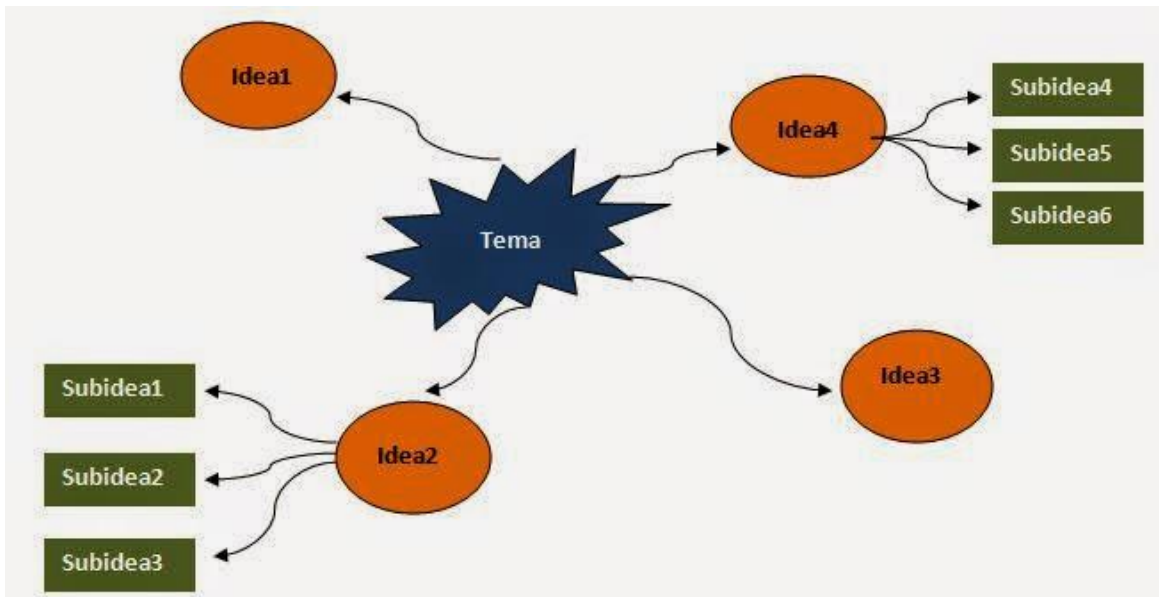
\*Una vez que todos hayan compartido sus ideas, se deberá dar paso a una discusión grupal que permita desarrollar cada una de ellas, tanto las propias como las de otras personas.

\*El objetivo será crear nuevas ideas tomando como base las inicialmente enlistadas. Es muy importante resaltar los aspectos valiosos y de mayor potencial de cada idea. [...]

#### Paso 4: Plan de acción

\*El grupo fija los pasos necesarios para llevar a cabo un plan de acción a partir de las ideas seleccionadas.

Figura 2.20: Ejemplo de un diagrama de lluvia de ideas



Fuente: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, 2014.

### 2.1.21 Diagrama de Ishikawa

Referente a este diagrama, Giani (2024) explica:

El diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama de causa y efecto o de espina de pescado, es un organizador gráfico que representa las distintas causas de un problema, con el objetivo de encontrar una solución, o de un hecho, con la finalidad de conocer qué eventos lo produjeron.

Para la elaboración del diagrama de Ishikawa, se emplean las 6M, Giani (2024) las detalla a continuación:

**Método.** Incluye los procedimientos de un proceso para elaborar un producto o un servicio. Además, se tienen en cuenta otros aspectos, como el tiempo de cada tarea y las normas de seguridad.

**Maquinaria.** Incluye los elementos tecnológicos, es decir, las máquinas, las herramientas físicas y digitales, su utilidad, su eficiencia, su reparación, sus repuestos y sus insumos.

**Mano de obra.** Incluye a las personas que participan en un proceso productivo u organizacional. También se tienen en cuenta sus conocimientos, sus cualidades, sus roles y sus responsabilidades.

**Material.** Incluye los elementos empleados para elaborar un producto o brindar un servicio. Además, tiene en cuenta sus características, sus proveedores, su almacenamiento, su rendimiento y su desperdicio.

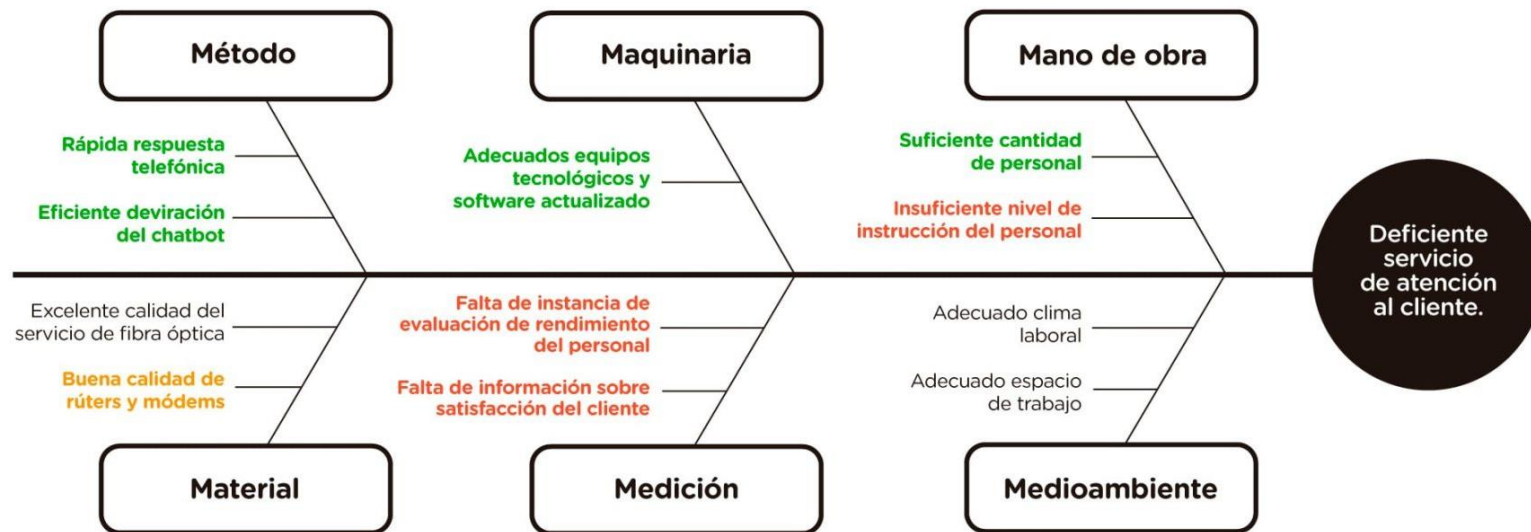
**Medición.** Incluye la evaluación de las distintas partes del proceso y del estado de la maquinaria y los materiales.

**Medioambiente.** Incluye un análisis detallado del lugar en el que se lleva a cabo un proceso productivo. Tiene en cuenta distintos aspectos, como el clima, la limpieza, la contaminación, la luz y el tamaño del sitio.

Figura 2.21: Ejemplo de un diagrama de Ishikawa

## Diagrama de Ishikawa

Ejemplo de diagrama de Ishikawa sobre el servicio de atención al cliente



- Elementos que influyen en el problema del producto defectuoso
- Elementos que podrían mejorarse para contribuir a mejorar el servicio en general
- Elementos que no contribuyen de forma negativa al problema del producto defectuoso

© Editorial Etecé

Fuente: Giani, 2024.

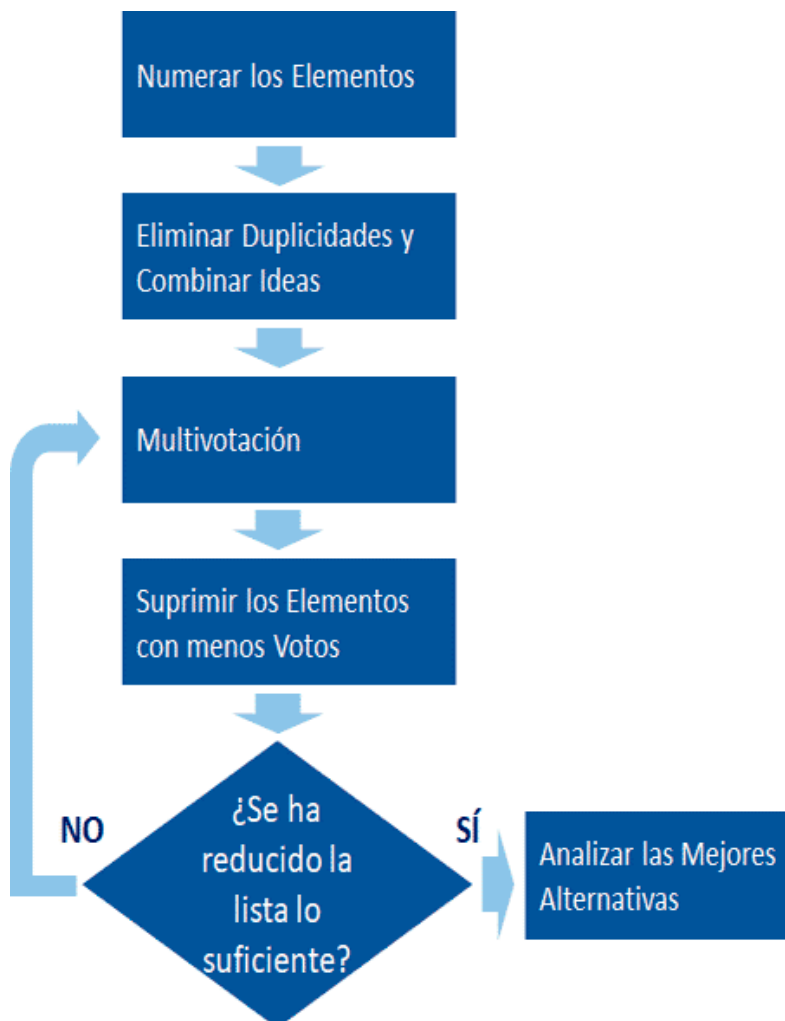
### 2.1.22 Multivoto

En cuanto al ejercicio del multivoto, Aiteco Consultores (2019) señala:

La multivotación es un procedimiento sencillo y estructurado que se aplica para seleccionar, de entre una amplia lista de elementos, aquellos que son más significativos y merecen mayor consideración.

Cuando disponemos de una gran cantidad de ideas u opciones la dificultad estriba en trabajar con ese alto número. Con la multivotación, esa amplia gama de elementos se reduce, lo que permite al equipo centrarse en unas pocas, más apropiadas e importantes.

Figura 2.22: Proceso para el multivoto



Fuente: Aiteco Consultores, 2019.

### 2.1.23 Diagrama de Pareto

Respecto a la función de un diagrama de Pareto, De Souza (2019) establece:

El diagrama de Pareto es una gráfica que organiza valores, los cuales están separados por barras y organizados de mayor a menor, de izquierda a derecha respectivamente.

Esta gráfica permite asignar un orden de prioridades para la toma de decisiones de una organización y determinar cuáles son los problemas más graves que se deben resolver primero.

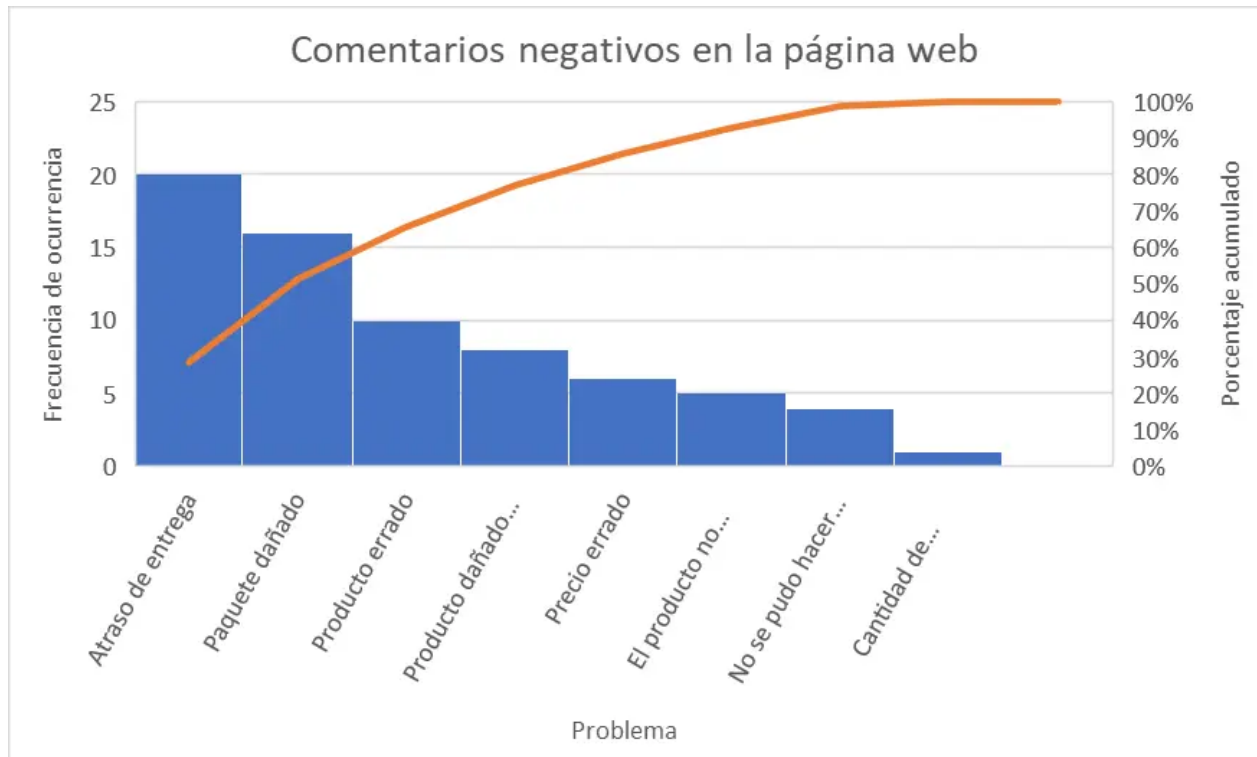
Su finalidad, es hacer visibles los problemas reales que están afectando el alcanzar los objetivos de la empresa y reducir las pérdidas que esta posee.

Figura 2.23: Ejemplo de una tabla para un diagrama de Pareto

Categoría	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje unitario (%)	Porcentaje acumulado (%)
Atraso de entrega	20	20	29	29
Paquete dañado	16	36	23	52
Producto errado (color o tipo)	10	46	14	66
Producto dañado por fabricante	8	54	11	77
Precio errado	6	60	9	86
El producto no cumple las expectativas	5	65	7	93
No se pudo hacer la compra	4	69	6	99
Cantidad de producto menor al pedido	1	70	1	100
<b>TOTAL</b>	<b>70</b>		<b>100 %</b>	

Fuente: De Souza, 2019.

Figura 2.24: Ejemplo de un diagrama de Pareto



Fuente: De Souza, 2019.

### 2.1.24 Diagrama de relaciones

Para conceptualizar el diagrama de relaciones, Betancourt (2016b) determina:

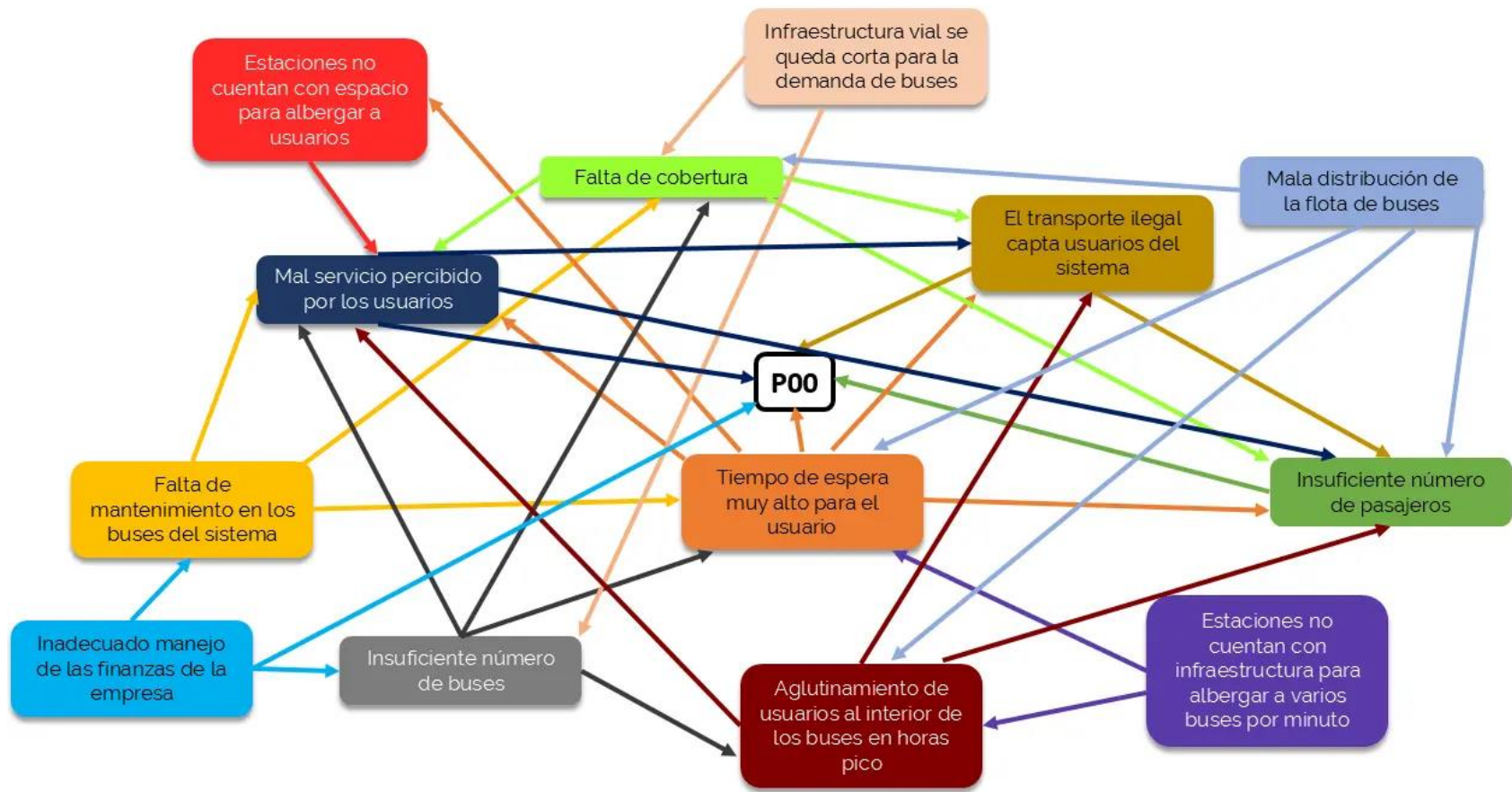
Podemos definir un diagrama de relaciones como la herramienta que nos permitirá analizar los vínculos de las causas y efectos de una situación problemática cuando se presentan de forma compleja. Básicamente lo que hacemos es organizar (sin estructura aparente a raíz de la complejidad en las relaciones) una serie de elementos (opiniones, hallazgos, percepciones, ideas, aspectos, etc.) a través de la conexión causal que tienen entre sí.

Con respecto a las ventajas y los beneficios del diagrama de relaciones, Betancourt (2016b) agrega:

- Te ofrece una representación visual (para algunos desordenada, es verdad) de las causas y efectos en torno a un elemento objeto de análisis.

- A diferencia de otras herramientas, esta herramienta te da más facilidad para representar complejas estructuras de conexión, lo que puede ser muy beneficioso cuando enfrentamos desafíos de control de calidad.
- Consigues analizar las interrelaciones entre elementos, ideas, percepciones, temas u opiniones.
- Es complementaria a otras herramientas de calidad y de mejora continua como el diagrama de afinidad para dar continuidad a la consolidación de información o al diagrama de espina de pescado o de árbol para profundizar en la exploración de las causas.

Figura 2.25: Ejemplo de un diagrama de relaciones



Fuente: Betancourt, 2016b.

### 2.1.25 Cinco porqués

Acerca del análisis de los cinco porqués y cuáles son las razones para utilizarlo, Cárdenas (2025) expone:

La técnica de los 5 porqués resulta muy útil para la gestión de riesgos empresariales, pues tiene por objetivo resolver una situación o problema a través de cuestionamientos en cadena: al preguntar el primer “porqué”, otros se desencadenarán hasta llegar a la solución, respuesta o razón. Aquí te presento 5 razones poderosas para usar este método:

1. Identificas las causas de raíz

La principal utilidad de esta técnica es descubrir las causas fundamentales de un problema, ya que profundiza más allá de las manifestaciones evidentes y llega a las raíces del asunto.

2. Mejoras la resolución de problemas

Además, proporciona una estructura sistemática para abordar problemas, lo que ayuda a los equipos a evitar las soluciones superficiales y a comprender mejor las relaciones causa-efecto. Esto contribuye a encontrar una resolución de problemas más efectiva y duradera.

3. Previene recurrencias

Al abordar las raíces de un problema, el análisis de los 5 porqués previene sus recurrencias en el futuro.

4. Facilita el aprendizaje organizacional

Gracias a esta metodología, fomentas una cultura de aprendizaje dentro de tu organización. Esto porque, al analizar las causas de los problemas, los equipos extraen lecciones valiosas que podrán usar para enfrentar obstáculos similares en el futuro.

5. Estableces un proceso de mejora continua

Si aplicas este sistema con regularidad, conseguirás fijar un proceso de mejora continua para tu organización.

Figura 2.26: Ejemplo de 5 porqués

Planteamiento del problema	Por qué 1	Por qué 2	Por qué 3	Por qué 4	Por qué 5	Resultado
¿Por qué hay tanta rotación de personal?	Porque hay un clima organizacional negativo	¿Por qué hay un clima organizacional negativo? Porque no se fomenta el trabajo en equipo y existe mucha competitividad mal enfocada.	¿Por qué no se fomenta el trabajo en equipo? Porque no hay un líder en cada área de la empresa que incentive actividades grupales.	¿Por qué no hay líderes en cada área? Porque no se ha incentivado ninguna actividad o votación que ayude a elegir al mejor líder para cada área.		Definir un líder por cada área de negocio que ayude a conocer las necesidades específicas de cada departamento.
	Porque hay una falta de crecimiento laboral	¿Por qué hay una falta de crecimiento laboral? Porque no se brindan las capacitaciones ni oportunidades adecuadas para que los trabajadores puedan subir de puesto.	¿Por qué no se ofrecen capacitaciones a los trabajadores? Porque no hay un líder en cada área que sugiera o destaque las necesidades específicas de lo que requieren aprender para seguir avanzando en cada departamento.			Buscar las capacitaciones y talleres más adecuados para que el personal pueda aprender más sobre sus funciones y así incentivar su crecimiento.
	Porque no hay un proceso de selección adecuado	¿Por qué hay un proceso de selección inadecuado? Porque no se utilizan los valores y objetivos de la empresa como base para seleccionar al personal adecuado.	¿Por qué no se utilizan los valores y objetivos de la empresa para determinar al mejor personal? Porque los valores y objetivos de la empresa no están bien establecidos en un documento oficial.	¿Por qué no están establecidos los valores y objetivos de la empresa en un documento oficial? Porque la empresa no se ha tomado el tiempo de crear su manual organizacional.		¿Por qué no se ha creado un manual organizacional? Porque no han designado a un responsable para realizarlo adecuadamente.

Fuente: Cárdenas, 2025.

### **2.1.26 Diagrama de Gantt**

Con la finalidad de explicar en qué consiste un diagrama de Gantt, se cita la siguiente definición de Santos (2024a):

El diagrama de Gantt es un instrumento de gestión de proyectos que sirve para esquematizar las tareas que se tienen que realizar desde el inicio del proyecto hasta su conclusión. Consta de dos elementos: las tareas y el calendario. Cada tarea abarca una cantidad de días, por lo cual se forman barras, dependiendo la duración.

Además, el diagrama de Gantt muestra las relaciones que existen entre tareas y los hitos que deben cumplirse para que el proyecto avance conforme a lo planeado. La creación de este diagrama se atribuye a Henry Laurence Gantt, y se empezó a difundir a partir de 1910. Se ha mantenido a lo largo de los años por su facilidad de uso, versatilidad, eficiencia y adaptación a cualquier sector o proyecto.

Figura 2.27: Ejemplo de un diagrama de Gantt



Fuente: Santos, 2024a.

### **2.1.27 Estrategia para la resistencia al cambio**

Referente a las estrategias para la resistencia al cambio, Kizeo Forms (2025) detalla:

Cuando se propone un cambio por primera vez, la mayoría de las personas inmediatamente quieren saber tres cosas: qué significa este cambio para mí, por qué está sucediendo y cómo se verá cuando el cambio se haya realizado. Recopilamos esta información de manera intuitiva, para comenzar a evaluar el nivel de riesgo y dificultad involucrado en el cambio.

A medida que las personas comienzan a hacer estas preguntas, su mentalidad inicial generalmente es que el cambio será difícil, costoso y extraño. Es normal que los trabajadores piensen que no necesitan cambiar su forma de trabajar.

Para que los trabajadores se involucren de manera positiva en los cambios organizacionales, hay que lograr cambiar esa mentalidad inicial por una positiva y abierta a lo que van a escuchar.

### **2.1.28 Análisis del retorno de la inversión (ROI)**

En relación con el análisis del retorno de la inversión (ROI), Pursell (2025) describe:

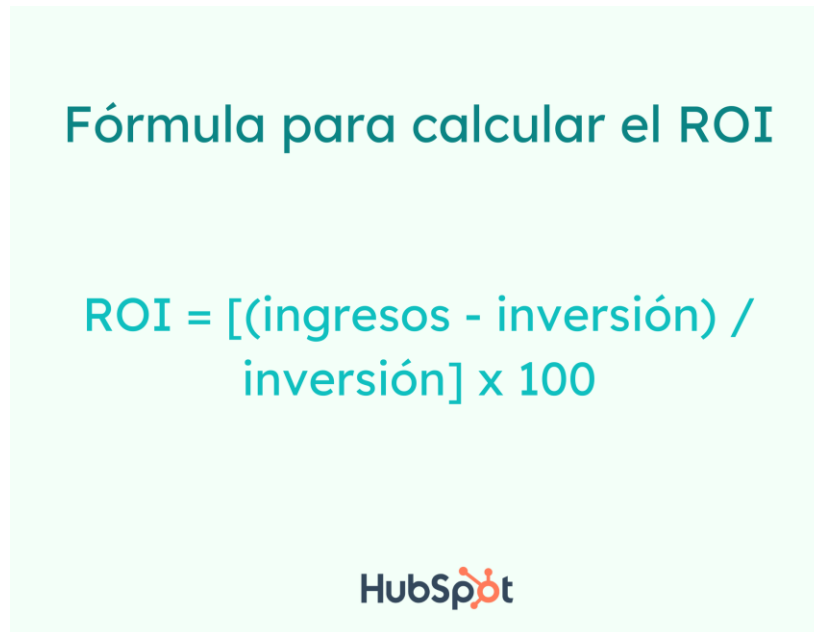
El ROI, o retorno de inversión, es la medición que permite saber cuánto dinero se obtiene en relación con el dinero que ha sido invertido en el lanzamiento de un producto o la mejora del servicio al cliente o en una campaña de publicidad. Esta métrica puede ser negativa o positiva y refleja el éxito al recuperar el dinero que se ha apostado en un negocio.

El ROI se calcula mediante la división de las ganancias obtenidas entre los gastos (o la inversión). El resultado de esta operación se multiplica por 100 para saber cuál es el porcentaje de retorno.

Un ROI en ceros indica que no ha habido ganancias, pero tampoco pérdidas. Por su parte, un ROI con un valor de 100 % indica que se ha recuperado íntegramente el valor de la inversión. Cuanto más alto el valor, mayores ganancias

comunica. Por el contrario, un ROI negativo deja ver que no se ha recuperado el dinero invertido ni se han obtenido ganancias, por lo tanto, ha habido pérdidas.

Figura 2.28: Fórmula para calcular el ROI



**Fórmula para calcular el ROI**

$$\text{ROI} = \left[ \frac{\text{ingresos} - \text{inversión}}{\text{inversión}} \right] \times 100$$

HubSpot

Fuente: Pursell, 2025.

## 2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

El estudio se lleva a cabo en la empresa Medical Devices en Costa Rica, la cual se dedica a la manufactura de dispositivos médicos endovasculares y similares.

### 2.2.1 Visión/misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente.

#### Visión

Nuestro propósito es posicionarnos como la empresa líder a nivel global en el ámbito de lo médico, diseñando soluciones altamente confiables, intuitivas y avanzadas desde el punto de vista tecnológico, respaldadas por resultados clínicos verificables. Nos comprometemos a garantizar que la atención médica sea asequible y eficiente en costos para todos (Medical Devices, 2025).

## **Misión**

“Buscamos destacar en la industria como pioneros en el desarrollo y distribución de tecnologías médicas revolucionarias, con el objetivo de generar un impacto positivo y significativo en la salud y bienestar de los pacientes en todo el mundo” (Medical Devices, 2025).

### **2.2.2 Antecedentes históricos**

Medical Devices se fundó durante el siglo XX en una pequeña instalación en Norteamérica. Su comunidad global, compuesta por más de 2000 ingenieros, químicos, comercializadores, fabricantes e investigadores, comparte el mismo objetivo: desarrollar tecnologías que mejoren significativamente la vida de los pacientes. Desde el comienzo, se centraron en crear y comercializar dispositivos médicos destinados a mejorar el tratamiento de enfermedades en los vasos sanguíneos.

Después de integrar varios prototipos iniciales, la empresa enfocó sus esfuerzos en la terapia de aneurismas por lo que desarrolló una línea de productos endovasculares. Este avance representó un paso crucial en el tratamiento de trastornos vasculares. En el siglo XXI, la empresa creció de manera significativa.

Hoy en día, Medical Devices ha lanzado más de 55 productos al mercado y ha ampliado su campo de acción más allá del tratamiento de enfermedades cerebrales. Su enfoque ahora incluye el tratamiento de accidentes cerebrovasculares, enfermedades en arterias y diversas malformaciones vasculares. La compañía sigue innovando y buscando nuevas soluciones que puedan mejorar la calidad de vida de los pacientes en todo el mundo, de este modo consolida su posición en la industria médica.

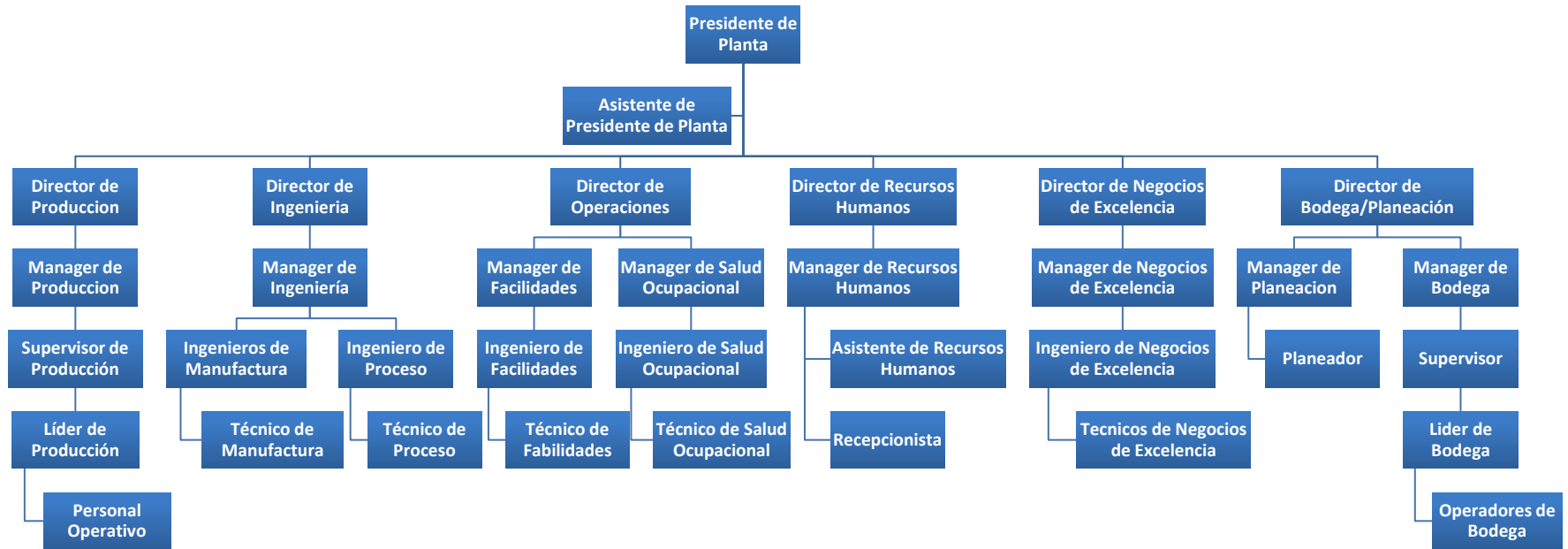
### **2.2.3 Ubicación geográfica**

Costa Rica.

### **2.2.4 Estructura organizacional**

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.29: Organigrama de Medical Devices



Fuente: Elaboración propia, 2025.

## 2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o área	Cantidad (personas)
Producción	1400
Calidad	180
Ingeniería	25
Negocios de Excelencia	20
Bodega, Logística	55
Recursos Humanos	12
Facilidades, Salud Ocupacional	24
<b>Total</b>	<b>1716</b>

Fuente: Medical Devices, 2024.

## 2.2.6 Tipos de productos

La empresa cuenta con más de 30 diferentes productos en todas sus plantas de producción a nivel mundial; sin embargo, el enfoque principal en la planta de Costa Rica son los dispositivos de acceso para llegar al área afectada, así como diversos tipos de implantes endovasculares.

## 2.2.7 Mercado de exportación

Medical Devices pertenece a un mercado internacional amplio y competitivo, por lo que opera de manera eficiente y expande sus productos a nivel global. Aunque su mercado de exportación es diverso, su enfoque principal se encuentra en los clientes involucrados con la FDA (Food and Drugs Administration).

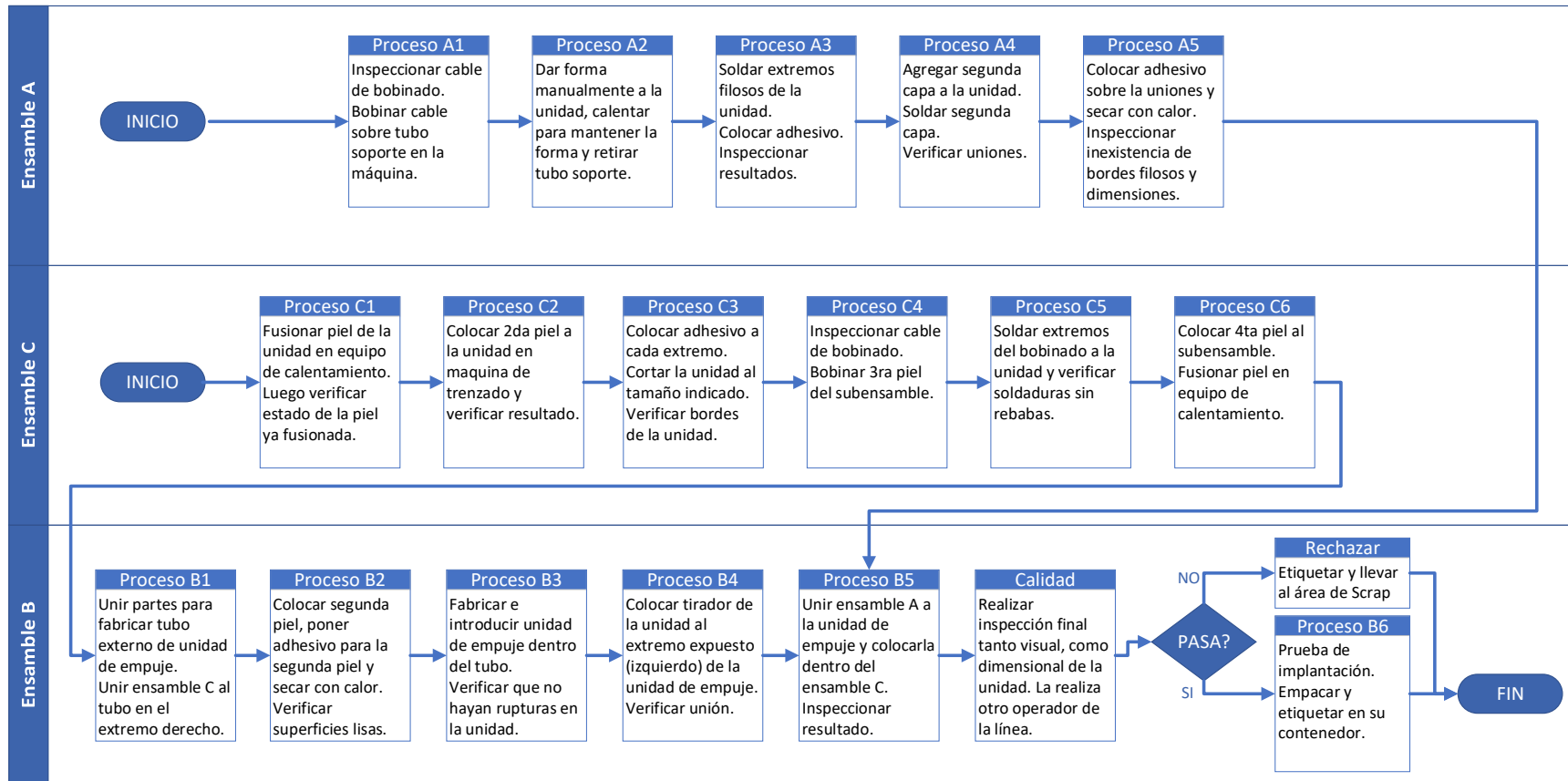
Además, Medical Devices ha logrado involucrarse en mercados estratégicos de gran importancia a nivel mundial, como Asia y Suramérica, donde la demanda de soluciones médicas avanzadas es alta. Por consiguiente, la presencia en estos países le permite a la empresa competir en industrias tecnológicas muy complejas, en las cuales la

innovación y la calidad son fundamentales. De esta forma, Medical Devices sigue consolidando su papel en la industria médica global al aprovechar las ventajas competitivas que le ofrece su ubicación en Costa Rica.

### **2.2.8 Descripción general del proceso productivo**

El siguiente diagrama de flujo ilustra el proceso de producción de la línea. Por medio de una representación visual clara, se detallan las etapas clave, desde los inicios de los múltiples subensambles hasta el empaque final, lo que sucede posterior a una inspección de Calidad, la cual define si el producto es conforme o no a los estándares.

Figura 2.30: Diagrama de flujo de la línea



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso de la línea cuenta con 3 diferentes ensambles, denominados como ensamble A, ensamble C y ensamble B. Cada uno de los cuales sigue una serie de operaciones hasta finalizar el proceso correspondiente.

El ensamble A posee 5 diferentes operaciones, las mismas producen la unidad que luego se ingresa al ensamble B en el proceso B5. Por otro lado, el ensamble C tiene un inicio paralelo al ensamble A y se compone de 6 operaciones, estas generan el producto que se ingresa como materia prima para el proceso B1. Además, el ensamble B inicia a producirse una vez que se tiene listo el ensamble C, este se ingresa al proceso para unirse con los distintos componentes que interactúan en las operaciones del ensamble B.

En el ensamble B se da un proceso de inspección, este busca descartar las unidades que no cumplen con las especificaciones indicadas para el producto, tanto visuales como dimensionales. En caso de no cumplir con las especificaciones, se rechazan las unidades. Por último, a las unidades que cumplen con los requerimientos de calidad se les realiza una última prueba de implantación que consiste en una prueba de funcionabilidad del dispositivo. Las unidades que pasan esta prueba se empaacan y entregan a Bodega como productos finales.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio posee un enfoque de investigación mixto, ya que combina herramientas ingenieriles y variables tanto cuantitativas como cualitativas, inherentes al proceso en análisis. Al integrar y examinar conjuntamente estos datos, se logran resultados más precisos y confiables.

El proceso de investigación incluye la recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos (control, precisión, análisis deductivo y objetivo, relaciones causa-efecto, estadísticas, replicabilidad, procesos secuenciales, generalización, comprobación y predicción), así como un enfoque cualitativo (profundización de ideas, amplitud de visión, análisis interpretativo e inductivo, contextualización, significados y comprensión de realidades subjetivas).

Con respecto al enfoque cuantitativo, Sánchez (2019) menciona:

La investigación bajo el enfoque cuantitativo se denomina así porque trata con fenómenos que se pueden medir (esto es, que se les puede asignar un número, como, por ejemplo: número de hijos, edad, peso, estatura, aceleración, masa, nivel de hemoglobina, cociente intelectual, entre otros) a través de la utilización de técnicas estadísticas para el análisis de los datos recogidos.

En cuanto al enfoque cualitativo, Sánchez (2019) indica:

La investigación bajo el enfoque cualitativo se sustenta en evidencias que se orientan más hacia la descripción profunda del fenómeno con la finalidad de comprenderlo y explicarlo a través de la aplicación de métodos y técnicas derivadas de sus concepciones y fundamentos epistémicos.

A partir de estos conceptos y considerando tanto la naturaleza del problema como la forma en que se pretende resolver, el proyecto adopta un enfoque mixto en el método de investigación utilizado.

### **3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

En relación con este análisis, se emplea la metodología DMAIC como herramienta central para el desarrollo y evaluación de los datos recolectados, pues el método DMAIC ofrece un marco estructurado y lógico que facilita abordar tanto el problema del diseño de la línea de producción como el elevado costo de producción.

Este enfoque permite una transición ordenada desde la definición del problema hasta la implementación de soluciones; adicional, se asegura un seguimiento a largo plazo que garantiza la sostenibilidad de las mejoras. De esta manera, al combinar este método con la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos, se obtiene una visión integral del problema que posibilita respaldar las decisiones con datos confiables.

Ahora bien, en la fase “definir”, se realiza un análisis del contexto del problema al comprender y delinear por completo su naturaleza, lo que facilita la toma de decisiones y la búsqueda de soluciones efectivas. Al respecto, se utilizan herramientas como el diagrama de espagueti y el diagrama de flujo para identificar y visualizar la secuencia de procesos y el flujo de las unidades, además de cualquier aspecto del proceso que pueda considerarse como desperdicio.

Durante la fase “medir”, se emplean variables como las distancias en los traslados y los tiempos de ciclo para evaluar la capacidad del área.

En la fase “analizar”, se usan herramientas ingenieriles como el diagrama de Ishikawa, la lluvia de ideas y el diagrama de Pareto para identificar las causas más críticas del problema.

Posteriormente, en la fase “mejorar”, se proponen soluciones para las causas más importantes, lo anterior a partir de la estimación de los costos de mejora, la reducción de traslados y la disminución de desperdicios.

Por último, en la fase “controlar”, se establecen actividades de control e indicadores específicos para asegurar que las mejoras implementadas sean eficaces y se mantengan a lo largo del tiempo.

En la siguiente figura, se muestran las herramientas con las que se trabaja para el desarrollo de cada una de las etapas de la metodología DMAIC:

Figura 3.1: Metodología DMAIC para la presente investigación

#### DEFINIR

- Metodología DMAIC
- Project Charter
- Diagrama de flujo
- FODA
- Matriz FODA
- SIPOC
- Análisis de Stakeholders
- Diagrama de espagueti
- Matriz de relaciones

#### MEDIR

- Análisis de Costos
- Indicadores de productividad
- Estudio de tiempos
- Estudio de métodos
- Estudio de Yield de los procesos
- Estudio de capacidad y utilización

#### ANALIZAR

- Lluvia de ideas
- Diagrama de Ishikawa
- Multivoto
- Diagrama pareto
- Diagrama de relaciones
- Cinco porqués

#### MEJORAR

- Elaborar propuestas de mejora

#### CONTROLAR

- Gantt
- Estrategia para resistencia al cambio
- Análisis de retorno de inversión (ROI)

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La fuente de información principal con que se cuenta proviene del mismo autor de la investigación, quien labora en la compañía, en el Departamento de Excelencia Operacional, lo cual le permite tener una comunicación directa con los encargados y colaboradores de los diferentes departamentos involucrados en la problemática planteada y en el área donde se lleva a cabo el proyecto.

Con respecto al concepto de fuentes primarias, Méndez (2010) indica lo siguiente:

Son aquellas que contienen información nueva y original, que no ha sido sometida a ningún tratamiento posterior (selección, interpretación...). Son documentos primarios las monografías o libros, las publicaciones en serie (periódicos, revistas...), y la literatura gris (documentos que no siguen los canales habituales de difusión o comercialización: actas de congresos, tesis doctorales, trabajos finales de carrera, etc.)

Por otro lado, se entiende el término de fuentes secundarias como:

Son el resultado de las operaciones que componen el análisis documental (descripción bibliográfica, catalogación, indización, y a veces, resumen). Es decir, alguien ha trabajado sobre el contenido de estas. Permiten el conocimiento de documentos primarios, a partir de diversos puntos de acceso (autor, título, materia...) (Méndez, 2010).

#### 3.3.1 Sujetos de información

El *project charter* es una herramienta clave para estructurar y orientar el desarrollo del proyecto, porque resume de forma clara y concisa los objetivos, el alcance, los riesgos y los miembros interesados en la investigación. A continuación, se muestra el *project charter* de este proyecto:

Tabla 3.1: Project charter

PROJECT CHARTER	
<b>1. Fecha:</b> marzo, 2025.	<b>2. Nombre del proyecto:</b> Propuesta de reducción de costos y mejora en la eficiencia del proceso de un dispositivo médico por medio de la metodología DMAIC y un estudio de capacidad, en la compañía Medical Devices.
<b>3. Miembros del proyecto:</b> <b>3.1 Patrocinador:</b> - Gerente de Producción <b>3.2 Equipo de trabajo:</b> - Anthony Barquero Esquivel (Autor) <b>3.3 Supervisor del proyecto:</b> - Gerente del Departamento de Excelencia Operativa	<b>4. Alcance del proyecto:</b> Una línea de Producción de la compañía Medical Devices. <b>5. Fecha de inicio del proyecto:</b> septiembre, 2024 <b>6. Fecha tentativa de finalización:</b> abril, 2025
<b>7. Objetivos del proyecto:</b> <b>7.1 Objetivo general:</b> Crear una propuesta de reducción de costos de producción y mejora en la eficiencia de una línea en la compañía Medical Devices, mediante la realización de un estudio de capacidad, para mejorar estos factores en, al menos, un 5%. <b>7.2 Objetivos específicos:</b> 7.2.1 Definir la situación actual de la línea de producción en la compañía Medical Devices, mediante un análisis de los costos operativos del producto y la eficiencia del proceso. 7.2.2 Medir la utilización de los recursos y estaciones, así como del diseño del layout de la línea de producción, mediante el uso de herramientas de análisis de capacidad, estudios de tiempos y desplazamientos. 7.2.3 Analizar las causas principales que generan ineficiencias y costos elevados en la línea de producción, utilizando técnicas de análisis de causa raíz y estudios de capacidad, para determinar las áreas críticas de intervención necesarias.	
<b>8. Descripción del proyecto:</b> El proyecto busca generar una propuesta para optimizar el proceso productivo de la línea de producción mediante la reducción de costos e incrementar la eficiencia operativa.	
<b>9. Posibles restricciones del proyecto:</b> <b>9.1 Riesgo potencial:</b> 9.1.1 De ser necesitarse presupuesto, este no sea aprobado por la alta dirección. 9.1.2 Las propuesta establecida no sea sostenible a través del tiempo. 9.1.3 No cumplir el 5% de reducción del costo del producto.	<b>9.2 Propuesta de mitigación de riesgos:</b> 9.2.1 Proponer soluciones fáciles de implementar y con costos asequibles. 9.2.2 Hacer cambios en documentación, en caso de que apliquen, para mantener las mejoras. 9.2.3 Enfocar las mejoras en los tipos de costos más representativos del producto.
<b>Aprobado por:</b> Anthony Barquero Esquivel	<b>Firma:</b>
<b>Firmado por:</b> Anthony Barquero Esquivel	<b>Firma:</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir del *project charter*, se concluye que el fin principal del proyecto es reducir en al menos un 5 % el costo por unidad producida en la línea y aprovechar de forma más eficiente los recursos de la compañía; por lo tanto, se efectúan diferentes estudios para fortalecer los análisis pertinentes y brindar soluciones al problema planteado.

Además, se establece con claridad que el proyecto se enfoca a un área operativa específica de la compañía, así como los distintos miembros e interesados del proyecto.

### **3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS**

En cuanto al concepto de variables, Cauas (2015) lo define como:

El término está tomado de las matemáticas, utilizándose de forma bastante elástica en el ámbito de las ciencias sociales. Por lo general, se utiliza como sinónimo de “aspecto”, “propiedad” o “dimensión”. Propiedad o característica de un objeto o fenómeno que presenta variaciones en sucesivas mediciones temporales. De otra forma, se trata de una característica observable o un aspecto discernible en un objeto de estudio que puede adoptar diferentes valores o expresarse en varias categorías.

Tabla 3.2: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Definir la situación actual de la línea de producción en la compañía Medical Devices, mediante un análisis de los costos operativos del producto y la eficiencia del proceso.	Análisis del entorno	El análisis del entorno es un instrumento para evaluar la incertidumbre del contexto, que es generada por la impredecibilidad del comportamiento de las variables (Licha, 2000).	Recopilar y hacer un análisis de los datos necesarios para diagnosticar la situación actual de los costos y la eficiencia en la línea de producción de la empresa Medical Devices.	Metodología DMAIC. Diagrama de flujo. FODA. Matriz FODA. SIPOC. Análisis de <i>stakeholders</i> . Diagrama de espaguetti. Matriz de relaciones.
Medir la utilización de los recursos y estaciones, así como del diseño del <i>layout</i> de la línea de producción, mediante el uso de herramientas de análisis de capacidad, estudios de tiempos y desplazamientos.	Medición	Se recolectan los datos y se evalúan los procesos con el objetivo de identificar las variables involucradas.	Mediante las herramientas y la metodología de estudio de tiempos y de capacidad, se mide la utilización de los recursos y estaciones del área.	Análisis de costos. Indicadores de productividad. Estudio de tiempos. Estudio de métodos Estudio de <i>yield</i> de los procesos. Estudio de capacidad y utilización.
Analizar las causas principales que generan ineficiencias y costos elevados en la línea de producción, utilizando técnicas de análisis de causa raíz y estudios de capacidad, para determinar las áreas críticas de intervención necesarias.	Análisis de causas	Un método para solucionar problemas y que tiene la intención de eliminar o, en dado caso, disminuir la causa o las causas que los generan es el análisis de causa raíz (Ovalles et al., 2017).	Localizar las principales causas que afectan la eficiencia y los costos del proceso.	Lluvia de ideas. Diagrama de Ishikawa. Multivoto. Diagrama de Pareto. Diagrama de relaciones. Cinco porqués.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 3.5 INSTRUMENTOS

En el estudio se emplean herramientas del campo de la ingeniería que permiten recopilar la información necesaria para llegar a la causa principal del problema en el proceso de diseño de una línea de la empresa Medical Devices. Así, los instrumentos usados son los siguientes:

1. **Observación:** Díaz (2011) indica: “La observación es un elemento fundamental de todo proceso de investigación; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido lograda mediante la observación”.
2. **Registros históricos:** Gómez (2012) conceptualiza los registros de la siguiente manera:

Estos instrumentos son la forma de registrar la información que suministran las fuentes, de este modo, cuando sea necesario consultar ciertos datos, de inmediato podremos acudir a los instrumentos de registro, y fácilmente tendremos lo que se requiere para realizar nuestro reporte de investigación.

3. **Estudios de tiempo:** Cruelles (2012) define el instrumento como:

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos de trabajo y actividades correspondientes a las operaciones de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, con el fin de analizar los datos y poder calcular el tiempo requerido para efectuar la tarea según un método de ejecución establecido. Su finalidad consiste en establecer medidas o normas de rendimiento para la ejecución de una tarea.

4. **Gemba walk:** de acuerdo con Bremer (2021):

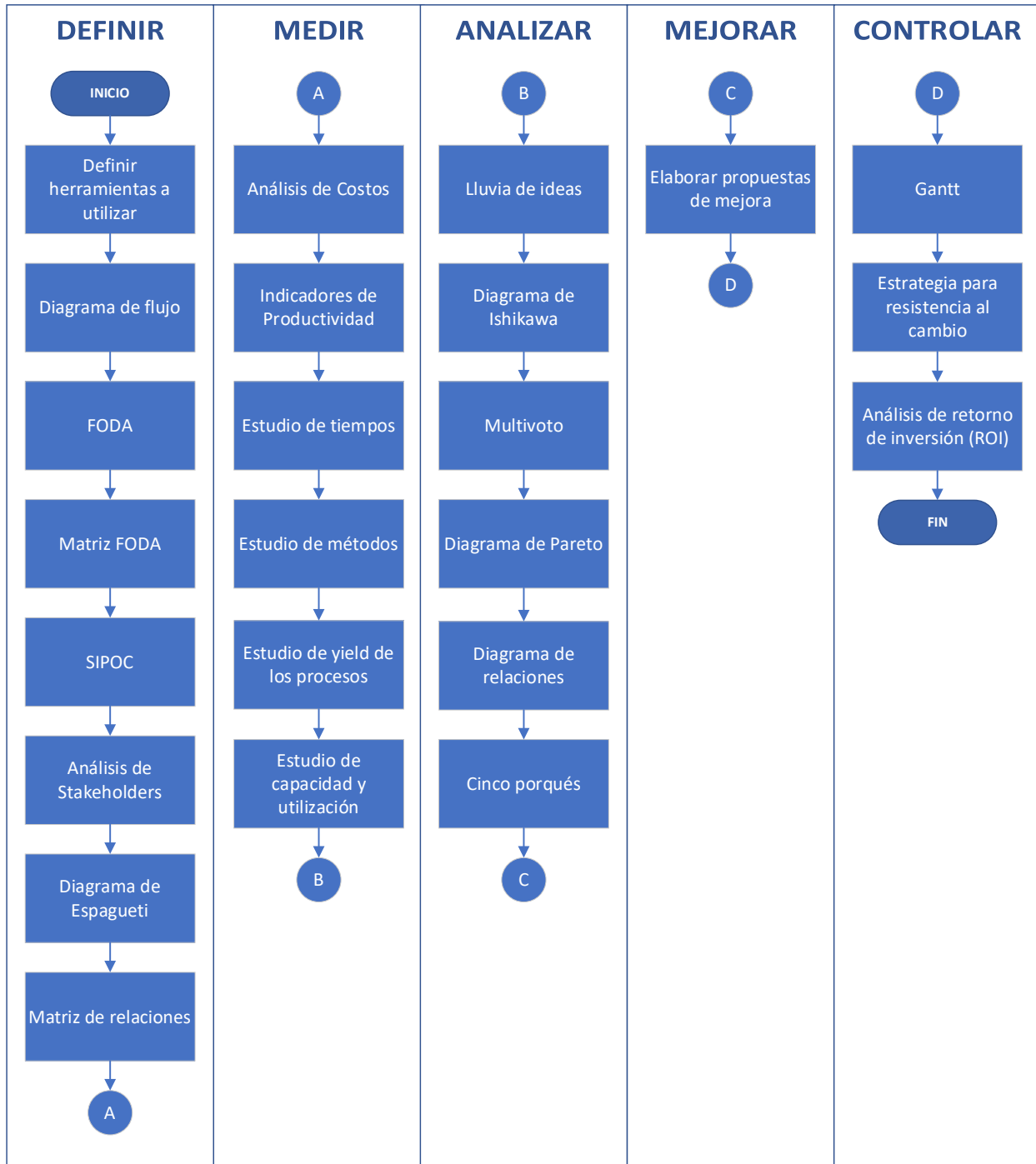
Un *gemba walk* es un término alternativo al japonés *genchi genbutsu*, que en la web de Toyota se define como: “Ir a la fuente para encontrar los hechos para tomar decisiones correctas, crear consenso y lograr los objetivos”. Esta expresión en argot se refiere a “ponte los zapatos y vete al lugar donde ocurren los hechos para ver la realidad”, lo que traslada el mensaje de que es un riesgo hacer suposiciones acerca de cosas que no se conocen de primera mano.

### **3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

El proceso de investigación inicia con definir las herramientas por utilizar. Así, mediante la observación del proceso y el análisis de los tiempos de ciclo, se recopila información sobre la eficiencia en las operaciones de la línea. Luego, se elabora un mapeo de flujo que representa cómo se desplazan los materiales y las personas en el proceso. Seguido por la creación de un diagrama de flujo y un diagrama de espagueti que ilustran los movimientos físicos y ayudan a identificar desplazamientos extensos y otros desperdicios.

Después, se llevan a cabo diagramas con la intención de representar los diferentes costos para priorizar puntos de mejora. Al emplear herramientas como el diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqués, se determinan las causas raíz de los problemas identificados. Seguidamente, se realiza una lluvia de ideas que facilita generar propuestas de mejora concretas, las cuales se desarrollan y seleccionan para optimizar el proceso. Dichas ideas se evalúan mediante una matriz de impacto y esfuerzo, las seleccionadas se simulan en el estudio de capacidad de la línea. Por último, se crea un plan y Gantt de implementación de las mejoras.

Figura 3.2: Diagrama de flujo de recolección de datos



Fuente: Elaboración propia, 2025.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El presente estudio se desarrolla en una línea de producción de la compañía Medical Devices, con énfasis en la evaluación de los costos operativos y la eficiencia del proceso productivo.

Al respecto, desde un punto de vista general, la industria de dispositivos médicos se caracteriza por su alta competitividad y la necesidad de cumplir con estrictos estándares regulatorios. Esto obliga a las empresas a operar con niveles óptimos de eficiencia para mantenerse competitivas.

En este contexto, la línea seleccionada enfrenta un problema significativo: los costos por unidad producida son elevados, lo cual afecta directamente su rentabilidad y dificulta la competitividad en el mercado. Por ello, se hace necesario analizar y optimizar los procesos para garantizar un desempeño más eficiente y rentable.

De este modo, se emplea la metodología DMAIC para abordar el problema de manera estructurada. Así, a continuación se exponen las diferentes herramientas utilizadas para las etapas iniciales: “definir”, “medir” y “analizar”; estas permiten comprender la situación actual y establecer una base sólida con el fin de proponer mejoras en la línea de producción.

#### **4.1 DEFINIR**

En esta primera etapa, se busca comprender la situación actual de la organización mediante la aplicación de diversas herramientas de ingeniería seleccionadas de forma estratégica. El propósito es delimitar el problema y definir las oportunidades para concretar los objetivos del proyecto.

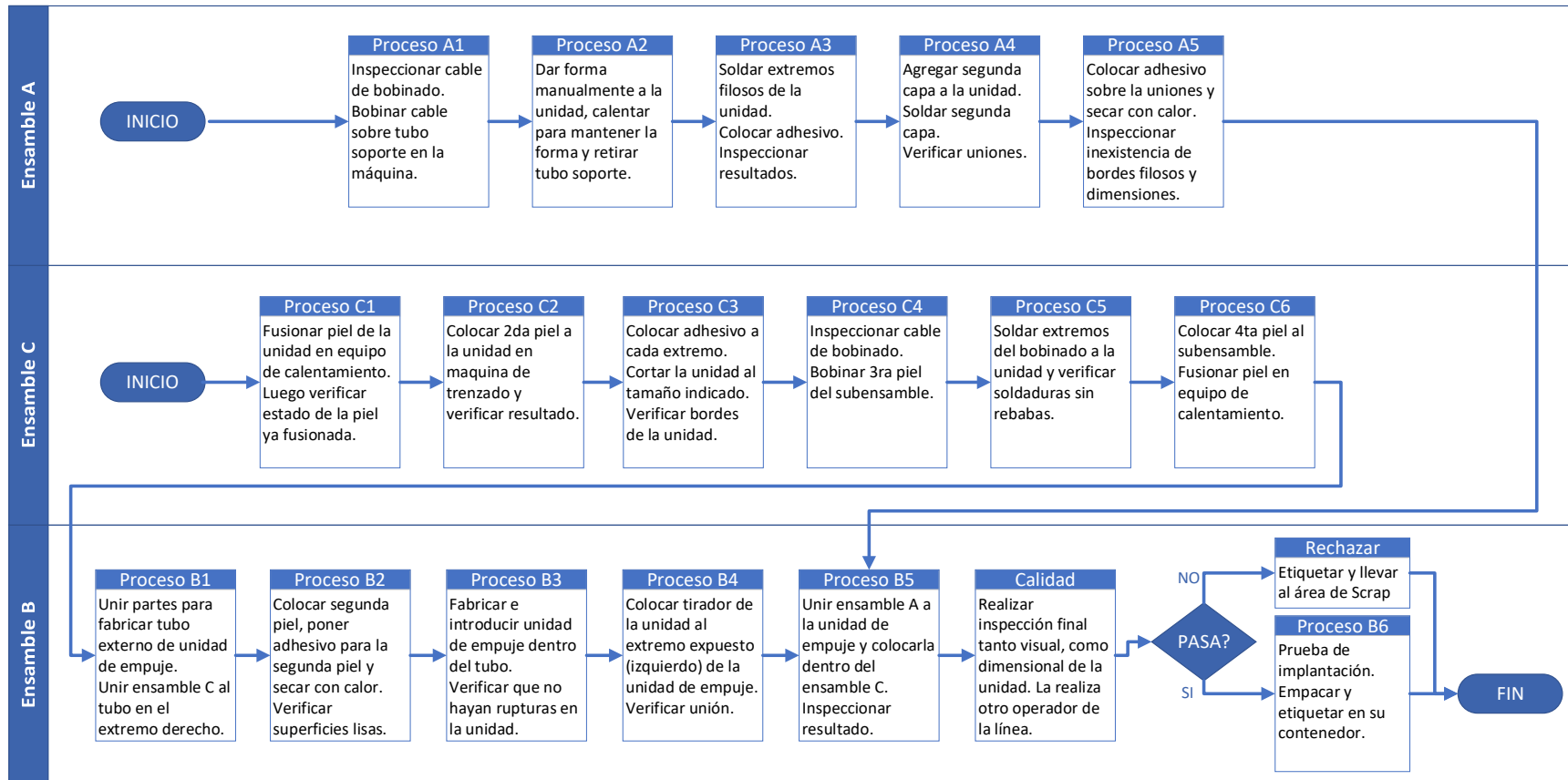
Seguidamente, se describe cada una de las herramientas empleadas en esta etapa.

##### **4.1.1 Diagrama de flujo**

Por medio de la elaboración del diagrama de flujo, se obtiene una representación visual y clara del proceso actual de la línea de producción en Medical Devices. Esta herramienta no solo posibilita identificar cada una de las etapas que componen el proceso, sino también comprender las interacciones y dependencias entre estas. Asimismo, sirve como base para entender el proceso.

En la siguiente figura, se detalla el diagrama de flujo del proceso actual de la línea de producción:

Figura 4.1: Diagrama de flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En conclusión, el uso del diagrama de flujo no solo ayuda a diagnosticar el estado actual del proceso, sino que además actúa como una herramienta estratégica para guiar los esfuerzos de optimización y alcanzar los objetivos planteados en este proyecto.

#### 4.1.2 FODA

A continuación, se analizan los cuatro elementos fundamentales que, según la teoría, influyen tanto interna como externamente en la línea de producción de Medical Devices. Estos elementos son: fortalezas, a saber, los factores positivos que la organización debe conservar; oportunidades, factores que pueden generar beneficios si se aprovechan adecuadamente; debilidades, correspondientes a los factores que requieren atención y mejora para evitar impactos negativos, y las amenazas, que son factores externos fuera del control de la organización y podrían representar riesgos para la operación.

En la siguiente figura se aprecia el desarrollo del análisis FODA aplicado a esta línea de producción, con el objetivo de identificar los aspectos clave que guían las acciones estratégicas y operativas del proyecto.

Tabla 4.1: FODA

Fortalezas	Oportunidades
F1. Importancia estratégica F2. Recurso humano capacitado F3. Impacto positivo en el mercado F4. Estabilidad financiera de la compañía	O1. Implementación de mejoras en el layout O2. Reducción de desperdicios O3. Colaboraciones estratégicas O4. Constancia proyectado de la demanda
Debilidades	Amenazas
D1. Costos elevados por unidad producida D2. Ineficiencias en el layout actual D3. Subutilización de estaciones de trabajo y recursos humanos D4. Resistencia al cambio	A1. Alta competencia en el mercado A2. Pérdida de competitividad A3. Impacto en la estabilidad financiera A4. Incremento en los costos de insumos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

#### Fortalezas

- **Importancia estratégica:** la línea de producción es clave para los ingresos globales de Medical Devices.

- **Recurso humano capacitado:** la compañía cuenta con personal entrenado que puede adaptarse a mejoras y nuevas estrategias operativas.
- **Impacto positivo en el mercado:** los productos de esta línea contribuyen directamente a salvar vidas, lo que fortalece su posicionamiento.
- **Estabilidad financiera de la compañía:** permite invertir en proyectos de mejora sin comprometer operaciones esenciales.

### Oportunidades

- **Implementación de mejoras en el *layout*:** rediseñar el flujo de trabajo puede optimizar desplazamientos y maximizar la productividad.
- **Reducción de desperdicios:** optimizar recursos puede generar ahorros significativos y mejorar la competitividad en el mercado.
- **Colaboraciones estratégicas:** asociarse con proveedores o expertos en diseño de *layout* puede acelerar las mejoras.
- **Constancia proyectada de la demanda:** a largo plazo, se visualiza una constancia en la demanda del producto generada en la línea de producción, esto posibilita asumir que las mejoras planteadas se pueden mantener por un largo periodo de tiempo.

### Debilidades

- **Costos elevados por unidad producida:** este factor afecta directamente la rentabilidad de la línea.
- **Ineficiencias en el *layout* actual:** desplazamientos innecesarios y extensos generan un desperdicio de tiempo y recursos.
- **Subutilización de estaciones de trabajo y recursos humanos:** existe un desaprovechamiento significativo durante las dos jornadas laborales.
- **Resistencia al cambio:** algunos empleados podrían oponerse a modificaciones en el *layout* o en los métodos de trabajo.

## Amenazas

- **Alta competencia en el mercado:** el sector médico exige bajos costos y alta eficiencia operativa, lo que aumenta la presión para optimizar.
- **Pérdida de competitividad:** si los costos siguen incrementándose, la empresa podría perder cuota de mercado.
- **Impacto en la estabilidad financiera:** la falta de acción puede comprometer tanto la rentabilidad como la sostenibilidad del producto.
- **Incremento en los costos de insumos:** la inflación o la disponibilidad limitada de materiales podría agravar los problemas actuales.

### 4.1.3 Matriz FODA

Esta matriz identifica las interacciones clave entre los elementos del análisis FODA y sugiere estrategias específicas para optimizar el rendimiento de la línea de producción en Medical Devices.

Tabla 4.2: Matriz FODA

	Oportunidades	Amenazas
Fortalezas	<b>FO (Fortalezas + Oportunidades):</b>	<b>FA (Fortalezas + Amenazas):</b>
	1. Demostrar la importancia de la línea en la estrategia global de la empresa para justificar y priorizar las mejoras en el layout	1. Potenciar la habilidad del recurso humano para reaccionar ante el aumento de costos y mantener la competitividad
	2. Basarse en la estabilidad financiera para absorber inversiones iniciales en mejoras operativas y estructurales	2. Resaltar el impacto positivo en el mercado para minimizar los efectos de una potencial pérdida de competitividad
Debilidades	<b>DO (Debilidades + Oportunidades):</b>	<b>DA (Debilidades + Amenazas):</b>
	1. Reducir costos por unidad mediante la optimización del layout y eliminación de desperdicios	1. Implementar controles para mitigar los efectos del aumento en los costos de insumos
	2. Aprovechar colaboraciones estratégicas para optimizar estaciones de trabajo y jornadas	2. Modernizar el layout para competir de manera más efectiva frente a rivales
	3. Rediseñar el layout para mejorar la eficiencia operativa y aprovechar la constancia de la demanda	3. Diseñar planes específicos para aumentar la utilización de recursos y mantener la competitividad

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### **Fortalezas para aprovechar las oportunidades (FO)**

- FO1. La línea de producción es clave para los ingresos de Medical Devices y su impacto en salvar vidas le da un posicionamiento estratégico en el mercado. Esto facilita y justifica la aprobación de inversiones en el rediseño del *layout*.
- FO2. Medical Devices cuenta con estabilidad financiera, lo que permite realizar inversiones estratégicas y la implementación de mejoras sin afectar operaciones esenciales.
- FO3. Aprovechar colaboraciones con expertos en diferentes campos y departamentos técnicos para el diseño del *layout*, lo cual posibilita acelerar las mejoras operativas y tener un resultado eficiente para la línea.

### **Fortalezas para reducir las amenazas (FA)**

- FA1. La capacitación constante del personal es clave para adaptarse a las presiones del mercado y contrarrestar la pérdida de competitividad. Aprovechar el recurso humano capacitado ayuda a implementar rápidamente mejoras en el *layout* y en la optimización de las jornadas laborales.
- FA2. La compañía puede reforzar su posicionamiento destacando la calidad y el impacto positivo del producto en la salud.
- FA3. Para mitigar el riesgo del incremento de insumos, es clave diversificar proveedores, renegociar contratos y optimizar los recursos actuales.

### **Superar debilidades aprovechando las oportunidades (DO)**

- DO1. Al rediseñar el *layout*, se eliminan desplazamientos innecesarios y se mejora la eficiencia de las estaciones de trabajo, lo cual contribuye directamente a la mejora del rendimiento operativo.
- DO2. Trabajar con expertos en gestión de procesos y *layouts* permite identificar las mejores soluciones para optimizar el uso de las estaciones de trabajo y recursos humanos.
- DO3. La demanda proyectada estable brinda una excelente oportunidad para implementar mejoras sostenibles.

## **Reducir debilidades para evitar amenazas (DA)**

- DA1. Ante la amenaza del incremento en los costos de insumos, es fundamental implementar controles estrictos en el uso de materiales y recursos. Esto incluye la reducción de desperdicios, una mejor planificación del recurso humano y estrategias de ahorro en la línea de producción.
- DA2. El rediseño del *layout* facilita optimizar el proceso productivo al reducir costos y mejorar la eficiencia. Así, al competir con costos bajos y alta eficiencia, la compañía puede responder mejor a las exigencias del mercado.
- DA3. Es necesario implementar planes que maximicen el uso de los recursos humanos y estaciones de trabajo en ambas jornadas, para reducir el tiempo ocioso y aumentar la eficiencia operativa.

La matriz FODA identifica estrategias clave para aprovechar las fortalezas, con el propósito de implementar mejoras en el *layout* y reducir los costos operativos. Al respecto, abarca tanto las debilidades como las ineficiencias en el proceso.

Asimismo, frente a amenazas como el incremento en los costos de insumos, las estrategias propuestas destacan la importancia de la estabilidad financiera y la capacidad de adaptación para mantener la competitividad. En conclusión, esta matriz ofrece un marco claro para guiar la toma de decisiones estratégicas y lograr mejoras sostenibles en la línea de producción.

### **4.1.4 Diagrama SIPOC**

Para analizar el proceso productivo de la línea de producción de Medical Devices y evaluar las áreas de oportunidad, se utiliza la herramienta SIPOC. Este diagrama permite identificar y documentar los principales elementos del proceso: proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes.

El objetivo de este análisis es visualizar de manera estructurada cómo interactúan estos elementos en el flujo productivo, desde los insumos iniciales hasta la entrega del producto final al cliente final de la línea.

A continuación, se indica el diagrama para el proceso:

Figura 4.2: Diagrama SIPOC

PROVEEDOR	ENTRADA	PROCESO	SALIDA	CLIENTE
1- Suplidor externo	1- Materia Prima	Proceso C1	Unidad final del P. C1	Proceso C2
1- Suplidor externo 2- Proceso C1	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C1	Proceso C2	Unidad final del P. C2	Proceso C3
1- Suplidor externo 2- Proceso C2	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C2	Proceso C3	Unidad final del P. C3	Proceso C4
1- Suplidor externo 2- Proceso C3	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C3	Proceso C4	Unidad final del P. C4	Proceso C5
1- Suplidor externo 2- Proceso C4	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C4	Proceso C5	Unidad final del P. C5	Proceso C6
1- Suplidor externo 2- Proceso C5	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C5	Proceso C6	Unidad final del P. C6	Proceso B1
1- Suplidor externo	1- Materia Prima	Proceso A1	Unidad final del P. A1	Proceso A2
1- Suplidor externo 2- Proceso A1	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. A1	Proceso A2	Unidad final del P. A2	Proceso A3
1- Suplidor externo 2- Proceso A2	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. A2	Proceso A3	Unidad final del P. A3	Proceso A4
1- Suplidor externo 2- Proceso A3	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. A3	Proceso A4	Unidad final del P. A4	Proceso A5
1- Suplidor externo 2- Proceso A4	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. A4	Proceso A5	Unidad final del P. A5	Proceso B5
1- Suplidor externo 2- Proceso C6	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. C6	Proceso B1	Unidad final del P. B1	Proceso B2
1- Suplidor externo 2- Proceso B1	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. B1	Proceso B2	Unidad final del P. B2	Proceso B3
1- Suplidor externo 2- Proceso B2	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. B2	Proceso B3	Unidad final del P. B3	Proceso B4
1- Suplidor externo 2- Proceso B3	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. B3	Proceso B4	Unidad final del P. B4	Proceso B5
1- Suplidor externo 2- Proceso B4 3- Proceso A5	1- Materia Prima 2- Unidad final del P. B4 3- Unidad final del P. A5	Proceso B5	Unidad final del P. B5	Inspección de Calidad
1- Proceso B5	1- Unidad final del P. B5	Inspección de Calidad	Unidad inspeccionada por calidad	Proceso B6
1- Suplidor externo 2- Inspección de Calidad	1- Materia Prima 2- Unidad inspeccionada por calidad	Proceso B6	Unidad final del P. B6	Área de empaque

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El diagrama SIPOC proporciona una visión integral del proceso productivo de la línea de Medical Devices, lo que posibilita determinar los elementos críticos y sus interrelaciones. A partir del análisis, se destacan las siguientes observaciones y detalles clave:

## **1. Proveedores**

El flujo y los diferentes procesos inician con dos tipos principales de proveedores, según el proceso que aplique:

- **Suplidores externos:** responsables de proveer la materia prima inicial. Esta materia prima constituye la base sobre la cual se realizan transformaciones en cada etapa del proceso.
- **Procesos internos anteriores:** estos transfieren las unidades ya trabajadas de subprocesos previos, lo cual crea un encadenamiento continuo en el flujo, donde la salida de un proceso se convierte en la entrada de otro y en su cliente interno.

## **2. Entradas**

Las entradas identificadas en el diagrama incluyen:

- **Materia prima externa:** punto de partida esencial para los subensambles.
- **Unidades trabajadas:** estas son transferidas entre procesos consecutivos. Cada unidad que avanza a un proceso posterior incorpora valor adicional mediante modificaciones o ensamblajes.
- **Subensambles previos:** existen dos grandes subensambles: subensamble A (procesos A1-A5) y subensamble C (procesos C1-C6), los mismos convergen más adelante en el proceso B.

Esto evidencia la complejidad del sistema, al requerir la sincronización precisa entre subprocesos para evitar retrasos o cuellos de botella.

## **3. Procesos**

El flujo del proceso está compuesto por una secuencia de procesos, subdividida en tres bloques principales:

- **Ensamble C (C1-C6):** este bloque representa un flujo de procesos consecutivos que transforman la materia prima inicial y alimentan al proceso B1.

- Ensamble A (A1-A5): similar al subensamble C, este bloque realiza transformaciones progresivas sobre la materia prima para finalmente alimentar al proceso B5.
- Ensamble B (B1-B6): aquí ocurre la convergencia de los subensambles A y C, lo que permite la finalización de la unidad.

#### **4. Salidas**

Las salidas corresponden a las unidades finales producidas en cada proceso y representan las entradas en etapas posteriores:

- Cada proceso tiene una unidad final transformada que fluye al siguiente proceso.
- La inspección de Calidad desempeña un papel fundamental, ya que verifica las unidades producidas en el proceso B5 antes de enviarlas al último proceso (B6).
- Finalmente, el producto sale de la línea de producción con destino al área de empaque.

#### **5. Clientes**

Con respecto a los clientes del proceso:

- El cliente final del proceso productivo es el Área de Empaque, la cual opera de forma independiente del flujo analizado.
- A nivel interno del flujo, cada proceso tiene como cliente al proceso subsiguiente.

##### **4.1.5 Análisis de stakeholders**

Con la intención de garantizar el éxito de las iniciativas que se generan en la investigación, se debe realizar una evaluación de *stakeholders* para determinar los actores clave involucrados y analizar su influencia, interés y nivel de impacto en el proyecto.

Esta evaluación permite comprender las necesidades, expectativas y preocupaciones de cada *stakeholder*, desde el Departamento de Producción hasta las áreas externas, de

soporte y administrativas. Cabe recalcar que se utiliza una escala del 1 al 10 para evaluar las variables de influencia e interés en la implementación de la propuesta.

Basándose en el rol y la participación de cada una de las partes involucradas en el proyecto, se muestra la siguiente tabla con los criterios y el tipo de *stakeholder* contemplado para la valoración de estos:

Tabla 4.3: Criterios para evaluar los stakeholders

Tipo	Características
Opositor	Indispensable, reacción opuesta
Opositor relevante	Indispensable, reacción opuesta y poder alto
Indiferente	No es necesaria su participación, es neutral
Cooperante	Indispensable su participación y entusiasta del proyecto
Cooperante relevante	Indispensable su participación, entusiasta del proyecto y poder alto

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según el criterio técnico del investigador y las características de cada tipo de *stakeholder*, se lleva a cabo una evaluación de todas las partes interesadas mencionadas y que se involucran en el proyecto.

Al considerar aspectos como el interés, el nivel de poder y las expectativas de estas partes interesadas dentro de la implementación del proyecto, se hace una clasificación de los *stakeholders*. Así, para la característica de interés, se contempla el nivel de impacto y motivación hacia el proyecto; con respecto al nivel de poder, se evalúa la influencia y autoridad en la gestión; referente a las expectativas sobre el proyecto, se toma en cuenta el grado de cooperación y la reacción actual frente a la implementación. Estos factores se categorizan como alto, medio o bajo, según corresponda. Esta valoración se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4.4: Valoración de Stakeholders según sus Características

Stakeholder	Interés		Poder		Expectativas		Categorización
	Impacto por parte del proyecto	Motivación hacia el proyecto	Influencia sobre el proyecto	Autoridad sobre el proyecto	Cooperación requerida	Reacción hacia al proyecto	
	1. Bajo (B)	1. Bajo (B)	1. Bajo (B)	1. Bajo (B)	1. No necesaria (NN)	1. Oponente (O)	
	2. Medio (M)	2. Medio (M)	2. Medio (M)	2. Medio (M)	2. Necesaria (N)	2. Neutra (N)	
3. Alto (A)	3. Alto (A)	3. Alto (A)	3. Alto (A)	3. Indispensable (I)	3. Entusiasta (E)		
Planeador de producción	A	M	M	B	N	N	Cooperante
Supervisor de producción	A	M	A	A	I	N	Cooperante relevante
Gerente de producción	A	A	A	A	I	E	Cooperante relevante
Supervisor de mantenimiento	M	B	A	A	I	N	Cooperante
Supervisor de calibraciones	M	B	A	A	I	N	Cooperante
Gerente de salud ocupacional	B	B	M	M	I	N	Indiferente
Supervisor de calidad	M	B	M	B	N	E	Indiferente
Encargado de facilidades	B	B	A	M	N	N	Indiferente
Gerente general	M	A	A	A	N	E	Cooperante relevante
Encargado de finanzas	A	A	A	M	N	E	Cooperante relevante

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La valoración anterior de las características de los diferentes *stakeholders* involucrados en el proyecto evidencia una clara posición relevante por parte por parte del gerente de producción, el supervisor de producción, el gerente general y el encargado de finanzas; mientras que otros roles como el gerente de salud ocupacional, el supervisor de calidad y el encargado de facilidades mantienen una posición indiferente. Por último, hay posiciones que son requeridas para poder llevar a cabo el proyecto, las cuales deben involucrarse, pero con un menor grado de relevancia, estas son el planeador de producción, el supervisor de mantenimiento y el supervisor de calibraciones.

Tomando como base el análisis anterior y el criterio del investigador, a continuación se presenta la evaluación de los *stakeholders* asociados al proyecto:

Tabla 4.5: Evaluación de stakeholders

Persona de interés	Influencia	Interes
Planeador de producción	5	7
Supervisor de producción	8	9
Gerente de producción	9	9
Supervisor de mantenimiento	10	5
Supervisor de calibraciones	8	5
Gerente de salud ocupacional	6	4
Supervisor de calidad	7	4
Encargado de facilidades	8	2
Gerente general	10	7
Encargado de finanzas	6	9

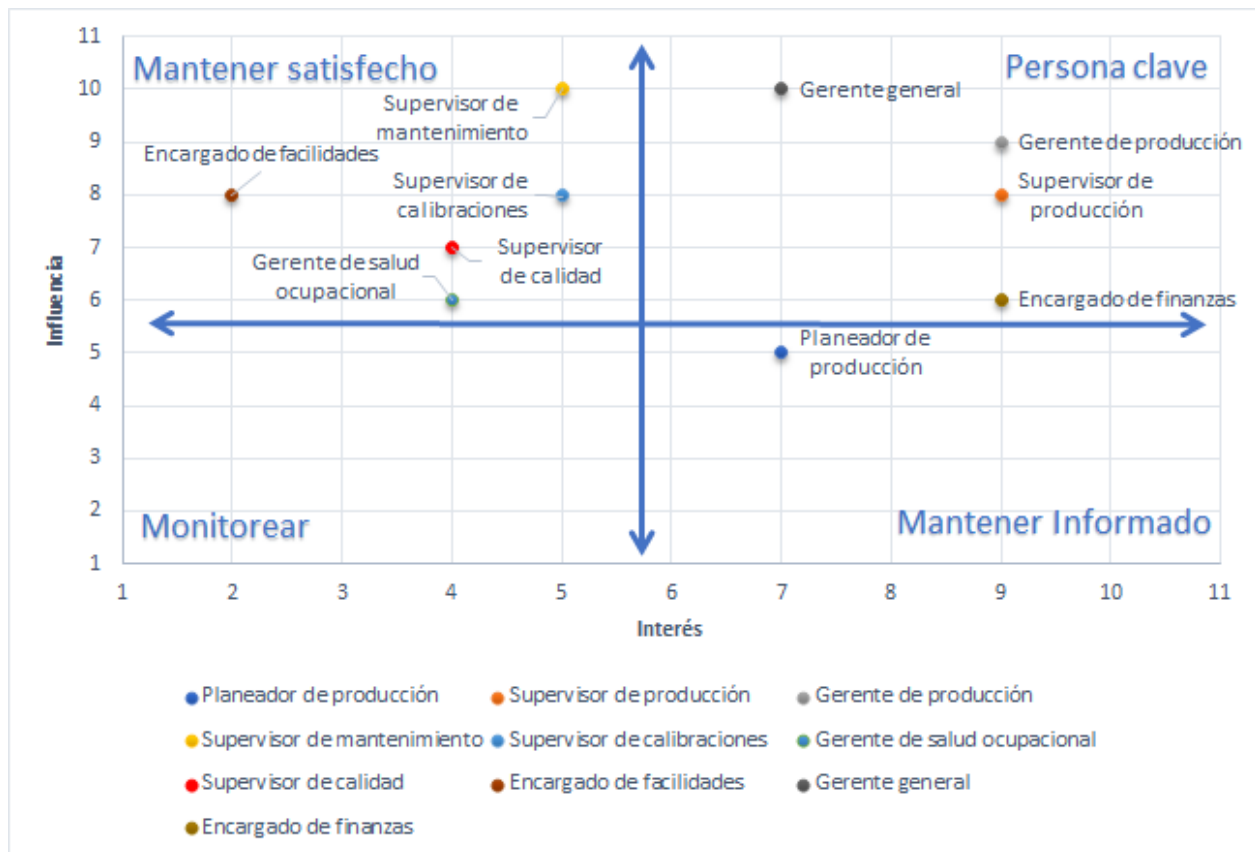
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se visualiza en la tabla anterior, la lista de interesados en la propuesta formulada en este trabajo es la siguiente:

- Planeador de producción.
- Supervisor de producción.
- Gerente de producción.
- Supervisor de mantenimiento.
- Supervisor de calibraciones.
- Gerente de salud ocupacional.

- Supervisor de calidad.
- Encargado de facilidades.
- Gerente general.
- Encargado de finanzas.

Figura 4.3: Matriz de stakeholders



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Después de analizar los resultados del análisis de *stakeholders*, se establece la siguiente información para esta investigación:

### Personas clave

Son actores esenciales para la toma de decisiones y la asignación de recursos. Por lo tanto, la gerencia de producción, el gerente general, los supervisores de producción y Finanzas deben incluirse en todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta la implementación, ya que su influencia e interés son decisivos.

### **Mantener satisfechos**

Se refiere a *stakeholders* con alta influencia, pero menor interés, como el supervisor de mantenimiento, el supervisor de calibraciones, el gerente de salud ocupacional, el supervisor de calidad y el encargado de facilidades. El apoyo y participación de estos es fundamental para evitar resistencias en sus áreas de responsabilidad.

### **Mantener informados**

Son *stakeholders* con menor influencia, pero alto interés, tal es el caso del planeador de producción, a quien es vital mantener actualizado y al tanto, pues su interés puede traducirse en apoyo operativo.

### **Monitorear**

No se determinan *stakeholders* que se ubiquen en esta sección.

### **Estrategias de comunicación y colaboración**

Se debe mantener a los *stakeholders* satisfechos e informados y consultárseles, especialmente en relación con aspectos técnicos y operativos, para asegurar su respaldo. Aunque algunos *stakeholders* tienen menor influencia e interés, su rol en actividades específicas puede ser crítico para evitar retrasos o errores.

Este análisis optimiza la gestión de *stakeholders* al priorizar esfuerzos en aquellos con una mayor capacidad para impulsar los objetivos del proyecto, mientras se garantiza un nivel adecuado de monitoreo para los demás.

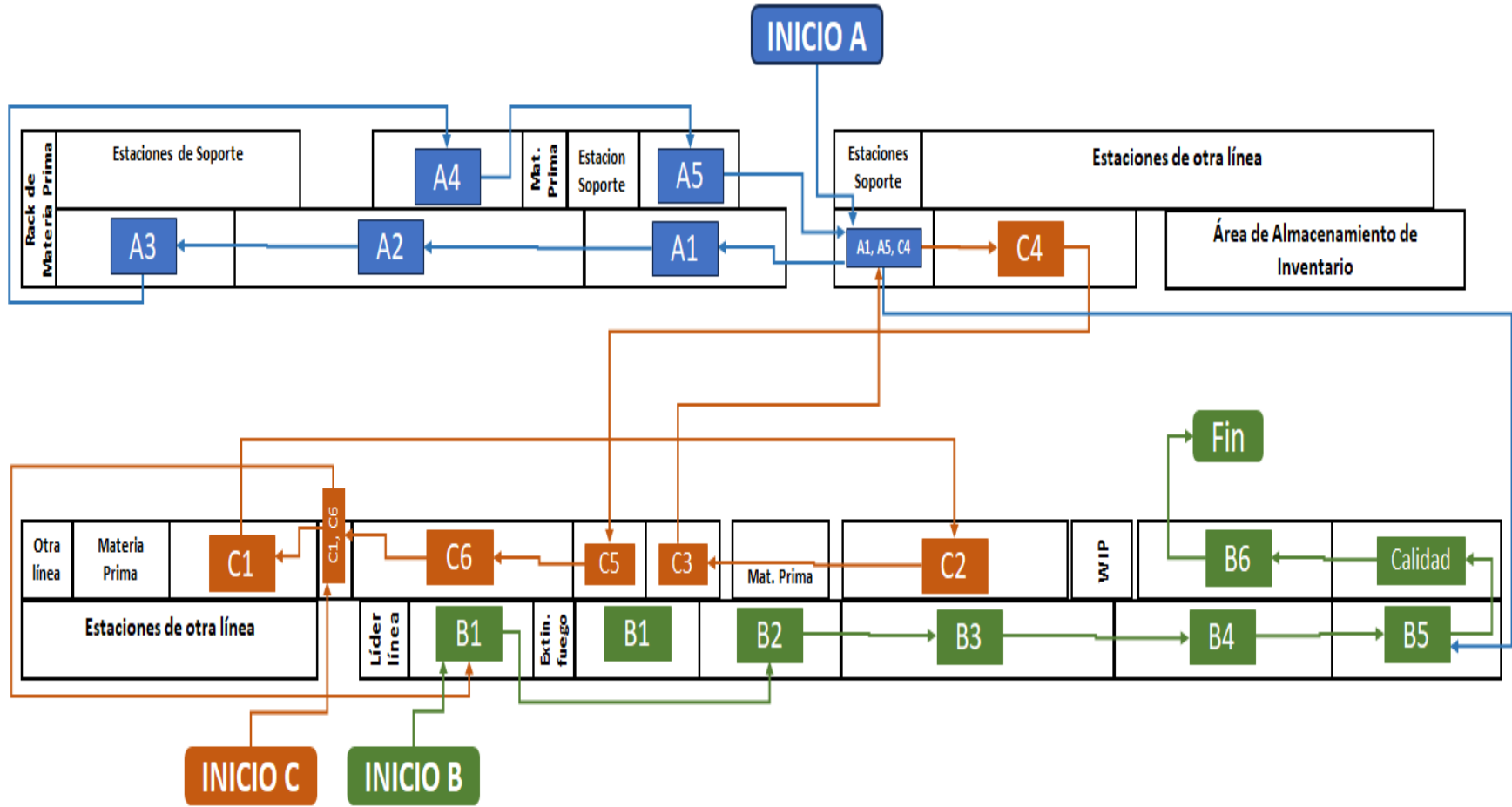
Esto demuestra que el éxito del proyecto depende de una gestión que implica alinear intereses, expectativas y niveles de influencia para lograr los objetivos de eficiencia y reducción de costos en la línea de producción.

#### **4.1.6 Diagrama de espagueti**

El diagrama de espagueti proporciona una representación visual del flujo actual, en cuanto a movimientos y procesos dentro de la línea de producción de Medical Devices. Este enfoque es clave para identificar desplazamientos innecesarios, áreas de alto tráfico y posibles ineficiencias en la disposición de las estaciones de trabajo.

Al analizar este diagrama, se busca entender cómo el diseño del *layout* contribuye a la falta de eficiencia del proceso, con el fin de identificar oportunidades para optimizar los recorridos y reducir el desperdicio operativo.

Figura 4.4: Diagrama de espagueti



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El análisis del diagrama de espagueti evidencia los desplazamientos extensos e innecesarios que actualmente afectan la línea de producción de Medical Devices al generar ineficiencias operativas importantes. Con un recorrido total de 247.69 metros por lote, es evidente que la disposición actual del *layout* no facilita un flujo eficiente de materiales y personal.

Uno de los hallazgos más significativos es la identificación de zonas clave donde se concentran los mayores problemas de desplazamiento. El área ubicada frente y a la izquierda del proceso C4 se convierte en un punto crítico, ya que desde allí se originan movimientos recurrentes hacia estaciones de los ensambles A y C. Estos desplazamientos prolongados no solo incrementan el tiempo de ciclo, sino que también crean cruces innecesarios de flujos, lo cual puede ocasionar congestión y retrasos.

Esta acumulación de flujos que afectan el rendimiento operativo de la línea y los flujos cruzados que se presentan en puntos relevantes evidencian la falta de un orden lógico y continuo en el manejo del material y el desplazamiento del personal. La anterior situación aumenta el desgaste físico de los operadores y eleva la ineficiencia operativa.

#### **4.1.6.1 Desglose de recorridos en la línea**

Después de llevar a cabo el mapeo de los traslados en la línea y plasmarlos en el diagrama de espagueti, se realiza la medición de la distancia de cada uno de los traslados entre las estaciones de trabajo. A continuación, se muestra el desglose de cada uno de los traslados que aplican para la línea y su respectiva magnitud.

Tabla 4.6: Desglose de los recorridos en la línea

Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida
Traslado 1.1	Proceso B1	Proceso B2	8.37 m
Traslado 1.2	Proceso B2	Proceso B3	7.49 m
Traslado 1.3	Proceso B3	Proceso B4	7.85 m
Traslado 1.4	Proceso B4	Proceso B5	5.42 m
Traslado 1.5	Proceso B5	Inspección de Calidad	12.27 m
Traslado 1.6	Inspección de Calidad	Proceso B6	4.88 m
<b>Total Ensamble B</b>			<b>46.28 m</b>
Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida
Traslado 2.1	Inspección A1/A5/C4	Proceso A1	7.38 m
Traslado 2.2	Proceso A1	Proceso A2	11.27 m
Traslado 2.3	Proceso A2	Proceso A3	6.83 m
Traslado 2.4	Proceso A3	Proceso A4	21.81 m
Traslado 2.5	Proceso A4	Proceso A5	7.28 m
Traslado 2.6	Proceso A5	Inspección A1/A5/C4	8.92 m
Traslado 2.7	Inspección A1/A5/C4	Proceso B5	29.69 m
<b>Total Ensamble A</b>			<b>93.18 m</b>
Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida
Traslado 3.1	Equipo de Fusión C1/C6	Proceso C1	4.15 m
Traslado 3.2	Proceso C1	Proceso C2	26.34 m
Traslado 3.3	Proceso C2	Proceso C3	10.97 m
Traslado 3.4	Proceso C3	Inspección A1/A5/C4	6.73 m
Traslado 3.5	Inspección A1/A5/C4	Proceso C4	6.76 m
Traslado 3.6	Proceso C4	Proceso C5	15.73 m
Traslado 3.7	Proceso C5	Proceso C6	4.73 m
Traslado 3.8	Proceso C6	Equipo de Fusión C1/C6	4.15 m
Traslado 3.9	Equipo de Fusión C1/C6	Proceso B1	28.67 m
<b>Total Ensamble C</b>			<b>108.23 m</b>
<b>Total</b>			<b>247.69 m</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

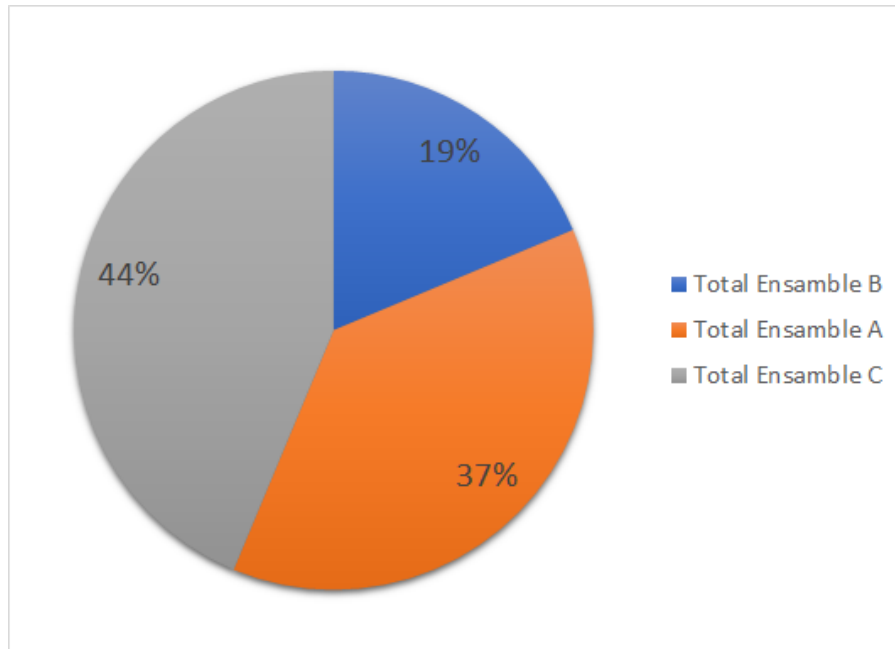
A partir de la tabla anterior, se obtienen varios puntos por considerarse:

- Existen variaciones importantes en las distancias recorridas entre estaciones de cada operación.
- Tomando en cuenta los resultados de las distancias y analizando el diagrama de espagueti, se evidencia que el ensamble B tiene menos distancia recorrida entre procesos. La razón por la cual puede suceder esto es que las estaciones poseen una distribución más lineal, pues tienen la siguiente estación a la par, así se evitan cruces en el flujo.
- Aunque no es el ensamble con mayor distancia acumulada, el traslado con la mayor magnitud se encuentra en el ensamble A, con 29.69 metros.

- El ensamble con mayor oportunidad de mejora en cuanto a distancia recorrida es el ensamble C, ya que por unidad se recorren 108.23 metros. Este ensamble junto con el ensamble A representan el mayor porcentaje de traslados en la línea.

El siguiente gráfico circular ayuda a visualizar lo mencionado:

Figura 4.5: Transportes requeridos por ensamble



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se aprecia en el gráfico anterior, el ensamble C evidencia un 37 % de los traslados en la línea y junto con el ensamble A suman un total del 81 % de la distancia recorrida entre las estaciones de todo el proceso.

#### 4.1.7 Matriz de relaciones de los procesos

Empleando como base el mapeo del flujo del proceso de la línea de producción previamente realizado y considerando la dependencia existente entre los procesos, así como los clientes directos entre estos, se genera una matriz de relaciones entre los procesos. De esta forma, se obtiene de manera visual el grado de interacción entre las distintas estaciones que comprenden la línea, lo que facilita el análisis de secuencias críticas y genera posibles mejoras en la disposición de estas.

La clasificación empleada dentro de la matriz, según la relación entre los procesos, se hace considerando 3 criterios diferentes, estos se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.7: Criterios para la matriz de relaciones

<b>1. Tipo de relación de cliente para los procesos (C1)</b>	
Cliente directo	3 puntos
Cliente indirecto	1 puntos
<b>2. Existen equipos o estaciones compartidas entre los procesos (C2)</b>	
Con equipos compartidos	3 puntos
Sin equipos compartidos	1 puntos
<b>3. Los procesos pertenecen al mismo ensamble (C3)</b>	
Mismo ensamble	3 puntos
Diferente ensamble	1 puntos

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se exponen los valores asignados en cada característica para las relaciones existentes entre los procesos de toda la línea. Esta información se emplea como insumo para la elaboración de la matriz de relaciones.

Tabla 4.8: Resultados de los criterios para la matriz de relaciones

Operación	Proc. A1			Proc. A2			Proc. A3			Proc. A4			Proc. A5			Proc. B1			Proc. B2			Proc. B3			Proc. B4			Proc. B5			Calidad			Proc. B6			Proc. C1			Proc. C2			Proc. C3			Proc. C4			Proc. C5			Proc. C6		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Proceso A1				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Proceso A2	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Proceso A3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso A4	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso A5	1	3	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1			
Proceso B1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1			
Proceso B2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso B3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso B4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso B5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Insp. Calidad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso B6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Proceso C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3			
Proceso C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3			
Proceso C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3	1	1	3						
Proceso C4	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3	1	1	3			
Proceso C5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3				3	1	3			
Proceso C6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	3	1	1	3	1	1	3	3	1	3						

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Después de concluir la valoración para cada una de las condiciones evaluadas en el ejercicio de las relaciones de los procesos, se tabulan las sumatorias de cada relación. Estos resultados se clasifican siguiendo el código de color mostrado a continuación:

Tabla 4.9: Valores y código de color para la matriz de relaciones

Relación	Color/Valoración
Baja	3
Media	5
Alta	7

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Seguidamente, se aprecian las valoraciones totales tabuladas para todas las relaciones entre los diferentes procesos:

Tabla 4.10: Criterios para la matriz de relaciones

Operación	Proc A1	Proc A2	Proc A3	Proc A4	Proc A5	Proc B1	Proc B2	Proc B3	Proc B4	Proc B5	Calidad	Proc B6	Proc C1	Proc C2	Proc C3	Proc C4	Proc C5	Proc C6
Proceso A1		7	5	5	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3
Proceso A2	7		7	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Proceso A3	5	7		7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Proceso A4	5	5	7		7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Proceso A5	7	5	5	7		3	3	3	3	5	3	3	3	3	3	5	3	3
Proceso B1	3	3	3	3	3		7	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	5
Proceso B2	3	3	3	3	3	7		7	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Proceso B3	3	3	3	3	3	5	7		7	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Proceso B4	3	3	3	3	3	5	5	7		7	5	5	3	3	3	3	3	3
Proceso B5	3	3	3	3	5	5	5	5	7		7	5	3	3	3	3	3	3
Insp. Calidad	3	3	3	3	3	5	5	5	5	7		7	3	3	3	3	3	3
Proceso B6	3	3	3	3	3	5	5	5	5	5	7		3	3	3	3	3	3
Proceso C1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		7	5	5	5	7
Proceso C2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7		7	5	5	5
Proceso C3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	7		7	5	5
Proceso C4	5	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	5	5	7		7	5
Proceso C5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	7		7
Proceso C6	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	7	5	5	5	7	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se presenta la matriz de relaciones entre los procesos de la línea de una forma más resumida y cumpliendo el código de color explicado con anterioridad:

Tabla 4.11: Matriz de relaciones de los procesos

Sistema	Ensamble	Operación	Relación
Línea de Producto X	Ensamble A	Proceso A1	
		Proceso A2	
		Proceso A3	
		Proceso A4	
		Proceso A5	
	Ensamble B	Proceso B1	
		Proceso B2	
		Proceso B3	
		Proceso B4	
		Proceso B5	
		Inspección de Calidad	
		Proceso B6	
	Ensamble C	Proceso C1	
		Proceso C2	
		Proceso C3	
		Proceso C4	
		Proceso C5	
		Proceso C6	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la matriz se identifica que los procesos dentro de cada ensamble poseen un orden y una relación intensa con los procesos que se ubican uno tras otro en esta secuencia, debido a que cada proceso posterior dentro del mismo ensamble se considera como el cliente directo del proceso previo; por esa razón, su relación se clasifica como una relación alta con respecto a otros procesos.

El proceso C4 posee otras 2 relaciones importantes, a saber, con el proceso A1 y el A5, igual sucede entre los procesos A1 y A5 como tales, porque una parte de estos 3 procesos se ejecuta en un equipo ubicado en una única estación, por lo tanto, comparten esta misma estación. De forma similar ocurre con los procesos C1 y C5, los cuales

comparten un mismo equipo, por eso su relación es tan alta a nivel de flujo y proceso como tal.

Por otro lado, hay dos relaciones de procesos que no se encuentran dentro del mismo ensamble, pero también se consideran como relaciones significativas. El motivo de esto es que uno de los procesos es cliente directo del otro, por consiguiente, la dependencia existe porque, al no contar con el producto del proceso previo, el proceso dependiente no puede iniciar operaciones. Estas relaciones son las presentes entre el proceso B1 con el C6 y el A5 con el B5.

Algunas otras relaciones con color naranja son aquellas que involucran los procesos que se encuentran más cercanos en el flujo del proceso, pero no son clientes directos uno del otro. Esto sucede entre relaciones de procesos del mismo ensamble.

Por último, las relaciones en color azul involucran procesos que prácticamente tienen una relación nula y pueden ejecutarse en paralelo, o bien, con mayor flexibilidad sin que sean afectados.

## **4.2 MEDIR**

En esta etapa se analiza una serie de información extraída de herramientas de diagnóstico cuantitativo y representación visual, con el objetivo de identificar y evaluar los elementos críticos del proceso productivo de la línea de Medical Devices que permiten definir la magnitud del problema abordado en esta investigación.

### **4.2.1 Análisis de costos**

El objetivo principal de la investigación es reducir el costo de producción unitario, por lo que el análisis de costos actual para el producto resulta primordial.

#### **4.2.1.1 Determinar el costo de la mano de obra directa e indirecta**

En primera instancia, se calcula el costo de la mano de obra directa (MOD) y la mano de obra indirecta (MOI). Al respecto, la mano de obra directa se refiere a las personas que tienen contacto directo con la producción de las unidades de la línea; en este caso, son los operarios de producción. Por otro lado, la mano de obra indirecta son las personas

que dan soporte al proceso, sin embargo, no modifican la materia prima ni agregan valor al producto.

La siguiente tabla muestra el detalle del costo de la mano de obra directa diaria y anual:

Tabla 4.12: Costos de la mano de obra directa

Turno	Cantidad Operadores	Horas Pagadas	Costo Hora Promedio	Costo Total Diario	Costo Anual (52 pagos)
Turno A	17	9.5	\$ 7.25	\$ 1,170.88	\$ 304,427.50
Turno B	17	9.5	\$ 7.25	\$ 1,170.88	\$ 304,427.50
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>\$ 14.50</b>	<b>\$ 2,341.75</b>	<b>\$ 608,855.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

1. Cantidad de operadores: la línea cuenta con 17 operarios por turno.
2. Horas pagadas: en el turno A se trabajan 9.5 horas por persona, pagadas como horas regulares; mientras que en el turno B se trabajan 8.5 horas, pero las últimas 2 horas son después de las 10:00 p.m. por lo cual se pagan 1.5 veces, esto da un total de 9.5 horas pagadas también en el turno B. La compañía labora de forma regular cinco días a la semana, tanto en el turno A como en el turno B.
3. Costo de la hora promedio: el costo por hora promedio de los operarios establecido en la compañía es de \$ 7.25, este valor toma en cuenta la variación entre los salarios de los diferentes operarios y rangos, así como los costos adicionales que implica la posición para la compañía, por ejemplo, subsidio de transporte, alimentación, entre otros; estos costos adicionales se encuentran diluidos entre las horas laboradas por cada operador.
4. Costo total diario: este es el dato total pagado por día considerando la cantidad de operadores, horas pagadas por operador y el costo por hora.
5. Costo anual: acá se muestra el costo anual de la MOD, tomando en cuenta los 52 pagos al año, es decir, un pago por semana.

El cálculo del costo de la MOI se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4.13: Costos de la mano de obra indirecta

Turno	Posición	Cantidad Personas	Horas Pagadas	Costo Hora Promedio	Costo Total Diario	Costo Anual (26 pagos)
Turno A	Supervisor Línea	1	9.5	\$ 14.50	\$ 137.75	\$ 35,815.00
	Ingeniero Manufactura	1	9.5	\$ 18.45	\$ 175.28	\$ 45,571.50
	Entrenador Línea	1	9.5	\$ 8.25	\$ 78.38	\$ 20,377.50
	Líder Línea	1	9.5	\$ 9.44	\$ 89.68	\$ 23,316.80
	Operador de Materiales	1	9.5	\$ 7.87	\$ 74.77	\$ 19,438.90
<b>Total Turno A</b>		<b>5</b>	<b>47.5</b>	<b>\$ 58.51</b>	<b>\$ 555.85</b>	<b>\$ 144,519.70</b>
Turno B	Supervisor Línea	1	9.5	\$ 14.50	\$ 137.75	\$ 35,815.00
	Ingeniero Manufactura	1	9.5	\$ 18.45	\$ 175.28	\$ 45,571.50
	Entrenador Línea	1	9.5	\$ 8.25	\$ 78.38	\$ 20,377.50
	Líder Línea	1	9.5	\$ 9.44	\$ 89.68	\$ 23,316.80
	Operador de Materiales	1	9.5	\$ 7.87	\$ 74.77	\$ 19,438.90
<b>Total Turno B</b>		<b>5</b>	<b>47.5</b>	<b>\$ 58.51</b>	<b>\$ 555.85</b>	<b>\$ 144,519.70</b>
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>95</b>	<b>\$ 117.02</b>	<b>\$ 1,111.69</b>	<b>\$ 289,039.40</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

1. Posición: es el desglose de posiciones que representan principalmente la mano de obra indirecta de la línea.
2. Cantidad de personas: por cada posición hay una única persona por turno.
3. Horas pagadas: establecidas de la misma forma que para la MOD.
4. Costo de la hora promedio: determinado de la misma forma que para la MOD; no obstante, en este caso varía el valor según la posición.
5. Costo total diario: establecido de la misma forma que para la MOD.
6. Costo anual: acá se muestra el costo anual de la MID, tomando en cuenta los 26 pagos al año, es decir, un pago cada 2 semanas.

El cálculo del costo de la MOD y MOI por unidad producida se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 4.14: Costos de MOD y MOI por unidad

Producción Diaria	Producción Anual (240 días efectivos)	Costo Anual MOD	Costo Anual MID	Costo MOD por unidad	Costo MID por unidad
40	9600	\$ 608,855.00	\$ 289,039.40	\$ 63.42	\$ 30.11

Fuente: Elaboración propia, 2025.

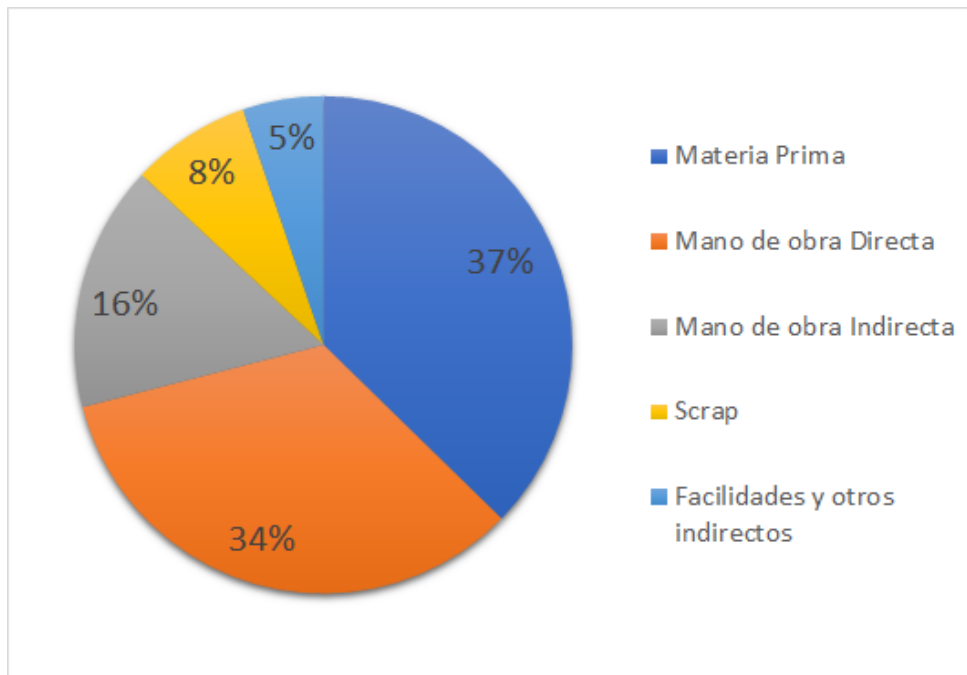
1. Producción diaria: la meta de producción diaria es de 40 unidades.

2. Producción anual: se producen 9600 unidades anuales, tomando en cuenta 240 días efectivos, es decir, un promedio de 20 días productivos al mes.
3. Costo anual MOD: es el dato obtenido anteriormente.
4. Costo anual MID: es el dato obtenido anteriormente.
5. Costo MOD por unidad: es el dato del costo anual del MOD dividido entre el total de unidades producidas en un año.
6. Costo MID por unidad: es el dato del costo anual del MID dividido entre el total de unidades producidas en un año.

#### 4.2.1.2 Desglose de los costos por unidad

A continuación, se presenta un gráfico circular que muestra la distribución de los costos por unidad producida. Este desglose permite notar el impacto de cada categoría realizada para los costos.

Figura 4.6: Gráfico circular de los costos por unidad



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El gráfico circular revela que la materia prima representa la porción más significativa del costo por unidad, este es de un 37 % del total (\$ 70.28). Seguido por la mano de obra

directa, que equivale al 34 % del total (\$ 63.42), y en tercer lugar la mano de obra indirecta, la cual implica un 16 % del costo total (\$ 30.11). Estos dos últimos tipos de costos suman un 50 % del total. Por lo tanto, la mano de obra es un área crítica para la optimización, ya que su reducción podría impactar de forma drástica y positiva la rentabilidad de la línea.

Finalmente, los costos asociados al *scrap* impactan en un 8 % (\$ 14.69); mientras que facilidades y otros indirectos son los más bajos, con solo un 5 % del total (\$ 9.88).

Este gráfico evidencia la necesidad de enfocarse en la mano de obra indirecta y directa como prioridad para disminuir el costo total por unidad, con el fin de mejorar la eficiencia y la rentabilidad del proceso productivo.

La siguiente tabla es un complemento del gráfico circular y funciona como soporte para respaldar la conclusión mencionada:

Tabla 4.15: Tabla de los costos por unidad

Tipo de Costo	Costo por Unidad	% del Costo Total
Materia Prima	\$ 70.28	37.31%
Mano de obra Directa	\$ 63.42	33.67%
Mano de obra Indirecta	\$ 30.11	15.98%
Scrap	\$ 14.69	7.80%
Facilidades y otros indirectos	\$ 9.88	5.24%
<b>Total</b>	<b>\$ 188.38</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Cabe señalar que los costos de materia prima, el costo del *scrap*, así como las facilidades y otros indirectos son datos estándar para este producto, los cuales ya se encuentran establecidos por la compañía.

#### 4.2.2 Indicadores de productividad

El cálculo de los índices de productividad permite evaluar la eficiencia que tiene cada uno de los diferentes tipos de insumos empleados para el proceso. Así, se determina la cantidad de unidades producidas por cada dólar invertido en cada uno de los distintos recursos determinados en la sección anterior.

La fórmula empleada para el cálculo del índice de productividad en cada uno de los insumos es la siguiente:

$$\text{índice de productividad materia prima} = \frac{1 \text{ (unidad)}}{\text{Costo unitario de materia prima } (\$70.28)}$$

Para el indicador de productividad total, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{índice de productividad} = \frac{1 \text{ (unidad)}}{\text{Costo total unitario } (\$188.38)}$$

En la siguiente tabla se aprecia el resultado de cada indicador de productividad por tipo de recurso y al final el índice de productividad total que contempla todos los insumos.

Tabla 4.16: Tabla de indicadores de productividad actuales

Tipo de Costo	Costo por Unidad	Índice de Productividad
Materia Prima	\$ 70.28	0.0142 unid / dolar\$
Mano de obra Directa	\$ 63.42	0.0158 unid / dolar\$
Mano de obra Indirecta	\$ 30.11	0.0332 unid / dolar\$
Scrap	\$ 14.69	0.0681 unid / dolar\$
Facilidades y otros indirectos	\$ 9.88	0.1012 unid / dolar\$
<b>Total</b>	<b>\$ 188.38</b>	<b>0.0053 unid / dolar\$</b>

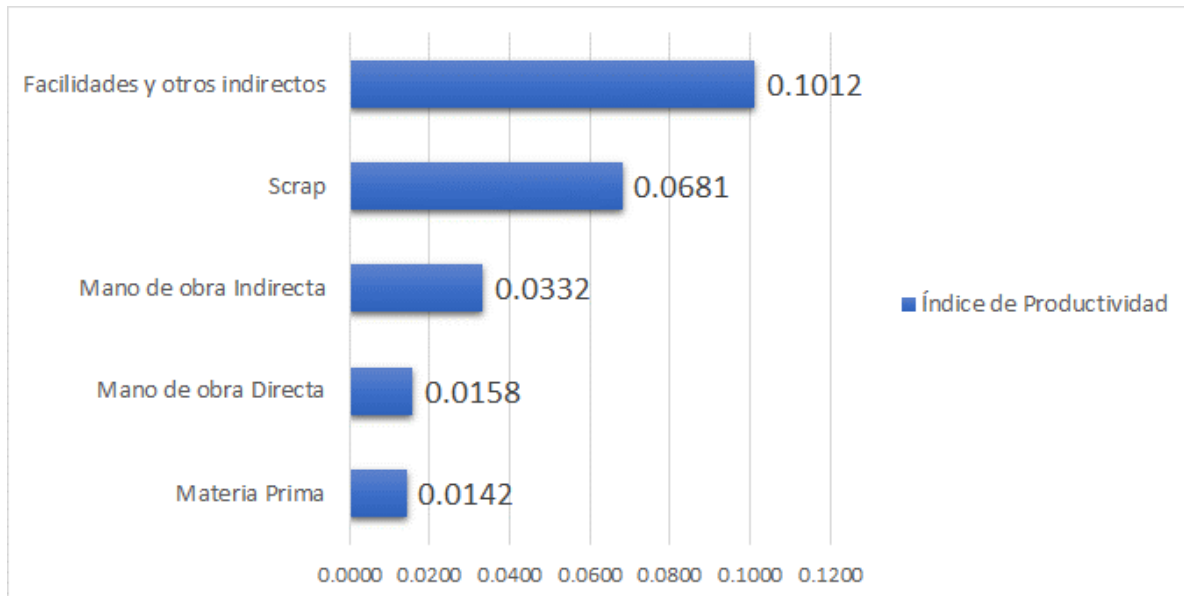
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Después de analizar los indicadores de productividad, se determina que, en primer lugar, la materia prima resulta el insumo de mayor costo, por lo que representa 0.0142 unidades por dólar en el índice de productividad. En segundo lugar, se encuentra la mano de obra directa con 0.0158 unidades por dólar invertido y, en tercer lugar, la mano de obra indirecta con 0.0332 unidades por dólar.

La finalidad principal del cálculo de estos indicadores es determinar el porcentaje de mejora en los costos al comparar los valores actuales contra los valores que se estimen para los índices de productividad al definir las estrategias de mejora. Esto tanto para los tipos de insumos donde ocurran reducciones de costos por unidad, así como para el

indicador de productividad total, el cual actualmente es de 0.0053 unidades por dólar invertido en el proceso.

Figura 4.7: Gráfico de los indicadores de productividad



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El gráfico anterior muestra los índices de productividad por cada dólar invertido en diferentes tipos de costos contemplados para la producción de cada unidad. De este modo, permite identificar cuáles contribuyen de una forma más eficiente al rendimiento del proceso.

El índice de productividad mayor corresponde al costo de facilidades y otros costos indirectos, con un valor de 0.1012 unidades por dólar. Lo anterior refleja que este tipo de costo es el más eficiente en el proceso, ya que se obtiene el mayor retorno en términos de unidades producidas por dólar en comparación con las demás categorías.

Por otro lado, los costos de mano de obra indirecta y directa, así como el costo de materia prima son los menos eficientes porque sus indicadores de productividad de proceso son los más bajos, por lo que estos costos representan la mayor oportunidad de reducción de costos.

### **4.2.3 Estudio de tiempos**

El propósito de este estudio es determinar la duración promedio de cada operación en los distintos procesos y establecer tiempos estándar que posibiliten una mejor planificación de la producción, asignación de recursos y balanceo de líneas.

El estudio se lleva a cabo mediante la toma de tiempos con cronómetro; también, se considera una muestra representativa para cada proceso, se aseguran condiciones regulares de trabajo y se emplean métodos estadísticos para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados.

#### **4.2.3.1 Tiempos observados por operario**

Se efectúa un muestreo de tiempos de ciclo en todos los procesos de la línea. Al respecto, en primera instancia se realizan 5 muestras por proceso para 3 operarios diferentes, denominados operario A, B y C, con el fin de establecer el operario promedio para cada operación. Cabe recalcar que estas muestras se llevan a cabo a lo largo de los dos turnos que posee la compañía. A continuación, se indica el desglose de tiempos para cada operario en cada proceso:

Tabla 4.17: Tabla de tiempos observados por operario

Operación	Tiempo Observado (min)																		Operario Seleccionado
	Muestra 1 (min)			Muestra 2 (min)			Muestra 3 (min)			Muestra 4 (min)			Muestra 5 (min)			Promedio (min)			
	Ope A	Ope B	Ope C	Ope A	Ope B	Ope C	Ope A	Ope B	Ope C	Ope A	Ope B	Ope C	Ope A	Ope B	Ope C	Ope A	Ope B	Ope C	
Proceso A1	17.73	22.39	17.49	21.32	18.26	20.25	19.70	19.35	17.22	17.75	21.08	17.93	18.30	19.03	17.57	18.96	20.02	18.09	Operario A
Proceso A2	28.06	26.98	24.42	26.47	25.07	28.15	30.26	25.70	25.90	26.32	28.82	23.06	30.52	29.63	26.38	28.33	27.24	25.58	Operario B
Proceso A3	15.35	14.98	13.84	14.27	16.58	14.12	14.73	15.47	13.70	14.90	14.87	13.86	13.83	15.21	12.45	14.62	15.42	13.59	Operario A
Proceso A4	18.98	18.58	18.02	20.44	18.43	17.88	19.48	18.55	17.25	21.95	18.90	17.77	20.41	20.14	18.93	20.25	18.92	17.97	Operario B
Proceso A5	13.35	12.95	14.72	13.37	13.32	14.15	13.85	12.60	14.40	14.77	14.33	15.95	14.02	12.97	14.77	13.87	13.23	14.80	Operario A
Proceso B1	14.48	14.54	13.99	13.28	15.14	11.95	14.42	16.10	12.03	14.52	16.39	13.21	13.22	14.61	13.03	13.98	15.36	12.84	Operario A
Proceso B2	7.48	8.08	6.73	6.77	7.20	6.16	6.65	7.12	6.18	6.48	7.75	6.01	6.68	7.01	6.57	6.81	7.43	6.33	Operario A
Proceso B3	14.90	12.42	12.73	14.29	12.17	13.23	16.57	15.15	15.78	15.33	13.84	14.88	13.49	11.46	13.80	14.92	13.01	14.08	Operario C
Proceso B4	16.83	15.65	17.84	14.95	14.00	16.44	15.02	13.67	15.77	15.22	13.90	15.55	16.63	15.80	17.46	15.73	14.60	16.61	Operario A
Proceso B5	4.88	5.54	4.15	4.87	5.08	5.72	5.28	5.42	4.20	4.93	5.21	4.48	6.02	6.38	4.68	5.20	5.53	4.65	Operario A
Inspección de Calidad	7.73	7.88	7.01	8.12	7.92	7.19	7.20	8.27	6.84	7.42	7.94	6.83	7.23	8.61	7.63	7.54	8.12	7.10	Operario A
Proceso B6	4.28	4.28	4.38	3.88	4.79	4.08	4.12	4.56	4.65	3.78	4.75	4.48	4.14	5.06	4.60	4.04	4.69	4.44	Operario C
Proceso C1	5.09	5.86	6.71	5.80	5.34	6.26	6.10	4.73	6.13	5.97	5.37	6.57	5.95	5.71	6.35	5.78	5.40	6.40	Operario A
Proceso C2	6.43	6.89	6.32	6.95	7.58	5.79	7.12	7.62	6.18	6.94	6.53	6.52	6.50	6.82	6.84	6.79	7.09	6.33	Operario A
Proceso C3	5.06	5.28	4.67	5.49	5.08	4.48	5.48	5.22	4.70	5.65	4.87	4.38	6.34	5.82	5.53	5.61	5.25	4.75	Operario B
Proceso C4	5.32	5.62	6.01	5.23	4.55	5.78	4.41	5.50	4.78	4.72	5.72	6.23	4.99	5.37	5.64	4.93	5.35	5.69	Operario B
Proceso C5	7.97	7.43	6.57	7.14	8.21	7.73	6.62	7.22	6.16	8.18	9.00	6.50	7.22	7.94	7.05	7.43	7.96	6.80	Operario A
Proceso C6	11.83	12.30	10.65	11.65	13.84	11.12	13.25	14.05	12.72	12.83	12.00	11.07	11.21	13.73	11.55	12.15	13.18	11.42	Operario A

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la tabla anterior, basándose en el promedio de los tiempos cronometrados para cada operario en cada proceso, se determina la persona ideal a quien se le debe realizar el estudio de tiempos. En cuanto a esto, se considera a la persona con el promedio de tiempos que representa la mediana entre los 3 operarios. Estos datos se resaltan con celeste en la tabla anterior.

En la siguiente tabla se observa un resumen de los operarios a quienes se les toma una muestra ampliada de 10 tiempos para determinar los tiempos observados en cada operación:

Tabla 4.18: Tabla resumen de los tiempos observados por operario

Operación	Operario Seleccionado
Proceso A1	Operario A
Proceso A2	Operario B
Proceso A3	Operario A
Proceso A4	Operario B
Proceso A5	Operario A
Proceso B1	Operario A
Proceso B2	Operario A
Proceso B3	Operario C
Proceso B4	Operario A
Proceso B5	Operario A
Inspección de Calidad	Operario A
Proceso B6	Operario C
Proceso C1	Operario A
Proceso C2	Operario A
Proceso C3	Operario B
Proceso C4	Operario B
Proceso C5	Operario A
Proceso C6	Operario A

Fuente: Elaboración propia, 2025.

#### 4.2.3.2 Tiempos observados

A cada uno de los operarios seleccionados en el análisis anterior se le hace un muestreo con 10 tomas de tiempos. De esta forma, se emplea esta muestra para establecer la

cantidad de muestras requeridas por proceso. Seguidamente, se calcula el promedio de los tiempos observados en estas 10 muestras:

Tabla 4.19: Tabla de tiempos observados (TO) para las operaciones de la línea

Operación	Op	Tiempo Observado (min)										Tiempo Observado Promedio (min)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Proceso A1	Op A	17.73	21.32	19.70	17.75	18.30	19.73	20.52	19.98	19.93	18.83	19.38
Proceso A2	Op B	26.98	25.07	25.70	28.82	29.63	28.27	29.64	26.87	25.28	30.63	27.69
Proceso A3	Op A	15.35	14.27	14.73	14.90	13.83	13.73	13.68	14.37	14.55	15.08	14.45
Proceso A4	Op B	18.58	18.43	18.55	18.90	20.14	19.55	18.88	17.88	21.58	18.37	19.09
Proceso A5	Op A	13.35	13.37	13.85	14.77	14.02	14.95	14.98	13.33	13.77	14.43	14.08
Proceso B1	Op A	14.48	13.28	14.42	14.52	13.22	13.00	13.67	14.38	14.72	13.15	13.88
Proceso B2	Op A	7.48	6.77	6.65	6.48	6.68	7.23	6.58	6.73	7.12	6.75	6.85
Proceso B3	Op C	12.73	13.23	15.78	14.88	13.80	15.39	14.55	14.12	15.22	15.46	14.52
Proceso B4	Op A	16.83	14.95	15.02	15.22	16.63	15.42	16.27	15.08	15.55	15.72	15.67
Proceso B5	Op A	4.88	4.87	5.28	4.93	6.02	5.15	5.08	4.68	5.33	5.42	5.16
Inspección de Calidad	Op A	7.73	8.12	7.20	7.42	7.23	7.67	8.13	7.28	7.82	7.48	7.61
Proceso B6	Op C	4.38	4.08	4.65	4.48	4.60	4.32	4.63	4.13	4.67	4.63	4.46
Proceso C1	Op A	5.09	5.80	6.10	5.97	5.95	6.12	5.52	5.43	6.27	5.87	5.81
Proceso C2	Op A	6.43	6.95	7.12	6.94	6.50	6.07	6.30	6.15	6.52	6.23	6.52
Proceso C3	Op B	5.28	5.08	5.22	4.87	5.82	5.17	5.65	4.92	5.20	5.57	5.28
Proceso C4	Op B	5.62	4.55	5.50	5.72	5.37	5.16	4.94	5.20	5.12	5.28	5.25
Proceso C5	Op A	7.97	7.14	6.62	8.18	7.22	6.93	6.53	7.57	7.78	7.86	7.38
Proceso C6	Op A	11.83	11.65	13.25	12.83	11.21	11.54	11.73	11.80	13.18	13.23	12.23

Fuente: Elaboración propia, 2025.

#### 4.2.3.3 Determinación de la muestra

Para cada uno de los 18 procesos de la línea, se realiza un estudio de tiempos con el fin de garantizar la fiabilidad y precisión de los resultados. Así, se utiliza la siguiente fórmula estadística para determinar el tamaño de la muestra en cada proceso:

$$n = \left( \frac{40\sqrt{n' * \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum(x)} \right)^2$$

Donde:

- $n'$  es la cantidad de muestras tomadas.
- $\sum x^2$  es la suma de todas las muestras al cuadrado.
- $\sum(x)$  es la suma de todas las muestras.

Respecto al estudio, se toman muestras de 3 operadores por proceso y se determina al operador promedio, con el propósito de reducir la variabilidad debido al desempeño individual y asegurar resultados más confiables y representativos. Este análisis permite registrar y evaluar los tiempos medidos en cada operación de la línea de producción. A continuación, se aprecia un ejemplo detallado del uso de la fórmula para uno los procesos:

$$n (\text{Proceso A}) = \left( \frac{40\sqrt{n' * \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum(x)} \right)^2$$

$$n (\text{Proceso A}) = \left( \frac{40\sqrt{10 * 3768 - (194)^2}}{194} \right)^2$$

$$n (\text{Proceso A}) = \left( \frac{40\sqrt{37683 - 37555}}{194} \right)^2$$

$$n (\text{Proceso A}) = \left( \frac{40 * 11.32}{194} \right)^2$$

$$n (\text{Proceso A}) = \left( \frac{452.61}{194} \right)^2$$

$$n (\text{Proceso A}) = 5.5 \rightarrow 6.0 \text{ redondeado hacia arriba}$$

El procedimiento planteado anteriormente se le realiza a cada uno de los procesos de la línea, de esta forma se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 4.20: Tabla de las muestras requeridas por operación

Operación	Op	Tiempo Observado Promedio (min)	$\Sigma(x)$ (min)	$\Sigma x^2$ (min)	Tamaño de la muestra	Tamaño de la Muestra Redondeado
Proceso A1	Op A	19.38	194	3768	5.5	6.00
Proceso A2	Op B	27.69	277	7702	7.4	8.00
Proceso A3	Op A	14.45	144	2091	2.3	3.00
Proceso A4	Op B	19.09	191	3653	4.6	5.00
Proceso A5	Op A	14.08	141	1987	3.2	4.00
Proceso B1	Op A	13.88	139	1932	3.5	4.00
Proceso B2	Op A	6.85	68	470	3.2	4.00
Proceso B3	Op C	14.52	145	2117	7.1	8.00
Proceso B4	Op A	15.67	157	2459	2.7	3.00
Proceso B5	Op A	5.16	52	268	7.8	8.00
Inspección de Calidad	Op A	7.61	76	580	2.9	3.00
Proceso B6	Op C	4.46	45	199	3.6	4.00
Proceso C1	Op A	5.81	58	339	5.6	6.00
Proceso C2	Op A	6.52	65	426	4.5	5.00
Proceso C3	Op B	5.28	53	279	5.0	6.00
Proceso C4	Op B	5.25	52	276	6.1	7.00
Proceso C5	Op A	7.38	74	548	8.8	9.00
Proceso C6	Op A	12.23	122	1500	6.2	7.00

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir de la tabla anterior, se concluye que las 10 muestras observadas por operación tomadas al operario correspondiente son suficientes para cada uno de los procesos, pues el proceso que requiere la mayor cantidad de muestras es el proceso C5, el cual necesita de 9 muestras para cumplir con el 95 % de la confiabilidad esperada.

#### 4.2.3.4 Aplicación de la tabla Westinghouse

Se emplea el sistema de valoración de tiempos Westinghouse, esta es una herramienta utilizada para determinar el tiempo de ciclo de los procedimientos. Por lo tanto, se evalúa la habilidad requerida del operador, el nivel de esfuerzo, las condiciones del proceso y la consistencia de cada una de las operaciones. La evaluación se lleva a cabo según la siguiente tabla:

Figura 4.8: Tabla del sistema de valoración Westinghouse

Sistema de valoración Westinghouse											
Habilidad						Esfuerzo					
+0.15	A1	Superhábil				+0.13	A1	Excesivo			
+0.13	A2	Superhábil				+0.12	A1	Excesivo			
+0.11	B1	Excelente				+0.10	B1	Excelente			
+0.08	B2	Excelente				+0.08	B2	Excelente			
+0.06	C1	Bueno				+0.05	C1	Bueno			
+0.03	C2	Bueno				+0.02	C2	Bueno			
0.0	D	Promedio				0.0	D	Promedio			
-0.05	E1	Regular				-0.04	E1	Regular			
-0.10	E2	Regular				-0.08	E2	Regular			
-0.16	F1	Pobre				-0.012	F1	Pobre			
-0.22	F2	Pobre				-0.17	F2	Pobre			
Condiciones						Consistencia					
+0.06	A	Ideal				+0.04	A	Perfecta			
+0.04	B	Excelente				+0.03	B	Excelente			
+0.02	C	Buena				+0.01	C	Buena			
0.0	D	Promedio				0.0	D	Promedio			
-0.03	E	Regular				-0.02	E	Regular			
-0.07	F	Pobre				-0.04	F	Pobre			

Fuente: Jananía, 2008.

A continuación, se presenta la valoración para los procesos de la línea según el sistema de evaluación Westinghouse:

Tabla 4.21: Tabla de tiempos normales (TN) para las operaciones de la línea

Operación	Operario	Tiempo Observado Promedio (min)	Habilidad	Esfuerzo	Condiciones	Consistencia	Total	Tiempo Normal (min)
Proceso A1	Operario A	19.38	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	19.97
Proceso A2	Operario B	27.69	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	28.52
Proceso A3	Operario A	14.45	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	14.89
Proceso A4	Operario B	19.09	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	19.66
Proceso A5	Operario A	14.08	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	14.51
Proceso B1	Operario A	13.88	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	14.31
Proceso B2	Operario A	6.85	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	7.06
Proceso B3	Operario C	14.52	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	14.96
Proceso B4	Operario A	15.67	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	16.14
Proceso B5	Operario A	5.16	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	5.32
Inspección de Calidad	Operario A	7.61	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	7.84
Proceso B6	Operario C	4.46	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	4.6
Proceso C1	Operario A	5.81	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	5.99
Proceso C2	Operario A	6.52	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	6.72
Proceso C3	Operario B	5.28	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	5.44
Proceso C4	Operario B	5.25	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	5.41
Proceso C5	Operario A	7.38	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	7.61
Proceso C6	Operario A	12.23	B2 0.08	E2 -0.08	C 0.00	B 0.03	0.03	12.6

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En relación con la evaluación Westinghouse, se efectúa un análisis para el que se visitan las diferentes estaciones de trabajo y, por medio de la observación de los procesos, se establece lo siguiente:

- **Habilidad:** se categoriza como excelente (B2) debido a que se requiere un cierto nivel de experiencia procesando en la industria de manufactura, preferiblemente médica, y poseer habilidades manuales en cualquiera de las operaciones.
- **Esfuerzo:** se categoriza como regular (E2) porque en todas las estaciones el trabajo no requiere levantar cargas o hacer un esfuerzo físico considerable ni constante, pero se debe realizar un esfuerzo mental básico.
- **Condiciones:** se categoriza como promedio (D) puesto que las condiciones en toda el área de trabajo son bastante óptimas y no hay alguna condición en especial que requiera mayor exigencia del operador.
- **Consistencia:** se categoriza como excelente (B) porque se espera una consistencia alta en el proceso para todas y cada una de las unidades.

Al utilizar los valores de las 4 variables de la tabla Westinghouse, se determina el tiempo normal para cada uno de los procesos. Así, se lleva a cabo el siguiente procedimiento en cada uno de los tiempos:

$$\text{Tiempo normal (TN)} = (TO) * (1 + \text{suma valores de cada variable Westinghouse})$$

$$TN (\text{proceso A1}) = (19.38 \text{ min}) * (1 + 0.08 - 0.08 + 0.00 + 0.03)$$

$$TN (\text{proceso A1}) = (19.38 \text{ min}) * (1.03)$$

$$TN (\text{proceso A1}) = 19.97 \text{ min}$$

#### **4.2.3.5 Aplicación de la tabla de suplementos**

Consecuentemente, se procede a definir los suplementos requeridos para cada uno de los procedimientos, según las condiciones y características de los procesos como tal. De este modo, se emplea la siguiente guía de suplementos:

Figura 4.9: Tabla de la guía de suplementos

REFERENCIA MÁS COMÚN PARA APLICAR SUPLEMENTOS					
<b>1. Suplementos constantes</b>			<b>E) Condiciones atmosféricas</b>		
	Hombres	Mujeres	Suplemento de Kata (milicalorías/Cm <sup>2</sup> /Seg)	Suplemento	
Necesidades personales	5	7	16	0	
Fátiga	4	4	14	0	
			12	0	
			10	3	
			8	10	
<b>2. Suplementos variables</b>			6	21	
A) Trabajar de pie	2	4	5	31	
			4	45	
B) Postura incomoda			3	64	
Ligeramente incomoda	0	1	2	100	
Incomoda	2	3			
Muy incomoda	7	7			
			<b>F) Concentración intensa</b>		
				Hombres	Mujeres
			Baja precisión	0	0
			De precisión o fatigosos	2	2
			Gran precisión o muy fatigosos	5	5
			<b>C) Uso de fuerza o energía muscular</b>		
			<b>G) Ruido</b>		
Peso levantado por Kg			Continuo	0	0
2.5	0	1	Intermitente y fuerte	2	2
5	1	2	Intermitente y muy fuerte	5	5
7.5	2	3	Estridente y fuerte		
10	3	4			
12.5	4	6	<b>H) Tensión mental</b>		
15	5	8	Proceso complejo	1	1
17.5	7	10	Atención dividida en varios objetos	4	4
20	9	13	Muy complejo	8	8
22.5	11	16			
25	13	20 (máx)	<b>I. Monotonía</b>		
30	17	---	Algo monótono	0	0
33.5	22	---	Bastante monótono	1	1
			Muy monótono	4	4
			<b>D) Mala iluminación</b>		
			<b>J) Tedio</b>		
Ligeramente deficiente	0	0	Algo aburrido	0	0
Bastante deficiente	2	2	Aburrido	2	1
Absolutamente insuficiente	5	5	Muy aburrido	5	2

Fuente: Jananía, 2008.

A continuación, se presenta la valoración para los procesos de la línea de acuerdo con la guía de suplementos utilizada:

Tabla 4.22: Tabla tiempos estándar (TE) para las operaciones de la línea

Operación	Tiempo Normal (min)	Suplementos Constantes		Suplementos Variables													Total	Tiempo Estandar (min)							
		Necesidades personales	Fatiga	Trabajar de Pie	Postura	Uso de Fuerza	Iluminación	Condiciones Atmosférica	Concentración	Ruido	Tensión Mental	Monotonía	Tedio												
Proceso A1	19.97	7	4	De pie	4	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Baja	0	Continuo	0	No	0	Poca	0	Aburrido	2	17	23.37
Proceso A2	28.52	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Bastante	1	Poco	0	15	32.80
Proceso A3	14.89	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	16.98
Proceso A4	19.66	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Alta	5	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	17	23.01
Proceso A5	14.51	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	16.55
Proceso B1	14.31	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	16.32
Proceso B2	7.06	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	8.05
Proceso B3	14.96	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	17.06
Proceso B4	16.14	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	18.40
Proceso B5	5.32	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	6.07
Inspección de Calidad	7.84	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Alta	5	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	17	9.18
Proceso B6	4.60	7	4	De pie	4	Comoda	0	7.5 Kg	3	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Baja	0	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	19	5.48
Proceso C1	5.99	7	4	De pie	4	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	18	7.07
Proceso C2	6.72	7	4	De pie	4	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Baja	0	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Aburrido	2	18	7.93
Proceso C3	5.44	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	6.21
Proceso C4	5.41	7	4	De pie	4	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Baja	0	Continuo	0	No	0	Poca	0	Aburrido	2	17	6.33
Proceso C5	7.61	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	8.68
Proceso C6	12.60	7	4	Sentado	0	Comoda	0	No	0	Adecuada	0	12 mcal cm2/seg	0	Media	2	Continuo	0	Complejo	1	Poca	0	Poco	0	14	14.37

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto a la evaluación de suplementos, se efectúa un análisis del proceso, de las estaciones de trabajo y del ambiente de trabajo. Así, por medio de la observación y evaluación de las rúbricas para los procesos, se determina lo siguiente:

### **Suplementos constantes**

- Necesidades personales: se le da un valor de 7 en todas las operaciones debido a que son necesidades requeridas por todo ser humano. Además, se le otorga esta puntuación porque en todos los procesos pueden estar operando hombres o mujeres; no obstante, se toma en cuenta que la mayoría de los operadores son mujeres.
- Fatigas: se le da un valor de 4 en todas las operaciones.

### **Suplementos variables**

- Trabajar de pie: se le da un valor de 0 (sentado) en todas las operaciones, excepto en aquellas donde se trabaja de pie, en estas se le da un valor de 4 debido a que pueden estar trabajando tanto hombres como mujeres en estos procesos.
- Postura: se le da un valor de 0 (cómoda) en todas las operaciones porque las sillas son adecuadas para las personas y, si se trabaja de pie, hay alfombras antifatiga.
- Uso de fuerza: se le da un valor de 0 (no aplica fuerza) en todas las operaciones, excepto en el proceso B6, ya que se levantan cajas de unidades terminadas, pero estas no pesan más de 7.5 kg y es una actividad que no es constante durante la jornada, por esto, acá se le da un valor de 3, al poder estar trabajando tanto hombres como mujeres en este proceso.
- Iluminación: se le da un valor de 0 (adecuado) en todas las operaciones porque la iluminación en todo el cuarto limpio es adecuada para procesar.
- Condiciones atmosféricas: se le da un valor de 0 (12 mili calorías cm<sup>2</sup>/s) en todas las operaciones ya que las condiciones atmosféricas en el cuarto son bastante óptimas, no hay cambios de temperatura importantes y el flujo del aire es controlado.
- Concentración: referente a esta variable, ocurre una asignación variada con valores entre 0 y 5, según la concentración y precisión requerida para cada uno

de los procesos. De esta manera, aquellos con un valor de 5 es porque se ocupa una motora fina considerable y tener cuidado al procesar. Por otro lado, las operaciones con un valor de 2 es debido a que la precisión requerida no es tanta como en los procesos de la categoría anterior. Por último, las que poseen una valorización de 0 es porque no se requiere una precisión considerable que afecte el resultado del proceso.

- Ruido: se le da un valor de 0 (continuo) en todas las operaciones.
- Tensión mental: se le da un valor de 1 (complejo) en todas las operaciones, excepto en aquellas donde el proceso se realiza en su gran mayoría por una máquina y no se involucra tanto el personal; por consiguiente, en los procesos A1 y C4 se le da un valor de 0.
- Monotonía: se le da un valor de 0 (poca) en todas las operaciones, excepto en el proceso A2, ya que este es bastante lento, monótono y manual; así, en este último se le da un valor de 1.
- Tedio: se le da un valor de 0 (poco) en todas las operaciones, excepto en los procesos A1, C2 y C4, pues en estos el operador debe invertir bastante tiempo en la supervisión de una máquina y puede resultar aburrido el no estar ejecutando algún proceso manual, por lo cual en estos se le da un valor de 2, debido a que pueden estar trabajando tanto hombres como mujeres en estos procesos.

Tomando en cuenta los valores de todas variables de la tabla de suplementos, se establece el tiempo estándar (TE) para cada uno de los procesos. Por lo tanto, se lleva a cabo el siguiente procedimiento en cada uno de los tiempos:

$$\text{Tiempo estándar (TE)} = (TN) * (1 + (\text{suma valores de suplementos}/100))$$

$$TE (\text{Proc. A1}) = (19.97 \text{ min}) * (1 + (7 + 4 + 4 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2/100))$$

$$TE (\text{Proc. A1}) = (19.97 \text{ min}) * (1.17)$$

$$TE (\text{Proc. A1}) = 23.37 \text{ min}$$

Tabla 4.23: Tabla resumen del tiempo de ciclo estándar

Ensamble B	Tiempo de ciclo	Producción por Hora	Razón de Producción
Proceso B1	16.32 min	3.68 unid	0.06 unid/min
Proceso B2	8.05 min	7.45 unid	0.12 unid/min
Proceso B3	17.06 min	3.52 unid	0.06 unid/min
Proceso B4	18.40 min	3.26 unid	0.05 unid/min
Proceso B5	6.07 min	9.88 unid	0.16 unid/min
Inspección de Calidad	9.18 min	6.54 unid	0.11 unid/min
Proceso B6	5.48 min	10.95 unid	0.18 unid/min
<b>Total B</b>	<b>80.56 min</b>	<b>45.28 unid</b>	<b>0.75 unid/min</b>
Ensamble A	Tiempo de ciclo	Producción por Hora	Razón de Producción
Proceso A1	23.37 min	2.57 unid	0.04 unid/min
Proceso A2	32.80 min	1.83 unid	0.03 unid/min
Proceso A3	16.98 min	3.53 unid	0.06 unid/min
Proceso A4	23.01 min	2.61 unid	0.04 unid/min
Proceso A5	16.55 min	3.63 unid	0.06 unid/min
<b>Total A</b>	<b>112.71 min</b>	<b>14.16 unid</b>	<b>0.24 unid</b>
Ensamble C	Tiempo de ciclo	Producción por Hora	Razón de Producción
Proceso C1	7.07 min	8.49 unid	0.14 unid/min
Proceso C2	7.93 min	7.57 unid	0.13 unid/min
Proceso C3	6.21 min	9.66 unid	0.16 unid/min
Proceso C4	6.33 min	9.48 unid	0.16 unid/min
Proceso C5	8.68 min	6.91 unid	0.12 unid/min
Proceso C6	14.37 min	4.18 unid	0.07 unid/min
<b>Total C</b>	<b>50.59 min</b>	<b>46.28 unid</b>	<b>0.77 unid/min</b>
<b>Total</b>	<b>243.86 min</b>	<b>105.72 unid</b>	<b>1.76 unid/min</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El análisis de tiempos del ciclo total del proceso arroja un tiempo efectivo de 243.86 minutos por unidad, es decir, 4.06 horas. No obstante, se notan variaciones importantes en las duraciones de las operaciones, por lo que resulta evidente que algunos procesos contribuyen de manera más representativa al tiempo global.

Ahora bien, la tasa de producción es un valor que indica cuántas unidades se producen por hora en cada una de las operaciones, esta se calcula con la siguiente fórmula:

$$Producción\ por\ hora = \frac{60\ minutos}{Tiempo\ de\ ciclo\ (minutos)}$$

Por otro lado, el indicador de razón de producción muestra la cantidad de unidades que son producidas por minuto, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Razón de producción} = \frac{1 \text{ unidad}}{\text{Tiempo de ciclo (minuto)}}$$

Se identifica que el proceso A2, con una duración de 32.80 minutos, una tasa por hora de 1.83 unidades y una razón de producción de 0.03 unidades por minuto, es el proceso más lento de toda la línea. Lo anterior sugiere que este proceso es un potencial cuello de botella. Por su parte, los procesos más cortos, como lo son algunos en el ensamble C, representan una menor cantidad de recursos requeridos debido a su duración.

La sumatoria de los tiempos de ciclo muestra que el ensamble A implica el 46.22 % del tiempo total del sistema, seguido por el ensamble B con el 33.04 %, mientras que el ensamble C representa solo el 20.75 %.

Estos tiempos de ciclo son la pieza angular que ayuda a estructurar y determinar el estudio de capacidad y la utilización de la línea.

#### **4.2.4 Estudio de métodos de los procesos**

La razón principal para llevar a cabo el estudio de métodos es desglosar los procesos seleccionados por tipos de actividad, correspondientes a demoras, operaciones, inspecciones, transportes o almacenamientos.

Por consiguiente, en el estudio se elabora un total de 18 cursogramas analíticos que permiten visualizar cada proceso y las actividades que los componen, así como su tiempo de ejecución y las distancias recorridas para los traslados pertinentes.

Este análisis representa una base para proponer mejoras dirigidas a reducir los tiempos en actividades que no agregan valor y, de esta forma, incrementar la eficiencia general de la línea.

A continuación, se expone cada uno de los 18 cursogramas realizados, los cuales comprenden la totalidad de operaciones en la línea:

Tabla 4.24: Cursograma analítico del actual proceso B1

Cursograma Analítico												
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información				Resumen								
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso B1				Operación		6						
Método: Actual <u>X</u> Propuesto <u>   </u>				Inspección		4						
Lugar: Medical Devices				Transporte		1						
Operario:				Espera		0						
Operario A				Almacenamiento		0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>11</b>						
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>13.88</b>						
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>16.74</b>						
#	Descripción			Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo			10	3.56		○	□	⇒	D	▽	
2	Revisar materiales a procesar			1	0.54		X					
3	Alinear las partes del tubo			1	1.45		X					
4	Aplicar adhesivo en las uniones			1	2.56		X					
5	Verificar uniformidad del adhesivo aplicado			1	1.18		X					
6	Colocar el ensamble C a la unidad y soldar			1	3.05		X					
7	Verificar alineación de las partes ensambladas			1	0.76		X					
8	Hacer segunda soldadura			1	1.92		X					
9	Verificar segunda soldadura			1	0.35		X					
10	Retirar residuos de la unidad y sobre la mesa			1	1.21		X					
11	Trasladar unidad a Proceso B2 y volver a sentarse			1	0.50	16.74	X					
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>				<b>11</b>	<b>17.08</b>	<b>16.74</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13.88</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto al cursograma analítico del proceso B1, se indica que este se compone de 11 actividades. La mayoría de estas son operaciones, con un total de 6; además, posee 4 inspecciones y solo 1 transporte.

Con respecto a los tiempos de las actividades, la suma total es de 13.88 minutos por unidad. Cabe mencionar que la primera actividad se ejecuta cada 10 unidades, lo que representa el tamaño promedio de un lote, por lo cual el tiempo de 3.56 minutos se divide entre 10 para obtener el tiempo unitario, a saber, 0.36 minutos.

Las actividades más significativas son la número 6, colocar el ensamble C a la unidad, y la número 4, aplicar adhesivo en las uniones; estas con 3.05 minutos y 2.56 minutos respectivamente. Asimismo, las inspecciones implican una gran parte del tiempo de ciclo,

siendo la actividad número 5 la más importante de estas, con una duración promedio por unidad de 1.18 minutos.

También se debe mencionar que los transportes efectúan un recorrido de 16.74 metros entre el traslado de ida y vuelta, con un total de 0.50 minutos dedicados a este tipo de actividad.

Tabla 4.25: Cursograma analítico del actual proceso B2

Cursograma Analítico										
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1			
Información				Resumen						
Producto: X				Actividad	Actual	Propuesta	Mejora			
Proceso: Proceso B2				Operación	4					
Método: Actual <u>X</u> Propuesto <u>   </u>				Inspección	3					
Lugar: Medical Devices				Transporte	1					
Operario:				Espera	0					
Operario A				Almacenamiento	0					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>	<b>8</b>					
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>6.85</b>					
				<b>Distancia (metros)</b>	<b>14.98</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇒	D	▽	
1	Preparar área de trabajo	10	4.13		X					0.42
2	Inspeccionar el tubo ensamblado previamente	1	0.39			X				0.39
3	Colocar segunda piel sobre el tubo	1	1.28		X					1.28
4	Colocar adhesivo y secarlo	1	1.78		X					1.78
5	Verificar superficies lisas	1	0.57			X				0.57
6	Segundo adhesivo y secado	1	1.06		X					1.06
7	Verificar superficies lisas nuevamente	1	0.87			X				0.87
8	Trasladar unidad a Proceso B3 y volver a sentarse	1	0.48	14.98			X			0.48
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>10.56</b>	<b>14.98</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.85</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según el cursograma analítico del proceso B2, este se compone de 8 actividades. La mayoría de estas son operaciones, con un total de 4; además, incluye 3 inspecciones y solo 1 transporte al final del proceso.

La suma total de los tiempos de todas las actividades es de 6.85 minutos por unidad. La primera actividad, la cual es preparar el área de trabajo, se realiza cada 10 unidades, lo que representa el tamaño promedio de un lote; por lo tanto, el tiempo de 4.13 minutos se divide entre 10 para obtener el tiempo unitario, esto da un resultado de 0.42 minutos por unidad.

Las actividades más lentas son la número 4 y la número 3, estas con 1.78 minutos y 1.28 minutos respectivamente. Adicional, las inspecciones implican un 27 % del tiempo de ciclo, siendo la actividad número 7 la inspección más lenta, con una duración promedio por unidad de 0.87 minutos.

Por último, los transportes efectúan un recorrido total de 14.98 metros y 0.48 minutos.

Tabla 4.26: Cursograma analítico del actual proceso B3

Cursograma Analítico											
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información				Resumen							
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>			
Proceso: Proceso B3				Operación		4					
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		3					
Lugar: Medical Devices				Transporte		1					
Operario:				Espera		0					
Operario C				Almacenamiento		0					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>8</b>					
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>14.52</b>					
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>15.70</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	4.55		X					0.46	
2	Cortar piezas que formarán la unidad de empuje	1	0.76		X					0.76	
3	Inspeccionar rebabas en piezas cortadas	1	0.43			X				0.43	
4	Unir piezas para formar unidad de empuje	1	7.38		X					7.38	
5	Verificar unidad de empuje final	1	1.06			X				1.06	
6	Colocar unidad de empuje dentro del tubo	1	2.58		X					2.58	
7	Verificar que no hayan rupturas en el tubo	1	1.36			X				1.36	
8	Trasladar unidad a Proceso B4 y volver a sentarse	1	0.49	15.70			X			0.49	
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>8</b>	<b>18.61</b>	<b>15.70</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14.52</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación al cursograma analítico del proceso B3, este consta de 8 actividades. La mayoría de estas son operaciones, con un total 4; asimismo, el proceso incluye 3 inspecciones y 1 transporte.

En cuanto a los tiempos del proceso, la duración total de las actividades es de 14.52 minutos por unidad. Cabe destacar que la primera actividad se realiza cada 10 unidades, por lo tanto, esta se divide entre las 10 unidades para obtener el resultado unitario. No se identifican ni transportes, ni almacenamientos en la operación.

Por último, el transporte conlleva un recorrido total de 15.70 metros en los traslados de ida y vuelta.

Tabla 4.27: Cursograma analítico del actual proceso B4

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				Actividad	Actual	Propuesta	Mejora				
Proceso: Proceso B4				Operación	7						
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección	3						
Lugar: Medical Devices				Transporte	1						
Operario:				Espera	0						
Operario A				Almacenamiento	0						
				<b>Total de Actividades</b>	<b>11</b>						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>15.67</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Distancia (metros)</b>	<b>10.84</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	4.08		X					0.41	
2	Armar las piezas para formar el tirador	1	4.18		X					4.18	
3	Soldar piezas del tirador	1	1.78		X					1.78	
4	Verificar soldaduras	1	0.76				X			0.76	
5	Retirar residuos de la unidad y sobre la mesa	1	1.02		X					1.02	
6	Colocar y soldar tirador con la unidad de empuje	1	3.02		X					3.02	
7	Colocar soldadura de refuerzo	1	1.24		X					1.24	
8	Retirar residuos de la unidad y sobre la mesa	1	1.53		X					1.53	
9	Verificar uniones	1	0.92				X			0.92	
10	Realizar prueba funcional y resistencia a la unidad	1	0.39				X			0.39	
11	Trasladar unidad a Proceso B5 y volver a sentarse	1	0.42	10.84				X		0.42	
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>19.34</b>	<b>10.84</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15.67</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con el cursograma analítico del proceso B4, la mayoría de las actividades son operaciones, las cuales representan un 63 % del total de estas e implican la mayor cantidad de tiempo de ciclo del proceso; al respecto, la actividad 6 involucra más tiempo, con 3.02 minutos. Asimismo, de manera similar a los demás procesos, la actividad 1 se divide entre el tamaño total del lote, o sea, 10 unidades.

Como la estación del siguiente proceso está más cerca que en el caso de los otros procesos, la distancia recorrida para entregar las unidades es menor, esta es de 10.84 metros e implica un tiempo de 0.42 minutos.

Tabla 4.28: Cursograma analítico del actual proceso B5

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>			
Proceso: Proceso B5				Operación		3					
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		2					
Lugar: Medical Devices				Transporte		1					
Operario:				Espera		0					
Operario A				Almacenamiento		0					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>6</b>					
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.16</b>					
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>24.54</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones
1	Preparar área de trabajo	10	3.45		○	□	⇒	D	▽	0.35	
2	Verificar que el ensamble A esté correcto	1	0.84							0.84	
3	Unir ensamble A con la unidad de empuje	1	2.12							2.12	
4	Halar para introducir ensamble A dentro del C	1	0.68							0.68	
5	Inspeccionar resultado final de la operación	1	0.56							0.56	
6	Llevar unidad a Insp. de Calidad y volver a sentarse	1	0.61	24.54						0.61	
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8.26</b>	<b>24.54</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.16</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso B5 tiene un tiempo de ciclo más reducido y una cantidad de actividades inferior, exactamente posee 6 actividades, de las cuales 3 son operaciones, 2 son inspecciones y solo hay 1 transporte.

Además, el 41 % del tiempo total se centra en una única actividad, la número 3, unir el ensamble A con la unidad de empuje.

Por otro lado, el recorrido en este proceso es considerable al ser de 24.54 metros entre el traslado de ida y vuelta, con un total de 0.61 minutos por unidad. Así, hay una oportunidad de reducir los traslados en este proceso.

Tabla 4.29: Cursograma analítico de la actual inspección de calidad

Cursograma Analítico										
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1			
Información				Resumen						
Producto: X				<b>Actividad</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>			
Proceso: Inspección Calidad				Operación	1					
Método: Actual <u>X</u> Propuesto <u>   </u>				Inspección	3					
Lugar: Medical Devices				Transporte	1					
Operario:				Espera	0					
Operario A				Almacenamiento	0					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>	<b>5</b>					
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>7.61</b>					
				<b>Distancia (metros)</b>	<b>9.76</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones	
					○	□	⇒	D	▽	
1	Preparar área de trabajo	10	2.59		X				0.26	
2	Revisión de documentación de la unidad	1	2.18			X			2.18	
3	Inspeccionar visualmente el ensamblaje completo	1	2.97			X			2.97	
4	Revisar dimensiones del ensamble completo	1	1.79			X			1.79	
5	Trasladar unidad a Proceso B5 y volver a sentarse	1	0.41	9.76			X		0.41	
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>9.94</b>	<b>9.76</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7.61</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el proceso de inspección de calidad, la mayor parte de sus actividades son inspecciones, por lo que la mayoría del tiempo se dedica a este tipo de actividad. El proceso implica 5 actividades, de las cuales solo 1 es operación y 1 es traslado, las otras 3 son inspecciones de las unidades. De igual forma, la preparación del material ocurre una vez por cada lote trabajado. Adicional, los transportes implican un recorrido de 9.94 metros.

Tabla 4.30: Cursograma analítico del actual proceso B6

Cursograma Analítico													
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información				Resumen									
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso B6				Operación		5							
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		1							
Lugar: Medical Devices				Transporte		0							
Operario:				Espera		0							
Operario C				Almacenamiento		1							
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>7</b>							
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>4.46</b>							
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>0.00</b>							
#	Descripción			Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones		
							○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo			10	2.87		X					0.29	
2	Ejecutar la prueba de implantación de la unidad			1	0.84			X				0.84	
3	Imprimir etiqueta			1	1.54		X					1.54	
4	Armar contenedor de unidad			1	0.80		X					0.80	
5	Colocar unidad en contenedor			1	0.48		X					0.48	
6	Etiquetar unidad			1	0.41		X					0.41	
7	Colocar en cajas de unidades			1	0.10					X		0.10	
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
<b>Total</b>				<b>7</b>	<b>7.04</b>	<b>0.00</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4.46</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente al cursograma analítico del proceso B6, este posee un total de 7 actividades. La gran mayoría de estas son operaciones, con un total de 5; además, incluye 1

almacenamiento y 1 inspección, sin embargo, esta última es bastante crítica para la línea. El proceso no implica demoras ni tampoco traslados.

Respecto a los tiempos, la suma total es de 7.04 minutos por unidad y la actividad más representativa es la impresión de etiquetas.

Este es el último proceso de la línea, por ende, la última actividad es colocar la unidad en una caja donde se almacena, caja que posteriormente se recoge y se almacena de nuevo en el área de bodega.

Tabla 4.31: Cursograma analítico del actual proceso A1

Cursograma Analítico											
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información			Resumen								
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso A1			Operación		6						
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1						
Lugar: Medical Devices			Transporte		3						
Operario:			Espera		0						
Operario A			Almacenamiento		0						
			<b>Total de Actividades</b>		<b>10</b>						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>19.38</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Distancia (metros)</b>		<b>37.30</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	5.43		X					0.55	
2	Cortar cable a utilizar para la unidad	1	0.35		X					0.35	
3	Inspeccionar el estado del cable cortado	1	0.71			X				0.71	
4	Enrollar cable en la carrucha	1	0.34		X					0.34	
5	Trasladarse a maquina de bobinado	1	0.21	7.38			X			0.21	
6	Colocar carrucha en equipo	1	0.58		X					0.58	
7	Ejecutar proceso de bobinado	1	15.55		X					15.55	
8	Retirar unidad y carrucha de la maquina	1	0.43		X					0.43	
9	Trasladar unidad a Proceso A2	1	0.23	11.27			X			0.23	
10	Volver a estación de inspección A1/A5/C4	1	0.43	18.65			X			0.43	
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>10</b>	<b>24.26</b>	<b>37.30</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.38</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso A1 es uno de los más lentos de la línea y se compone de 10 actividades en total, correspondientes a 6 operaciones, 1 inspección y 3 transportes. Esto último se debe

a que el proceso se realiza en una estación, por lo cual se debe llevar a cabo un traslado a un equipo para continuar los siguientes pasos de la operación.

El proceso implica una actividad crítica y de alto valor agregado para la unidad, a saber, la actividad 7, que tiene una duración de 15.55 minutos y significa un 80 % del tiempo total del proceso.

Adicional, los traslados suman un total de 37.30 metros; así, son uno de los más importantes en la línea.

Tabla 4.32: Cursograma analítico del actual proceso A2

Cursograma Analítico										
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información			Resumen							
Producto: X			<b>Actividad</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso A2			Operación	7						
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección	1						
Lugar: Medical Devices			Transporte	1						
Operario:			Espera	0						
Operario B			Almacenamiento	0						
			<b>Total de Actividades</b>	<b>9</b>						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>27.69</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Distancia (metros)</b>	<b>13.66</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones	
					○	□	⇒	D	▽	
1	Preparar área de trabajo	10	4.11		X					
2	Colocar unidad en el soporte	1	0.68		X					
3	Arreglar filamentos y patrones por toda la unidad	1	11.61		X					
4	Soldar unidad	1	5.98		X					
5	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	1.23		X					
6	Inspeccionar resultado	1	1.79				X			
7	Proceso de calentado y enfriado	1	5.00		X					
8	Retirar unidad del soporte	1	0.52		X					
9	Trasladar unidad a Proceso A3 y volver a sentarse	1	0.46	13.66				X		
10										
11										
12										
13										
14										
15										
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>31.38</b>	<b>13.66</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27.69</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación al proceso A2, este se compone de 9 actividades en total, correspondientes a 7 operaciones, 1 inspección y 1 transporte.

Cabe mencionar que las actividades más representativas son las número 3, 4 y 7, las cuales tienen una duración de 11.61 minutos, 5.98 minutos y 5.00 minutos respectivamente. Estas actividades juntas representan un 82 % del tiempo total del proceso. Asimismo, estos pasos del proceso son bastante manuales, pero son muy importantes y agregan gran valor a la unidad.

No se detectan esperas ni almacenamientos en el proceso, pero sí un traslado de 13.66 metros.

Tabla 4.33: Cursograma analítico del actual proceso A3

Cursograma Analítico											
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información			Resumen								
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso A3			Operación		6						
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		2						
Lugar: Medical Devices			Transporte		1						
Operario:			Espera		0						
Operario A			Almacenamiento		0						
			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>14.45</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Distancia (metros)</b>		<b>43.62</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇨	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	4.25		X					0.43	
2	Colocar la unidad en el soporte de soldadura	1	0.62		X					0.62	
3	Hacer soldaduras en extremos filosos	1	3.88		X					3.88	
4	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	1.87		X					1.87	
5	Inspeccionar resultado	1	2.34				X			2.34	
6	Retirar la unidad del soporte de soldadura	1	0.41		X					0.41	
7	Colocar y secar adhesivo en los extremos	1	2.93		X					2.93	
8	Inspeccionar acabado final	1	1.09				X			1.09	
9	Trasladar unidad a Proceso A4 y volver a sentarse	1	0.88	43.62					X	0.88	
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>18.27</b>	<b>43.62</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14.45</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso A3 se compone de 9 actividades, con un total de 6 operaciones, 2 inspecciones y 1 transporte. Este último es bastante extenso, con un recorrido de 43.62

metros y un tiempo de recorrido de 0.88 minutos, siendo uno de los más importantes en toda la línea.

El proceso completo dura 14.45 minutos por unidad, además las actividades más representativas son la número 3 y la número 7, con un tiempo de 3.88 minutos y 2.93 minutos respectivamente.

Tabla 4.34: Cursograma analítico del actual proceso A4

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				Actividad	Actual	Propuesta	Mejora				
Proceso: Proceso A4				Operación	6						
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección	2						
Lugar: Medical Devices				Transporte	1						
Operario:				Espera	0						
Operario B				Almacenamiento	0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>	<b>9</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>19.09</b>						
				<b>Distancia (metros)</b>	<b>14.56</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	3.89		X					0.39	
2	Inspeccionar la unidad recibida	1	0.84			X				0.84	
3	Cortar segunda capa para dar tamaño	1	2.13		X					2.13	
4	Colocar segunda capa y unidad en el soporte	1	1.83		X					1.83	
5	Unir, entrelazar y alinear ambas capas	1	4.43		X					4.43	
6	Soldar uniones	1	5.95		X					5.95	
7	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	2.42		X					2.42	
8	Inspeccionar resultado de uniones	1	0.63			X				0.63	
9	Trasladar unidad a Proceso A5 y volver a sentarse	1	0.47	14.56			X			0.47	
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>22.59</b>	<b>14.56</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.09</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso A4 contempla 9 actividades en total, de estas un 67 % son operaciones; un 22 %, inspecciones y solo el 11 %, transportes. Referente a esta última actividad, es la menos representativa para este proceso, en la cual se recorren 14.56 metros y ocurre al final del mismo.

En cuanto a los tiempos de los procesos, la mayor parte se consume en operaciones que modifican la unidad, en total representan un 90 % del tiempo del proceso.

Tabla 4.35: Cursograma analítico del actual proceso A5

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				Actividad	Actual	Propuesta	Mejora				
Proceso: Proceso A5				Operación	2						
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección	2						
Lugar: Medical Devices				Transporte	3						
Operario:				Espera	0						
Operario A				Almacenamiento	0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		7					
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		14.08					
				<b>Distancia (metros)</b>		77.22					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	3.89		○	□	⇒	◇	▽	0.39	
2	Colocar y secar adhesivo sobre las uniones previas	1	7.99		X					7.99	
3	Inspeccionar acabado	1	1.88			X				1.88	
4	Trasladar unidad a estación de inspección A1/A5/C4	1	0.40	8.92			X			0.40	
5	Inspeccionar dimensiones en equipo de inspección	1	3.16			X				3.16	
6	Trasladar unidad a Proceso B5	5	0.52	29.69			X			0.11	
7	Volver a estación de Proceso A5	5	0.72	38.61			X			0.15	
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>7</b>	<b>18.56</b>	<b>77.22</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14.08</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El cursograma analítico anterior indica que el proceso A5 se conforma de 7 actividades en total. Al respecto, la mayoría son traslados, sin embargo, no representan la mayor porción en términos de tiempo.

De este modo, el proceso posee 3 traslados diferentes, 2 inspecciones y 2 operaciones. Los 3 traslados ocurren debido a que el proceso se desarrolla en 2 estaciones distintas, por consiguiente, hay un traslado en el medio del desglose de actividades.

Estos traslados suman un total de 77.02 metros. Además, los últimos 2 traslados se realizan cada vez que se concluyen 5 unidades, para alimentar el proceso posterior y evitar demoras. Por esta razón, el tiempo por unidad es la división entre 5 para estos 2 traslados.

Asimismo, destaca la operación número 2 del cursograma al ser una actividad con un tiempo importante, a saber, 7.99 minutos, en los cuales se requiere un enfoque considerable por parte del operador para tener resultados efectivos.

Tabla 4.36: Cursograma analítico del actual proceso C1

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1			Hoja Núm 1 de 1					
Información				Resumen								
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>		<b>Propuesta</b>		<b>Mejora</b>		
Proceso: Proceso C1				Operación		5						
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		1						
Lugar: Medical Devices				Transporte		3						
Operario:				Espera		0						
Operario A				Almacenamiento		0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>						
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.81</b>						
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>52.68</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Simbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	4.51		X						0.46	
2	Colocar unidad en equipo de fusión	1	0.32		X						0.32	
3	Proceso de fusión	1	2.00		X						2.00	
4	Retirar unidad de equipo de fusión	1	0.25		X						0.25	
5	Trasladar unidad a estación de Proceso C1	1	0.23	4.15			X				0.23	
6	Cortar sobrante de la unidad	1	0.34		X						0.34	
7	Inspeccionar unidad	1	1.37			X					1.37	
8	Trasladar unidad a Proceso C2	1	0.47	26.34			X				0.47	
9	Volver al equipo de fusión C1/C6	1	0.37	22.19			X				0.37	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>9.86</b>	<b>52.68</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.81</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación al cursograma analítico del proceso C1, este comprende un total de 9 actividades correspondientes a 3 traslados diferentes, 1 inspección y 5 operaciones. El

motivo por el cual hay 3 traslados es similar al proceso del cursograma anterior, es decir, porque el proceso se desarrolla en 2 lugares distintos, por ende, existe un traslado en el medio del desglose de actividades, que implica en este caso el traslado desde un equipo de fusión de unidades, utilizado por los procesos C1 y C6. Estos traslados suman un total de 52.68 metros y 1.07 minutos.

Tabla 4.37: Cursograma analítico del actual proceso C2

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				Actividad	Actual	Propuesta	Mejora				
Proceso: Proceso C2				Operación	2						
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección	1						
Lugar: Medical Devices				Transporte	1						
Operario:				Espera	0						
Operario A				Almacenamiento	0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>	<b>4</b>						
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>6.52</b>						
				<b>Distancia (metros)</b>	<b>21.94</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	3.94		X					0.40	
2	Procesar unidad en equipo de trenzado	1	4.50		X					4.50	
3	Inspeccionar unidad ya con la segunda capa	1	1.24			X				1.24	
4	Trasladar unidad a Proceso C3 y volver a sentarse	1	0.38	21.94			X			0.38	
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>10.06</b>	<b>21.94</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.52</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso C2 es bastante sencillo en cuanto a las actividades requeridas, ya que solo se conforma por 4 actividades y un total de 6.52 minutos por unidad.

El proceso más crítico es la actividad 2, la cual comprende el 69 % del tiempo de ciclo. Otro punto importante es la existencia de un traslado que implica un recorrido de 21.94 metros y un tiempo por unidad de 0.38 minutos.

Tabla 4.38: Cursograma analítico del actual proceso C3

Cursograma Analítico										
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1			
Información				Resumen						
Producto: X				<b>Actividad</b>	<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>			
Proceso: Proceso C3				Operación	4					
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección	1					
Lugar: Medical Devices				Transporte	1					
Operario:				Espera	0					
Operario B				Almacenamiento	0					
				<b>Total de Actividades</b>	<b>6</b>					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>	<b>5.28</b>					
Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Distancia (metros)</b>	<b>13.46</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇒	D	▽	
1	Preparar área de trabajo	10	3.94		X					0.40
2	Colocar adhesivo a cada extremo y secar	1	2.33		X					2.33
3	Cortar la unidad al tamaño indicado	1	0.57		X					0.57
4	Retirar rebabas del corte	1	0.98		X					0.98
5	Inspeccionar bordes de la unidad	1	0.54			X				0.54
6	Trasladar a estación Inspección A1/A5/C4 y volver	1	0.46	13.46			X			0.46
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8.82</b>	<b>13.46</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.28</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El cursograma analítico del proceso C3 actual evidencia que este se compone de 6 actividades, por lo que no es un proceso complejo. Sin embargo, se puede destacar que la mayoría de estas son operaciones, específicamente incluye 4 operaciones, 1 inspección del resultado final y solo 1 transporte, el cual es de 13.46 metros al contemplar el traslado de ida y vuelta a la estación.

Tabla 4.39: Cursograma analítico del actual proceso C4

Cursograma Analítico													
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información				Resumen									
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso C4				Operación		5							
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		1							
Lugar: Medical Devices				Transporte		3							
Operario:				Espera		0							
Operario B				Almacenamiento		0							
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>							
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.25</b>							
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>31.46</b>							
#	Descripción			Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones		
1	Preparar área de trabajo			10	3.78		X				0.38		
2	Cortar cable a utilizar para la unidad			1	0.47		X				0.47		
3	Inspeccionar el estado del cable cortado			1	0.92			X			0.92		
4	Enrollar cable en la carrucha respectiva			1	0.51		X				0.51		
5	Trasladarse a estación de Proceso C4			1	0.20	6.76				X	0.20		
6	Ejecutar proceso de bobinado			1	1.82		X				1.82		
7	Retirar unidad y carrucha de la maquina			1	0.36		X				0.36		
8	Trasladar unidad a Proceso C5			1	0.29	15.73				X	0.29		
9	Volver a estación de inspección A1/A5/C4			1	0.30	8.97				X	0.30		
10													
11													
12													
13													
14													
15													
<b>Total</b>				<b>9</b>	<b>8.65</b>	<b>31.46</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.25</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso C4 comprende un total de 9 actividades, de estas la mayoría son operaciones, o sea, el 56 %. También el proceso contiene 3 traslados y 1 inspección.

Ahora bien, la razón por la cual se dan 3 traslados diferentes es debido a que se lleva a cabo el proceso en 2 estaciones separadas, esto requiere un traslado en el medio de las demás actividades del proceso. Estos traslados suman un total de 31.46 metros y un tiempo total de 0.79 minutos.

Tabla 4.40: Cursograma analítico del actual proceso C5

Cursograma Analítico											
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información			Resumen								
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso C5			Operación		3						
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1						
Lugar: Medical Devices			Transporte		1						
Operario:			Espera		0						
Operario A			Almacenamiento		0						
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>5</b>						
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>7.38</b>						
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>9.46</b>						
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos			Tiempo unid(min)	Observaciones		
1	Preparar área de trabajo	10	3.42		○	□	⇒	D	▽	0.35	
2	Soldar extremos del bobinado a la unidad	1	4.03		X					4.03	
3	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	1.24		X					1.24	
4	Inspeccionar existencia de rebabas	1	1.36		X		X			1.36	
5	Trasladar unidad a Proceso C6 y volver a sentarse	1	0.40	9.46				X		0.40	
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>10.45</b>	<b>9.46</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7.38</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El proceso C5 se compone solo de 5 actividades, siendo el proceso con menos desglose de actividades. La mayoría de estas son operaciones, con un total de 3; asimismo, el proceso involucra 1 inspección y solo 1 traslado de 9.46 metros.

La suma total de los tiempos es de 7.38 minutos por unidad, de este tiempo el 55 % se refleja en la operación 2, con una duración de 4.03 minutos.

Tabla 4.41: Cursograma analítico del actual proceso C6

Cursograma Analítico											
					Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1				
Información				Resumen							
Producto: X				<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>			
Proceso: Proceso C6				Operación		5					
Método: Actual _X_ Propuesto ___				Inspección		1					
Lugar: Medical Devices				Transporte		3					
Operario:				Espera		0					
Operario A				Almacenamiento		0					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel				<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>					
				<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>12.23</b>					
				<b>Distancia (metros)</b>		<b>65.64</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones
					○	□	⇒	D	▽		
1	Preparar área de trabajo	10	4.16		X					0.42	
2	Cortar materiales que forman la cuarta piel	1	2.13		X					2.13	
3	Unir las partes para formar la cuarta piel de la unidad	1	4.19		X					4.19	
4	Colocar cuarta piel a unidad	1	1.05		X					1.05	
5	Inspeccionar si hubo rupturas en la piel al colocarla	1	0.67		X					0.67	
6	Trasladar unidad a equipo de fusión C1/C6	1	0.16	4.15					X	0.16	
7	Proceso de fusión de cuarta piel en equipo	1	2.58		X					2.58	
8	Trasladar unidad a Proceso B1	1	0.40	28.67					X	0.40	
9	Volver a Proceso C6 y sentarse	1	0.63	32.82					X	0.63	
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>15.97</b>	<b>65.64</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12.23</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto al proceso C6, destacan principalmente los 3 traslados requeridos, los mismos implican una distancia recorrida total de 65.64 metros, incluyendo un traslado en la actividad 6, el cual es necesario para desplazarse junto con la unidad hasta el equipo de fusión utilizado por los procesos C1 y el C6.

Respecto a las demás actividades, la mayoría son operaciones que generan cambios en la materia prima, excepto la actividad 5, esta es una inspección de calidad.

Al concluir los cursogramas analíticos de cada uno de los procesos y analizar todas las actividades que se llevan a cabo a lo largo de la línea, se establece el siguiente resumen:

Tabla 4.42: Resumen de los cursogramas analíticos de la línea

Actividad	Total Actividades	Porcentaje Actividades	Tiempo Total (min)	Porcentaje Tiempo
Operación	81	57.0%	157.37	76.6%
Inspección	33	23.2%	37.30	18.2%
Transporte	27	19.0%	10.54	5.1%
Espera	0	0.0%	0.00	0.0%
Almacenamiento	1	0.7%	0.10	0.0%
<b>Total</b>	<b>142</b>	<b>100.0%</b>	<b>205.31</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En resumen, en el proceso se lleva a cabo un total de 142 actividades, de las cuales el 57.0 % son operaciones, el 23.2 % corresponden a inspecciones y el 19.0 % representan transportes. No obstante, con relación al tiempo requerido, las operaciones comprenden el 76.6 % de todos los tiempos de ciclo, por consiguiente, es el tipo de actividad más significativa para el proceso. Lo anterior también indica que en la mayor parte del tiempo la materia prima se modifica y se agrega valor al producto.

Además, cabe resaltar que las inspecciones suman un 18.2 % del tiempo de ciclo de los procesos. Estas son actividades que no agregan valor, pero se requieren para mantener la calidad de los productos, en especial tratándose de un producto médico. Por otro lado, la cantidad de tiempo en transporte sugiere que el 5.1 % del tiempo se dedica a traslados que no agregan valor al proceso y son una oportunidad de mejora de eficiencia en el proceso.

De esta manera, los cursogramas generados son la base para medir las mejoras que se lleven a cabo en actividades específicas de los procesos, en caso de que las causas y soluciones del problema así lo requieran.

#### 4.2.5 Estudio de yield de los procesos

La finalidad del siguiente análisis es medir y evaluar el desempeño de la línea de producción de Medical Devices por medio del estudio del yield y el RTY (*rolled throughput yield*) de las estaciones.

Para realizar este análisis, se toman muestras durante 30 días hábiles consecutivos en los 18 procesos que conforman la línea de producción. Esto para cada una de las

estaciones de trabajo y se registra el número de unidades buenas y unidades defectuosas (scrap) para calcular el *yield* individual diario mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Yield por proceso} = \frac{\text{Unidades buenas}}{\text{Unidades buenas} + \text{unidades defectuosas}}$$

El producto de los *yield* individuales de cada estación permite obtener el RTY diario, que refleja el rendimiento acumulado de la línea si se consideran todas las etapas del proceso. Este estudio es fundamental para poder llevar a cabo un estudio de capacidad, ya que se requiere con el propósito de establecer la cantidad de unidades que deben producirse para cumplir la meta de producción definida al final de la línea; de igual forma, es necesario para identificar la cantidad de unidades que ingresan en cada uno de los procesos de la línea.

En la siguiente tabla se presenta el dato diario de unidades buenas (B) y malas (M) por proceso a lo largo de los 30 días en que se efectúa el estudio:

Tabla 4.43: Unidades buenas y malas diarias por proceso

Operación	Día #1		Día #2		Día #3		Día #4		Día #5		Día #6		Día #7		Día #8		Día #9		Día #10		Día #11		Día #12		Día #13		Día #14		Día #15	
	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
Inspección de Calidad	53	7	49	2	52	8	52	3	46	3	50	2	48	3	46	3	52	1	45	2	43	3	47	2	51	3	48	3	50	2
Proceso A1	53	0	50	0	49	0	55	0	54	0	53	0	55	0	48	0	54	0	48	0	48	0	50	0	51	0	52	0	50	0
Proceso A2	48	0	47	2	47	0	54	2	51	0	52	0	50	1	53	0	56	0	54	1	55	0	54	2	56	0	52	0	53	3
Proceso A3	52	0	54	1	53	0	54	0	51	0	55	0	48	0	46	0	52	0	54	0	47	0	47	0	46	0	53	0	51	0
Proceso A4	50	2	55	4	47	4	56	2	50	3	54	3	51	2	46	3	52	1	54	4	52	2	53	2	51	3	54	3	53	6
Proceso A5	47	1	43	2	47	1	45	2	49	1	51	0	44	1	51	1	48	1	50	1	45	0	48	0	46	0	52	1	43	0
Proceso B1	53	0	46	0	51	1	45	0	54	0	45	0	47	0	50	1	48	0	49	1	46	0	53	0	52	0	53	1	53	0
Proceso B2	47	0	44	0	51	0	54	0	52	0	44	0	44	0	46	0	46	0	50	0	46	0	49	0	49	0	46	0	45	0
Proceso B3	48	1	51	2	46	1	48	1	54	1	44	1	45	2	47	2	51	2	53	1	48	1	47	2	51	3	52	1	44	3
Proceso B4	45	0	52	0	46	0	50	0	48	0	43	0	47	0	44	0	52	0	47	0	51	0	46	0	48	0	50	0	42	0
Proceso B5	50	0	52	0	42	1	51	0	44	1	50	1	44	0	46	1	47	1	52	1	48	2	42	0	44	0	42	0	44	1
Proceso B6	49	3	44	5	40	3	50	4	47	4	44	3	42	7	48	2	45	2	43	7	49	5	47	2	46	4	50	9	50	4
Proceso C1	57	1	52	0	56	0	58	2	56	2	53	0	55	0	54	0	51	0	55	0	51	0	57	3	51	0	53	0	53	1
Proceso C2	50	0	54	0	52	0	52	0	55	0	55	0	51	0	54	0	56	0	55	0	49	0	57	0	53	0	59	0	56	0
Proceso C3	57	0	55	1	50	2	59	1	56	3	52	1	56	3	49	1	53	1	51	1	57	3	55	1	58	1	50	2	52	2
Proceso C4	54	2	57	3	53	3	53	1	50	2	57	0	48	2	49	3	51	2	49	1	55	1	50	1	55	1	56	1	57	1
Proceso C5	47	0	47	1	50	0	46	1	54	0	52	1	49	3	45	0	55	3	54	2	49	1	47	0	45	1	46	1	52	2
Proceso C6	46	0	51	0	50	0	46	0	54	0	46	0	48	0	47	0	46	0	48	0	45	0	54	0	50	0	48	0	50	0

Operación	Día #16		Día #17		Día #18		Día #19		Día #20		Día #21		Día #22		Día #23		Día #24		Día #25		Día #26		Día #27		Día #28		Día #29		Día #30	
	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
Inspección de Calidad	43	2	46	3	44	3	50	2	52	1	50	1	43	1	51	1	42	1	42	2	52	2	44	3	49	3	45	2	50	3
Proceso A1	54	0	52	0	51	0	54	1	50	0	49	0	53	0	51	0	56	0	53	0	50	0	56	0	53	0	55	0	46	0
Proceso A2	51	0	50	0	49	0	52	0	53	0	50	0	49	1	52	0	55	0	51	0	47	2	50	0	47	0	55	0	53	0
Proceso A3	56	0	56	0	49	0	52	0	51	0	56	0	49	0	50	0	48	0	56	0	54	0	56	0	53	0	49	0	47	0
Proceso A4	52	3	46	2	54	3	51	3	54	3	46	3	50	1	56	4	54	3	51	3	49	2	46	2	51	3	48	3	50	3
Proceso A5	44	1	51	2	47	1	45	0	50	0	45	2	51	0	51	0	47	0	53	1	52	2	50	1	43	0	45	0	52	1
Proceso B1	47	0	47	1	51	0	50	0	50	0	53	0	52	1	44	0	52	0	54	1	54	0	50	0	50	1	54	0	49	0
Proceso B2	52	0	50	0	54	0	44	0	50	0	51	0	49	0	44	0	48	0	46	0	52	0	47	0	51	0	46	0	46	0
Proceso B3	52	2	52	1	46	3	47	2	50	1	52	1	52	1	54	1	45	1	46	2	53	1	47	1	54	1	45	3	53	1
Proceso B4	47	0	46	0	47	0	50	0	52	0	44	0	45	0	42	0	43	0	50	0	48	0	46	0	44	0	52	0	47	0
Proceso B5	50	0	44	1	46	0	46	1	43	0	47	0	52	0	49	1	43	0	48	0	49	1	50	0	46	0	51	1	50	0
Proceso B6	46	6	48	2	41	7	47	6	44	4	41	7	47	2	50	9	41	8	50	3	46	4	47	10	40	3	50	5	49	3
Proceso C1	59	2	50	0	56	0	60	1	50	0	51	0	56	0	50	0	57	0	52	0	51	3	57	0	52	3	50	2	55	0
Proceso C2	57	0	55	0	58	0	58	0	52	0	59	0	49	0	55	0	58	0	52	0	50	0	56	0	59	0	55	0	58	0
Proceso C3	55	3	59	1	58	3	55	1	55	1	55	3	56	2	58	1	50	3	49	1	50	3	54	1	51	3	53	2	49	2
Proceso C4	47	1	52	3	52	2	51	1	54	1	57	3	47	3	47	3	56	3	50	3	54	1	56	3	55	1	48	1	47	1
Proceso C5	47	0	53	1	46	2	53	1	55	0	54	1	48	2	50	0	55	3	52	0	45	2	53	2	48	0	50	0	48	0
Proceso C6	51	0	52	0	45	0	53	0	49	0	52	0	53	0	54	0	48	0	48	0	46	0	44	0	50	0	48	0	45	0

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con base en la información de la tabla anterior, se determina el *yield* diario de cada proceso, el cual es un insumo para establecer el RTY diario de la línea.

En la siguiente tabla se aprecia el *yield* de cada una de las estaciones y el RTY diario a lo largo de los 30 días en que se lleva a cabo el estudio:

Tabla 4.44: Tabla de yield y RTY diario por proceso, parte 1

Día #	Proceso A1	Proceso A2	Proceso A3	Proceso A4	Proceso A5	Proceso B1	Proceso B2	Proceso B3	Proceso B4	Proceso B5
1	100.00%	100.00%	100.00%	96.15%	97.92%	100.00%	100.00%	97.96%	100.00%	100.00%
2	100.00%	95.92%	98.18%	93.22%	95.56%	100.00%	100.00%	96.23%	100.00%	100.00%
3	100.00%	100.00%	100.00%	92.16%	97.92%	98.08%	100.00%	97.87%	100.00%	97.67%
4	100.00%	96.43%	100.00%	96.55%	95.74%	100.00%	100.00%	97.96%	100.00%	100.00%
5	100.00%	100.00%	100.00%	94.34%	98.00%	100.00%	100.00%	98.18%	100.00%	97.78%
6	100.00%	100.00%	100.00%	94.74%	100.00%	100.00%	100.00%	97.78%	100.00%	98.04%
7	100.00%	98.04%	100.00%	96.23%	97.78%	100.00%	100.00%	95.74%	100.00%	100.00%
8	100.00%	100.00%	100.00%	93.88%	98.08%	98.04%	100.00%	95.92%	100.00%	97.87%
9	100.00%	100.00%	100.00%	98.11%	97.96%	100.00%	100.00%	96.23%	100.00%	97.92%
10	100.00%	98.18%	100.00%	93.10%	98.04%	98.00%	100.00%	98.15%	100.00%	98.11%
11	100.00%	100.00%	100.00%	96.30%	100.00%	100.00%	100.00%	97.96%	100.00%	96.00%
12	100.00%	96.43%	100.00%	96.36%	100.00%	100.00%	100.00%	95.92%	100.00%	100.00%
13	100.00%	100.00%	100.00%	94.44%	100.00%	100.00%	100.00%	94.44%	100.00%	100.00%
14	100.00%	100.00%	100.00%	94.74%	98.11%	98.15%	100.00%	98.11%	100.00%	100.00%
15	100.00%	94.64%	100.00%	89.83%	100.00%	100.00%	100.00%	93.62%	100.00%	97.78%
16	100.00%	100.00%	100.00%	94.55%	97.78%	100.00%	100.00%	96.30%	100.00%	100.00%
17	100.00%	100.00%	100.00%	95.83%	96.23%	97.92%	100.00%	98.11%	100.00%	97.78%
18	100.00%	100.00%	100.00%	94.74%	97.92%	100.00%	100.00%	93.88%	100.00%	100.00%
19	98.18%	100.00%	100.00%	94.44%	100.00%	100.00%	100.00%	95.92%	100.00%	97.87%
20	100.00%	100.00%	100.00%	94.74%	100.00%	100.00%	100.00%	98.04%	100.00%	100.00%
21	100.00%	100.00%	100.00%	93.88%	95.74%	100.00%	100.00%	98.11%	100.00%	100.00%
22	100.00%	98.00%	100.00%	98.04%	100.00%	98.11%	100.00%	98.11%	100.00%	100.00%
23	100.00%	100.00%	100.00%	93.33%	100.00%	100.00%	100.00%	98.18%	100.00%	98.00%
24	100.00%	100.00%	100.00%	94.74%	100.00%	100.00%	100.00%	97.83%	100.00%	100.00%
25	100.00%	100.00%	100.00%	94.44%	98.15%	98.18%	100.00%	95.83%	100.00%	100.00%
26	100.00%	95.92%	100.00%	96.08%	96.30%	100.00%	100.00%	98.15%	100.00%	98.00%
27	100.00%	100.00%	100.00%	95.83%	98.04%	100.00%	100.00%	97.92%	100.00%	100.00%
28	100.00%	100.00%	100.00%	94.44%	100.00%	98.04%	100.00%	98.18%	100.00%	100.00%
29	100.00%	100.00%	100.00%	94.12%	100.00%	100.00%	100.00%	93.75%	100.00%	98.08%
30	100.00%	100.00%	100.00%	94.34%	98.11%	100.00%	100.00%	98.15%	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

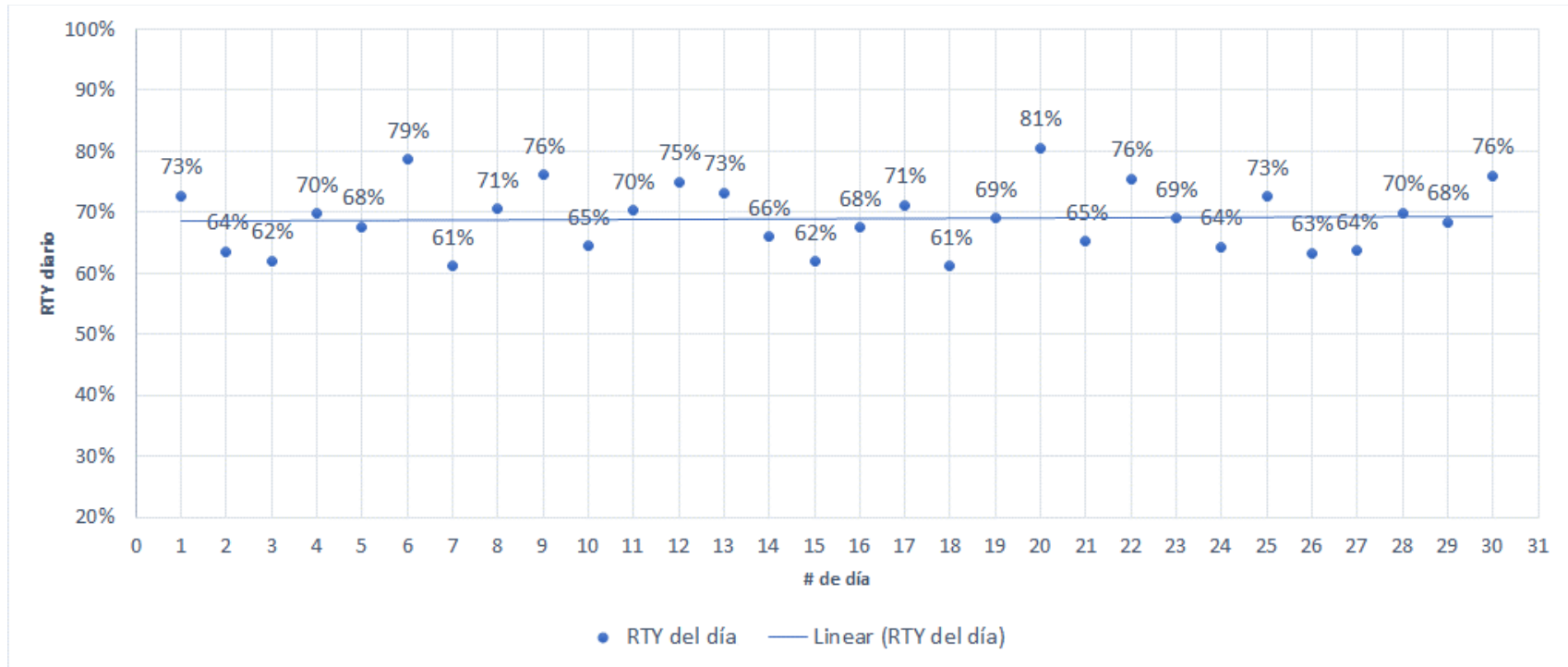
Tabla 4.45: Tabla de yield y RTY diario por proceso, parte 2

Día #	Inspección de Calidad	Proceso B6	Proceso C1	Proceso C2	Proceso C3	Proceso C4	Proceso C5	Proceso C6	RTY Diario
1	88.33%	94.23%	98.28%	100.00%	100.00%	96.43%	100.00%	100.00%	72.75%
2	96.08%	89.80%	100.00%	100.00%	98.21%	95.00%	97.92%	100.00%	63.63%
3	86.67%	93.02%	100.00%	100.00%	96.15%	94.64%	100.00%	100.00%	62.07%
4	94.55%	92.59%	96.67%	100.00%	98.33%	98.15%	97.87%	100.00%	69.80%
5	93.88%	92.16%	96.55%	100.00%	94.92%	96.15%	100.00%	100.00%	67.66%
6	96.15%	93.62%	100.00%	100.00%	98.11%	100.00%	98.11%	100.00%	78.69%
7	94.12%	85.71%	100.00%	100.00%	94.92%	96.00%	94.23%	100.00%	61.17%
8	93.88%	96.00%	100.00%	100.00%	98.00%	94.23%	100.00%	100.00%	70.52%
9	98.11%	95.74%	100.00%	100.00%	98.15%	96.23%	94.83%	100.00%	76.19%
10	95.74%	86.00%	100.00%	100.00%	98.08%	98.00%	96.43%	100.00%	64.54%
11	93.48%	90.74%	100.00%	100.00%	95.00%	98.21%	98.00%	100.00%	70.24%
12	95.92%	95.92%	95.00%	100.00%	98.21%	98.04%	100.00%	100.00%	75.01%
13	94.44%	92.00%	100.00%	100.00%	98.31%	98.21%	97.83%	100.00%	73.20%
14	94.12%	84.75%	100.00%	100.00%	96.15%	98.25%	97.87%	100.00%	66.01%
15	96.15%	92.59%	98.15%	100.00%	96.30%	98.28%	96.30%	100.00%	61.97%
16	95.56%	88.46%	96.72%	100.00%	94.83%	97.92%	100.00%	100.00%	67.58%
17	93.88%	96.00%	100.00%	100.00%	98.33%	94.55%	98.15%	100.00%	71.23%
18	93.62%	85.42%	100.00%	100.00%	95.08%	96.30%	95.83%	100.00%	61.10%
19	96.15%	88.68%	98.36%	100.00%	98.21%	98.08%	98.15%	100.00%	69.02%
20	98.11%	91.67%	100.00%	100.00%	98.21%	98.18%	100.00%	100.00%	80.55%
21	98.04%	85.42%	100.00%	100.00%	94.83%	95.00%	98.18%	100.00%	65.32%
22	97.73%	95.92%	100.00%	100.00%	96.55%	94.00%	96.00%	100.00%	75.54%
23	98.08%	84.75%	100.00%	100.00%	98.31%	94.00%	100.00%	100.00%	68.97%
24	97.67%	83.67%	100.00%	100.00%	94.34%	94.92%	94.83%	100.00%	64.31%
25	95.45%	94.34%	100.00%	100.00%	98.00%	94.34%	100.00%	100.00%	72.61%
26	96.30%	92.00%	94.44%	100.00%	94.34%	98.18%	95.74%	100.00%	63.34%
27	93.62%	82.46%	100.00%	100.00%	98.18%	94.92%	96.36%	100.00%	63.77%
28	94.23%	93.02%	94.55%	100.00%	94.44%	98.21%	100.00%	100.00%	69.88%
29	95.74%	90.91%	96.15%	100.00%	96.36%	97.96%	100.00%	100.00%	68.37%
30	94.34%	94.23%	100.00%	100.00%	96.08%	97.92%	100.00%	100.00%	75.98%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el siguiente gráfico se expone la tendencia del RTY diario a lo largo de los mismos 30 días de una forma más visual:

Figura 4.10: Gráfico de dispersión del RTY diario



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el gráfico anterior se observa una variabilidad considerable en los resultados del RTY diario. Estos oscilan entre un mínimo de 61 % y un máximo de 81 %, por ende, existen días con pérdidas significativas en comparación con otros de mejor rendimiento.

Algunos puntos por destacar de este análisis son:

### **1. Tendencia general**

La línea de tendencia refleja que el indicador se mantiene en promedio alrededor del 70 % con un ligero incremento a lo largo de los 30 días. Sin embargo, la variabilidad diaria sugiere que la estabilidad de los procesos es limitada.

### **1. Desviaciones negativas notables**

Se registran múltiples caídas por debajo del 65 %, las mismas pueden asociarse a problemas específicos en ciertas estaciones de trabajo.

### **2. Relación con el análisis de layout**

Existe la posibilidad de que los extensos desplazamientos y la falta de optimización en el flujo de materiales contribuyan a la variabilidad del RTY. Adicional, la acumulación de ineficiencias en los procesos y los cruces en los traslados de las unidades pueden estar generando mayores probabilidades de defectos.

La siguiente tabla presenta de manera desglosada el rendimiento en *yield* de cada proceso de acuerdo con los tres ensambles principales (A, B y C). Para cada estación, se calcula el *yield* y el RTY de la misma forma explicada en el punto anterior.

Tabla 4.46: Tabla de resumen del yield por proceso y ensamble

Proceso	Unidades Buenas	Unidades Scrap	Yield del Proceso
Proceso A1	1553	1	99.94%
Proceso A2	1546	14	99.10%
Proceso A3	1545	1	99.94%
Proceso A4	1536	85	94.76%
Proceso A5	1435	23	98.42%
<b>Total Ensamble A</b>	<b>7615</b>	<b>124</b>	<b>RTY: 92.31%</b>
Proceso C1	1618	20	98.78%
Proceso C2	1639	0	100.00%
Proceso C3	1617	53	96.83%
Proceso C4	1567	54	96.67%
Proceso C5	1495	30	98.03%
Proceso C6	1467	0	100.00%
<b>Total Ensamble C</b>	<b>7785</b>	<b>137</b>	<b>RTY: 90.64%</b>
Proceso B1	1502	8	99.47%
Proceso B2	1443	0	100.00%
Proceso B3	1477	46	96.98%
Proceso B4	1414	0	100.00%
Proceso B5	1412	14	99.02%
Inspección de Calidad	1435	77	94.91%
Proceso B6	1381	143	90.62%
<b>Total Ensamble B</b>	<b>7119</b>	<b>280</b>	<b>RTY: 82.15%</b>
<b>Total</b>	<b>27082</b>	<b>569</b>	<b>RTY: 68.74%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Durante estos 30 días de muestras, la línea de producción refleja un RTY total del 68.74 %, por lo tanto, aproximadamente un 31.26 % de las unidades se desechan. Este bajo rendimiento acumulado evidencia ineficiencias considerables en ciertas estaciones, las cuales deben priorizarse para mejorar el desempeño global.

#### 4.2.5.1 Evaluación por ensamble del producto

##### 1. Ensamble A

Este presenta un rendimiento considerablemente alto, con procesos que mantienen un *yield* superior al 94 %, y muestra un RTY general del ensamble del 92.31 %, siendo este el más alto de los 3 grupos.

##### 2. Ensamble B

Este ensamble evidencia los problemas más críticos en términos de RTY, con un valor de 82.15 %. Esto debido a que procesos como B6 e Inspección de Calidad muestran un rendimiento muy bajo de 90.62 % y 94.91 %, respectivamente. El proceso B6 es preocupante, con 143 unidades de *scrap*, lo que representa la mayor contribución a las pérdidas totales.

##### 3. Ensamble C

Los procesos de este grupo tienen un rendimiento aceptable, ya que reflejan resultados entre el 96.67 % y el 100 % de *yield*, lo que da como resultado un RTY de 90.64 %.

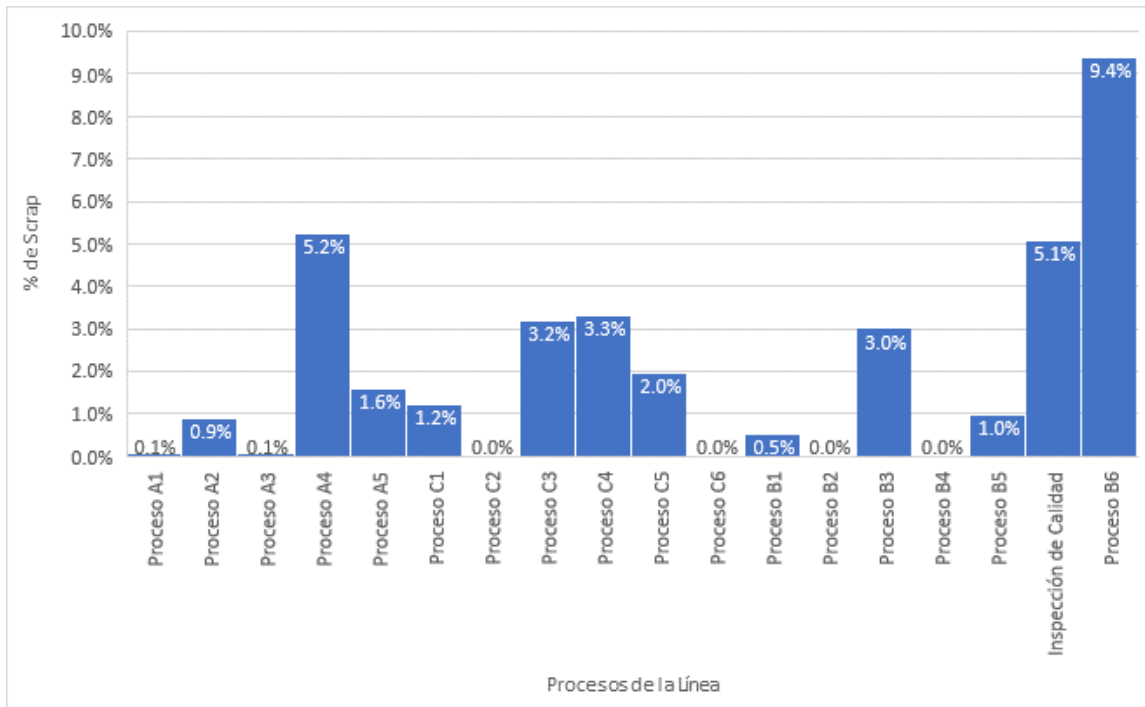
#### 4.2.5.2 Porcentaje de las unidades desechadas

Para evaluar de una forma más efectiva los procesos que generan una mayor afectación en el RTY de la línea, se calcula el porcentaje de *scrap* por operación, el cual determina la proporción de unidades rechazadas en cada uno de los procesos. Así, se utiliza la siguiente fórmula con cada uno de los procesos:

$$\% \text{ de Scrap} = 1 - RTY * 100$$

El siguiente gráfico expone los porcentajes de *scrap* de los procesos de la investigación:

Figura 4.11: Gráfico de barras del porcentaje de scrap por proceso



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El gráfico anterior muestra que la mayor parte del 31.26 % de unidades rechazadas se desechan en los procesos A4, Inspección de Calidad y B6, siendo este último el proceso con el peor rendimiento de forma considerable, a saber, con el 9.4 % del *scrap* de toda la línea.

#### 4.2.6 Estudio de capacidad y utilización

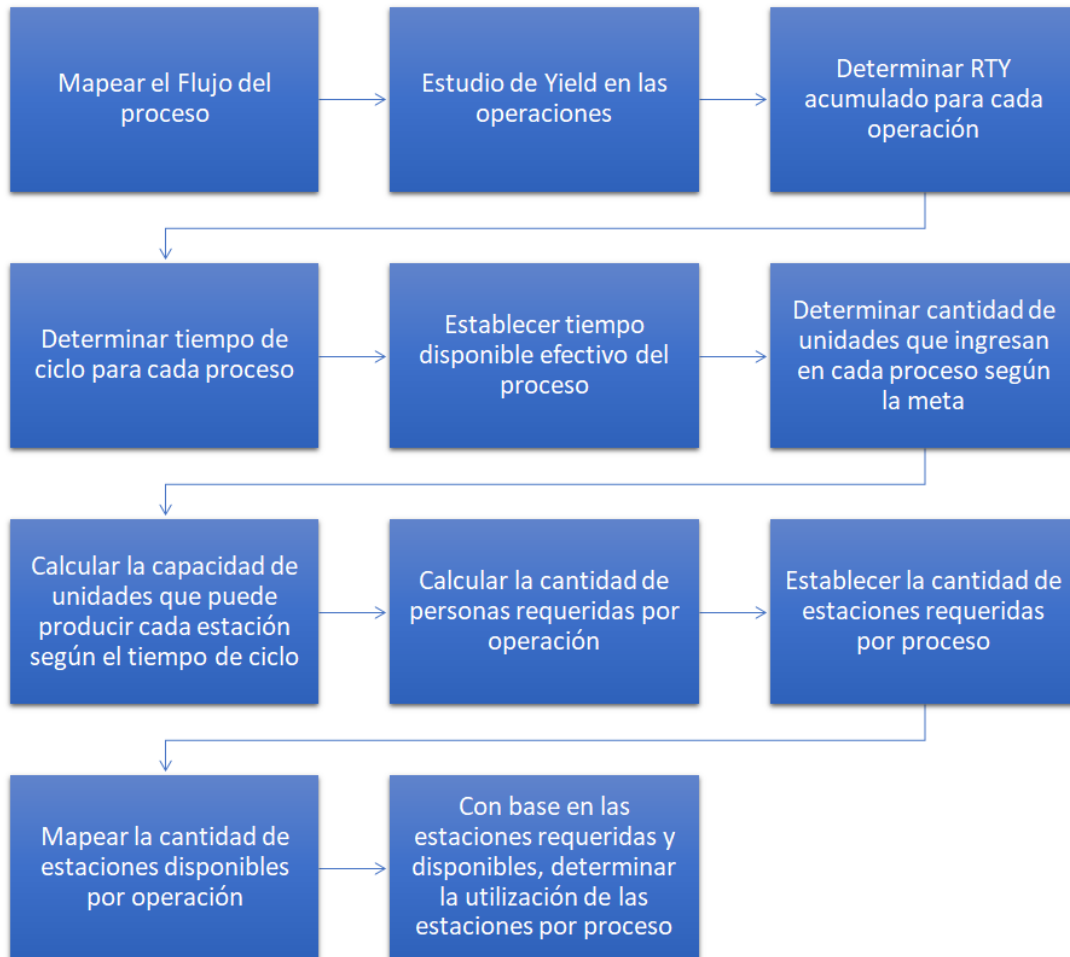
Se lleva a cabo un estudio de capacidad del proceso y utilización de estaciones, con el objetivo de identificar el estado actual de la línea en estos términos. Este análisis permite evaluar en qué medida los recursos actuales son aprovechados y en qué porcentaje contribuyen al desempeño general de la línea.

El enfoque del estudio se orienta a determinar cuál es la capacidad real de las estaciones de trabajo y cuál es la cantidad de personas necesarias para cada uno de los procesos y en total en la línea; lo anterior al considerar tanto los tiempos de ciclo, así como el flujo de las unidades entre las diferentes operaciones.

Además, se establece el nivel de utilización de cada estación de trabajo, de este modo se identifican posibles ineficiencias y tiempos muertos en los procesos.

La intención final de este análisis es crear una herramienta de cálculo que proporcione una visión detallada del rendimiento actual de la línea, y también resulte clave y como base para proponer estrategias de reducción de costos y aprovechamiento de recursos. En cuanto al estudio de capacidad, se emplea la siguiente secuencia de pasos:

Figura 4.12: Proceso para elaborar la herramienta de capacidad y utilización del proceso



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En los siguientes puntos se genera la herramienta de capacidad y utilización del proceso al tener toda la información requerida.

#### 4.2.6.1 Establecer el tiempo disponible efectivo del proceso

En primera instancia, se determina el tiempo disponible neto con el cual se dispone para producir en cada una de las estaciones, este resulta ser el tiempo efectivo de la operación.

Tabla 4.47: Cálculo del tiempo disponible neto en la línea

	Turno A		Turno B	
	Horas	Minutos	Horas	Minutos
<b>Tiempo Disponible Bruto</b>	<b>9.50</b>	<b>570.00</b>	<b>8.50</b>	<b>510.00</b>
Desayuno - Café	0.42	25.00	0.33	20.00
Almuerzo - Cena	0.58	35.00	0.67	40.00
<b>Recesos Total</b>	<b>1.00</b>	<b>60.00</b>	<b>1.00</b>	<b>60.00</b>
<b>Tiempo Disponible Neto</b>	<b>8.50</b>	<b>510.00</b>	<b>7.50</b>	<b>450.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La compañía cuenta con 2 turnos en la línea, el turno A y el turno B, con 9.5 horas laboradas y 8.5 horas laboradas respectivamente, sin contemplar los recesos que requieren las personas en su labor.

Respecto a dichos recesos, se restan 60 minutos por turno a este tiempo laboral debido a las necesidades humanas, por ejemplo, la alimentación. Por lo tanto, el tiempo neto efectivo para poder procesar en la línea es de 8.5 horas y 7.5 horas para el turno A y el turno B respectivamente, lo que suma un tiempo disponible total de 16 horas, o bien, 960 minutos al día.

#### 4.2.6.2 Establecer las metas de producción para cada ensamble

Considerando el flujo del material en la línea y utilizando los diagramas SIPOC y de flujo como base, se establece que el cliente del subensamble A es el proceso B5, mientras que el cliente del subensamble C es el proceso B1.

Por este motivo, en el estudio de capacidad se determina como meta final de estos ensambles la entrada requerida para el proceso cliente respectivo de cada ensamble, es decir, para un volumen de producción, en el último proceso del ensamble B, se deben producir 40 unidades (meta de producción actual de la línea); en el proceso final del ensamble A, 47 unidades; mientras que en el caso del ensamble C, 49 unidades.

Esto es consecuencia del *yield* en cada uno de los procesos, porque desde el último proceso hasta el proceso B5 el RTY acumulado en la línea es de 85.16 %; por otro lado, hasta el proceso B1 el RTY acumulado es 82.15 %. Esta es la razón por la que cada uno de los ensambles posee una meta de producción diferente requerida para la meta de producción final de 40 unidades diarias.

A continuación, se aprecia una tabla que resume lo planteado anteriormente y funciona como insumo para el estudio de capacidad:

Tabla 4.48: Metas de producción para cada ensamble

<b>Producción Ensamble B</b>	<b>40 Unid</b>
RTY hasta Proceso B5	85.16%
<b>Producción Ensamble A</b>	<b>47 Unid</b>
RTY hasta Proceso B1	82.15%
<b>Producción Ensamble C</b>	<b>49 Unid</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Seguidamente, se indica la herramienta de capacidad completa generada para la línea de producción:

Tabla 4.49: Herramienta de capacidad, estado actual

Ensamble B	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso B1	99.47%	82.15%	16.32 min	960.00 min	49	58	1.00	0.84	2	42%
Proceso B2	100.00%	82.59%	8.05 min	960.00 min	49	119	0.50	0.41	1	41%
Proceso B3	96.98%	82.59%	17.06 min	960.00 min	49	56	1.00	0.88	2	44%
Proceso B4	100.00%	85.16%	18.40 min	960.00 min	47	52	1.00	0.90	2	45%
Proceso B5	99.02%	85.16%	6.07 min	960.00 min	47	158	0.50	0.30	1	30%
Inspección de Calidad	94.91%	86.01%	9.18 min	960.00 min	47	104	0.50	0.45	1	45%
Proceso B6	90.62%	90.62%	5.48 min	960.00 min	45	175	0.50	0.26	1	26%
-RTY-	82.15%						-Total-	5.00 personas		

Ensamble A	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso A1	99.94%	92.31%	23.37 min	960.00 min	51	41	1.25	1.24	3	41%
Proceso A2	99.10%	92.37%	32.80 min	960.00 min	51	29	2.00	1.76	4	44%
Proceso A3	99.94%	93.21%	16.98 min	960.00 min	51	56	1.00	0.91	2	46%
Proceso A4	94.76%	93.26%	23.01 min	960.00 min	51	41	1.25	1.24	3	41%
Proceso A5	98.42%	98.42%	16.55 min	960.00 min	48	58	1.00	0.83	2	41%
-RTY-	92.31%						-Total-	6.50 personas		

Ensamble C	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso C1	98.78%	90.64%	7.07 min	960.00 min	55	135	0.50	0.41	1	41%
Proceso C2	100.00%	91.76%	7.93 min	960.00 min	54	121	0.50	0.45	1	45%
Proceso C3	96.83%	91.76%	6.21 min	960.00 min	54	154	0.50	0.35	1	35%
Proceso C4	96.67%	94.77%	6.33 min	960.00 min	52	151	0.50	0.34	1	34%
Proceso C5	98.03%	98.03%	8.68 min	960.00 min	50	110	0.50	0.45	1	45%
Proceso C6	100.00%	100.00%	14.37 min	960.00 min	49	66	0.75	0.74	2	37%
-RTY-	90.64%						-Total-	3.25 personas		
RTY Global	68.74%									

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 4.2.6.3 Explicación de la herramienta de capacidad

En los siguientes puntos se describe cada una de las columnas que forman parte de la herramienta de estudio de capacidad:

#### 1. Columna de procesos por ensamble

Esta indica la lista y el orden según el flujo de los procesos que son parte de cada uno de los 3 subensambles que conforman la línea de producción.

#### 2. Yield

Esta columna contiene el *yield* de cada una de las estaciones, el cual se obtiene en el estudio de *yield* realizado en secciones anteriores del trabajo.

#### 3. RTY acumulado

Este es el RTY acumulado desde el final de cada subensamble hasta el proceso respectivo de cada fila en la herramienta. Por ejemplo, para el proceso C2, este es el producto del *yield* de los procesos C6, C5, C4, C3 y el mismo C2, lo que da como resultado 91.76 %.

En cuanto a este ejemplo, el cálculo determina cuánto porcentaje de unidades sin defectos se obtienen desde que se inicia el proceso C2 hasta que se termina en el proceso C6. Por consiguiente, del total de unidades que ingresen en el proceso C2, únicamente el 91.76 % de estas son unidades sin defectos al final del proceso C6.

A continuación, se brinda un ejemplo de la fórmula empleada:

$$RTY \text{ acumulado (Proc. C2)} = Yield \ C6 * Yield \ C5 * Yield \ C4 * Yield \ C3 * Yield \ C2$$

$$RTY \text{ acumulado (Proc. C2)} = 100.00\% * 98.03\% * 96.67\% * 96.83\% * 100.00\%$$

$$RTY \text{ acumulado (Proc. C2)} = 91.76\%$$

#### 4. Tiempo de ciclo

Este es el tiempo de ciclo en segundos que toma producir una unidad en cada proceso. Los datos se obtienen del estudio de tiempos realizado en secciones anteriores del trabajo.

## 5. Tiempo disponible

Acá se muestra el total de tiempo disponible que posee cada uno de los procesos y la línea de producción como tal. En este caso, en el que se cuenta con la totalidad efectiva de los turnos A y B, el tiempo disponible efectivo es de 960 minutos.

## 6. Unidades entrantes

Esta es la cantidad de unidades que deben ingresar a cada sistema productivo de cada proceso, pero se consideran las unidades por desecharse en todos los procesos subsecuentes y en el mismo proceso como tal. La fórmula empleada en esta columna es la siguiente:

$$\text{Unidades entrantes} = \frac{\text{Meta de producción del ensamble}}{\text{RTY acumulado}}$$

Para este cálculo, se utiliza un redondeo hacia arriba con 0 decimales, debido a que solo se pueden producir unidades completas y no parciales.

## 7. Capacidad por estación

Este dato es la capacidad de unidades máxima que puede producir una estación, o bien, una persona en cada uno de los procesos respectivos, pero se considera el tiempo disponible efectivo con el cual se cuenta. La fórmula empleada en esta columna es la siguiente:

$$\text{Capacidad por estación} = \frac{\text{Tiempo disponible efectivo (min)}}{\text{Tiempo de ciclo (min)}}$$

Para este cálculo se utiliza un redondeo hacia abajo con 0 decimales, ya que no resulta posible completar unidades parciales.

## 8. Personas requeridas

En esta columna se refleja la cantidad de personas requeridas para poder cumplir la producción en cada uno de los procesos. La fórmula empleada en esta columna es la siguiente:

$$\text{Personas requeridas} = \frac{\text{Unidades entrantes}}{\text{Capacidad por estación}}$$

Respecto a este cálculo, se utiliza un redondeo hacia arriba de 0.25 en 0.25 personas, con el fin de favorecer la flexibilidad del personal en la línea.

## 9. Estaciones requeridas

Esta columna muestra la cantidad de estaciones requeridas para poder cumplir la producción en cada uno de los procesos. La fórmula utilizada es la misma que en la columna anterior, sin embargo, esta no posee ningún redondeo, pues este dato se usa para calcular la utilización real en cada uno de los procesos.

## 10. Cantidad actual de estaciones

Este es el dato de la cantidad de estaciones con las cuales cuenta el *layout* actual de la línea.

## 11. Utilización por proceso

Este cálculo evidencia el porcentaje de uso que tiene cada uno de los procesos. Relacionado a esto, se toma en cuenta la cantidad de estaciones requeridas acorde al modelo planteado y se considera la cantidad de estaciones con las cuales dispone la línea en cada una de las operaciones. La fórmula empleada en esta columna es la siguiente:

$$\text{Utilización por proceso} = \frac{\text{Estaciones requeridas}}{\text{Cantidad actual estaciones}} * 100$$

#### 4.2.6.4 Resumen del personal requerido actualmente

Adicional al estudio de capacidad, se efectúa un análisis del personal requerido, con el objetivo de establecer la cantidad óptima de personal necesaria por turno para cubrir los procesos de los ensambles de la línea. El estudio de requerimiento de personal también toma en cuenta factores como el ausentismo y el desgaste del personal.

La siguiente tabla brinda un resumen de la cantidad de personal requerido con las condiciones actuales de la línea:

Tabla 4.50: Personal requerido actualmente

Personal Requerido	Turno A	Turno B
Ensamble B	5.00 personas	5.00 personas
Ensamble A	6.50 personas	6.50 personas
Ensamble C	3.25 personas	3.25 personas
<b>Total Ensamblados Neto</b>	<b>14.75 personas</b>	<b>14.75 personas</b>
<b>Personal Requerido Total</b>	<b>15.00 personas</b>	<b>15.00 personas</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la actualidad la línea de producción cuenta con 17 personas asignadas por turno, esto da un total de 34 personas. En otras palabras, con respecto a la herramienta de capacidad creada, hay 2 personas adicionales teóricamente por turno. Esta diferencia entre el dato calculado y el real sugiere una sobreasignación de personal del 13 % en cada turno. Así, existe un ahorro posible en cuanto a la mano de obra de la línea.

Un punto aclaratorio es que la compañía posee una cantidad de personal adicional en el área de producción, correspondiente al porcentaje de ausentismo registrado históricamente en la compañía. Por este motivo, no se contempla el rubro de ausentismo dentro del análisis del personal requerido.

#### 4.2.6.5 Resumen sobre la utilización actual de las estaciones de trabajo

En esta sección se proporciona un resumen y análisis de la utilización de estaciones en la línea de producción, para evaluar la eficiencia en el uso de los recursos asignados a

cada proceso; esto según la información obtenida del estudio de capacidad y tomando en cuenta las condiciones actuales y metas del proceso.

A continuación, se aprecia la tabla con el resumen de la utilización de estaciones por proceso:

Tabla 4.51: Utilización actual de las estaciones de trabajo

Ensamble B	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso B1	0.84	2	42%
Proceso B2	0.40	1	41%
Proceso B3	0.92	2	44%
Proceso B4	0.85	2	45%
Proceso B5	0.29	1	30%
Inspección de Calidad	0.43	1	45%
Proceso B6	0.24	1	26%
Ensamble A	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso A1	1.24	3	41%
Proceso A2	1.76	4	44%
Proceso A3	0.84	2	46%
Proceso A4	1.11	3	41%
Proceso A5	0.77	2	41%
Ensamble C	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso C1	0.39	1	41%
Proceso C2	0.45	1	45%
Proceso C3	0.36	1	35%
Proceso C4	0.35	1	34%
Proceso C5	0.44	1	45%
Proceso C6	0.71	2	37%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El resumen anterior revela que en toda línea existe una subutilización de las estaciones en todos los procesos, situación que puede atribuirse a un desalineamiento entre las estaciones asignadas y las realmente requeridas para cumplir con la meta de producción de 40 unidades.

Otras dos posibles razones de esta subutilización se deben, en primer lugar, a un incremento en el *yield* de los procesos con respecto a periodos anteriores, esto generaría una disminución en el requerimiento de las estaciones. Por último, también se puede deber a un decremento en la demanda que entregaba la línea de producción, por lo que de igual forma se reduciría el requerimiento de recursos.

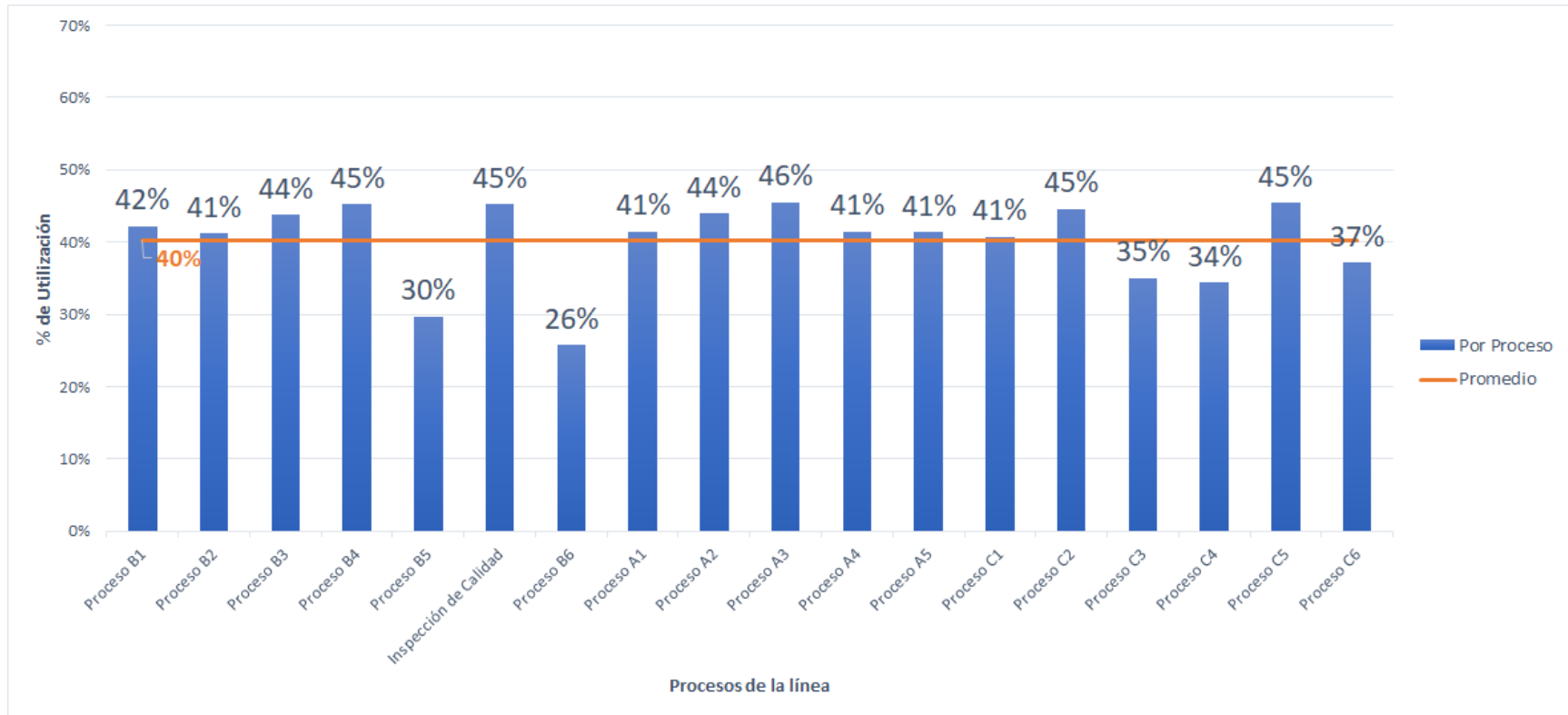
Para este último factor contribuyente, después de investigar con el Departamento de Planeamiento y el equipo de producción de la compañía, se concluye que algunos años

atrás se presenta en el mercado del producto estudiado en el proyecto un fenómeno denominado “canibalización del producto”, debido a que en el mercado se genera un incremento en la demanda de otro producto fabricado por la misma compañía, el cual cumple una función similar como dispositivo médico. Esto provoca que entre un 15 % y un 20 % de la demanda solicitada del producto migrara a adquirir esta otra tecnología ofrecida por la compañía. La razón por la que este porcentaje de clientes se inclina por este otro producto se debe a que para tratar algunos tipos de aneurismas en el sistema circulatorio, este producto se comporta de una forma más amigable y es de uso más sencillo para el doctor, además se logra un resultado de implantación del dispositivo que se adecúa de mejor manera para este tipo de condición de salud. Sin embargo, no se proyecta que se incremente este fenómeno en la demanda porque durante varios años este ha sido el comportamiento de ventas del producto y justifica mantener las metas de producción actuales

Cabe mencionar que el cuello de botella identificado en la línea es el proceso A3, el cual posee una utilización del 46 %, por lo tanto, representa el punto más crítico en términos de capacidad. Así, la eficiencia global de la línea depende en primera instancia en cómo se optimice este proceso, lo señalado en el caso de requerir mejorar la capacidad de la línea.

En el siguiente gráfico se observa el comportamiento del porcentaje de utilización en los procesos:

Figura 4.13: Utilización actual de las estaciones de trabajo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

El gráfico muestra una utilización promedio del 40 % considerando todos los procesos de la línea. Al respecto, el proceso A3 alcanza el punto más alto en el cuello de botella, con un 46 % de utilización, y el proceso B6 el punto más bajo, con un 26 %. Lo indicado evidencia que la línea de producción se encuentra produciendo a menos de la mitad de su capacidad.

### **4.3 ANALIZAR**

En esta etapa del proyecto se emplean diversas herramientas y metodologías de análisis con el objetivo de profundizar en la identificación de las causas raíz que generan las ineficiencias y el alto costo del proceso productivo.

De este modo, el propósito de esta sección de la investigación es conectar los resultados de las etapas anteriores con los objetivos del proyecto para proporcionar información clave para la toma de decisiones en las fases posteriores y alinear las posibles soluciones a las causas raíz del problema.

#### **4.3.1 Lluvia de ideas**

Para este paso, se opta por hacer uso de la lluvia de ideas inversa, un método que tiene como enfoque identificar las causas del problema antes de buscar soluciones. Este ejercicio pretende reflexionar sobre los factores que influyen en la problemática principal, por medio del diálogo constructivo entre los participantes para que cada miembro pueda generar aportes significativos y alineados al problema establecido. El proceso para la implementación de este método es el siguiente:

- 1. Selección de participantes:** se seleccionan cuidadosamente los colaboradores que participan en la actividad. Para el proyecto, se incluyen representantes clave de los departamentos de Producción, Ingeniería de Manufactura, Calidad y Excelencia Operativa.
- 2. Recolección de ideas:** los miembros del evento aportan sus ideas de manera individual mediante una recolección de papeletas con todos los aportes realizados. Esta metodología garantiza que todas las ideas sean registradas.

3. **Compilación de las ideas:** las ideas individuales se recopilan y se integran en una matriz que centraliza todos los aportes, acá se organizan y se eliminan duplicados.
4. **Representación gráfica:** los resultados de la lluvia de ideas son sintetizados en una representación visual adecuada para el público al que se le exponen.

Figura 4.14: Lluvia de ideas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 4.3.2 Diagrama de Ishikawa

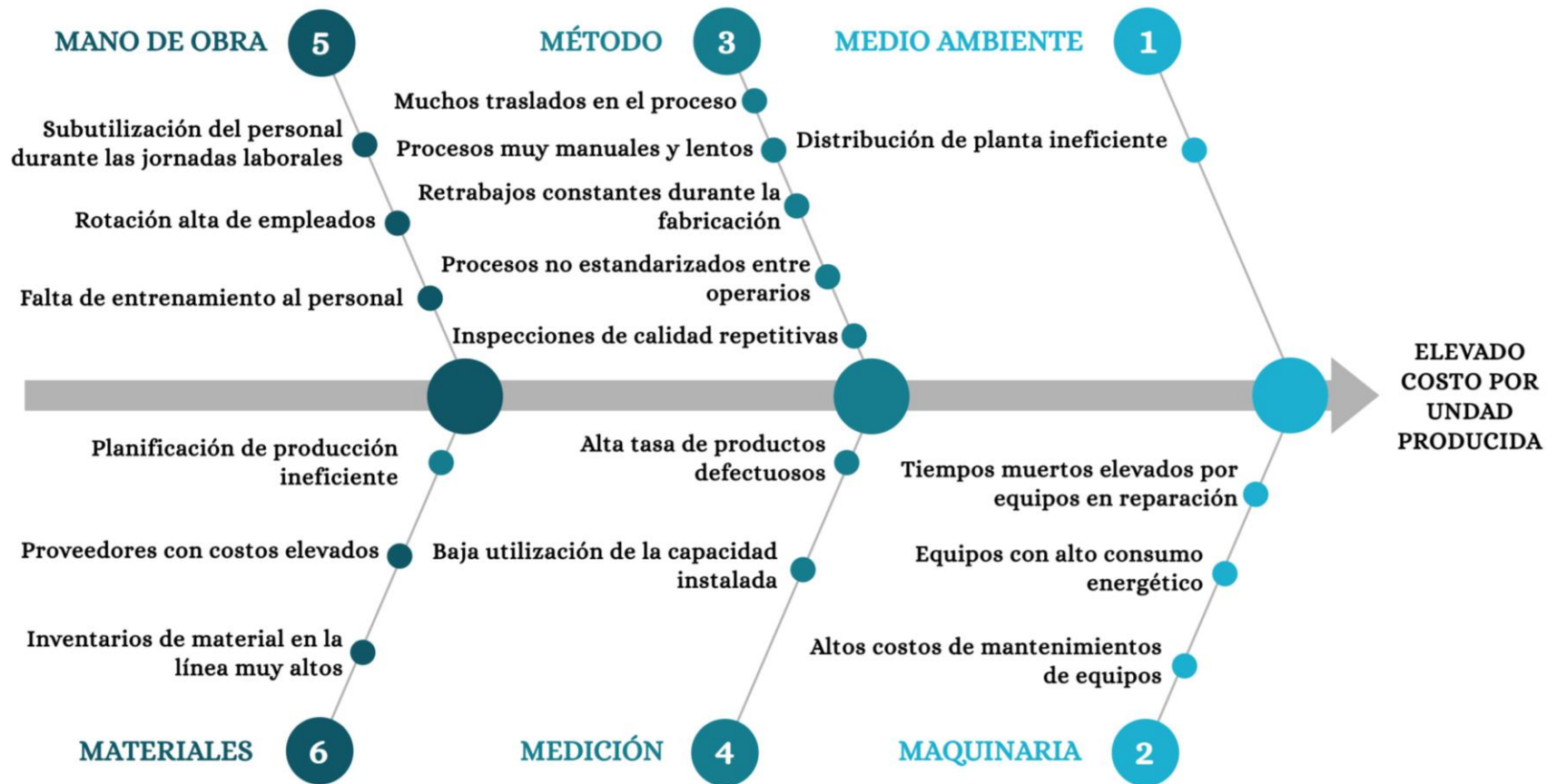
A partir de las posibles causas obtenidas durante la sesión de lluvia de ideas, se elabora un diagrama de Ishikawa con el fin de evaluar las posibles causas raíz que contribuyen al problema identificado. El objetivo es determinar los factores que afectan de forma negativa la eficiencia operativa y aumentan el costo por unidad producida en la línea de producción.

Esta es la lista de ideas recolectadas de la lluvia de ideas:

1. Muchos traslados en el proceso.
2. Procesos altamente manuales y lentos.
3. Distribución de planta ineficiente.
4. Retrabajos constantes durante la fabricación.
5. Procesos no estandarizados entre operarios.
6. Proveedores con costos elevados.
7. Subutilización del personal durante las jornadas laborales.
8. Rotación alta de empleados.
9. Falta de entrenamiento al personal.
10. Altos costos de mantenimiento de los equipos.
11. Equipos con alto consumo energético.
12. Tiempos muertos elevados por equipos en reparación.
13. Alta tasa de productos defectuosos.
14. Inspecciones de calidad repetitivas.
15. Baja utilización de la capacidad instalada.
16. Inventarios de material en la línea muy altos.
17. Planificación de producción ineficiente.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de Ishikawa desarrollado:

Figura 4.15: Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se describe cada una de las causas identificadas:

### 1. Medio ambiente

- **Distribución de planta ineficiente:** la disposición de las estaciones en el área de trabajo y el diseño de los flujos de unidades generan confusión y errores en la producción.

### 2. Maquinaria

- **Altos costos de mantenimiento de los equipos:** hay equipos críticos que requieren mantenimientos preventivos importantes y con una frecuencia considerable, lo cual genera ocasionalmente tiempos muertos.
- **Equipos con alto consumo energético:** algunas máquinas utilizadas no son eficientes en términos de consumo de energía, debido a que requieren calentar resistencias.
- **Tiempos muertos elevados por equipos en reparación:** algunos equipos experimentan reparaciones con cierta frecuencia, sin embargo, estos no son críticos en el proceso.

### 3. Método

- **Muchos traslados en el proceso:** la ubicación física de las estaciones de trabajo requiere de traslados innecesarios, lo cual aumenta los tiempos y costos.
- **Procesos muy manuales y lentos:** la falta de automatización genera procesos que requieren mano de obra humana y por un tiempo prolongado.
- **Retrabajos constantes durante la fabricación:** algunos procesos implican el retrabajar en ciertas partes de los mismos, en cierta medida esto se debe a que las operaciones no están automatizadas.
- **Procesos no estandarizados entre operarios:** hay pequeñas variaciones en los métodos manuales de algunos pasos en más de un proceso.

- **Inspecciones de calidad repetitivas:** las operaciones cuentan con múltiples verificaciones e inspecciones en el desglose de actividades, lo cual implica gran cantidad de tiempo dedicado para estas inspecciones.

#### 4. Medición

- **Alta tasa de productos defectuosos:** los defectos en los productos generan desperdicio de materiales y tiempo, lo que impacta negativamente en el costo unitario.
- **Baja utilización de la capacidad instalada:** la planta opera por debajo de su capacidad máxima, esto genera un costo fijo más alto por cada unidad producida debido a la infrautilización de los recursos disponibles.

#### 5. Mano de obra

- **Subutilización del personal durante las jornadas laborales:** algunos empleados no están siendo aprovechados al máximo, lo que representa un desaprovechamiento de uno de los recursos más costosos del proceso: la mano de obra.
- **Rotación alta de empleados:** principalmente en el turno A, la entrada y salida de personal genera costos adicionales de contratación y capacitación, así como disminuye la eficiencia en el desempeño.
- **Falta de entrenamiento al personal:** una parte de los trabajadores no cuenta con el entrenamiento de todas las operaciones de la línea, pero esto no implica en gran manera ineficiencia en el proceso.

#### 6. Materiales

- **Proveedores con costos elevados:** el requerimiento de materiales de alto costo aumenta directamente el precio de cada unidad producida. No obstante, los materiales tienen un costo inferior al de la mano de obra directa e indirecta implicada en el proceso.

- **Inventarios de material en la línea muy altos:** debido a la forma en que se distribuyen los lotes en la línea, hay inventario en proceso todos los días en más de un proceso.
- **Planificación de producción ineficiente:** la manera en que se distribuye la producción entre ambos turnos favorece la subutilización de la capacidad instalada de la línea y de los diferentes recursos.

### 4.3.3 Multivoto

Para llevar a cabo la herramienta de multivoto, se utiliza como fuente la información previamente obtenida en la lluvia de ideas y empleada para hacer el diagrama de Ishikawa. Esta herramienta permite priorizar las posibles causas del elevado costo por unidad producida al clasificarlas según su impacto como causa del problema.

En cuanto a este método de priorización, participan 5 personas de departamentos clave, seleccionadas por su experiencia y conocimiento de los procesos de la línea. Los participantes son el supervisor de producción del turno B, un operario de producción del turno A, un ingeniero de manufactura, un inspector de calidad y un técnico de excelencia operativa. El proceso por seguir para la herramienta es el siguiente:

1. Se elabora una matriz donde se enlistan las causas recopiladas con un espacio para poder calificar cada una.
2. A cada uno de los 5 participantes, se les solicita que evalúen las ideas al considerar cuál impacto tiene cada causa en el alto costo por unidad.
3. Los participantes valoran cada causa utilizando el siguiente sistema de puntuación:

Tabla 4.52: Criterios para el multivoto

Criterio	Clasificación
Impacto muy bajo	1
Impacto bajo	3
Impacto medio	5
Impacto alto	7
Impacto muy alto	9

Fuente: Elaboración propia, 2025.

4. Se recopilan y tabulan las calificaciones dadas por cada uno de los miembros. Con estos valores se calcula la puntuación total para cada una de las causas.

Tabla 4.53: Multivoto

Operación	Supervisor de Producción	Operario de Producción	Ingeniero de Manufactura	Inspector de Calidad	Técnico de Exc. Operativa	Total
Muchos traslados en el proceso	9	9	9	9	7	43
Procesos altamente manuales y lentos	9	9	7	7	9	41
Distribución de planta ineficiente	9	9	9	9	9	45
Retrabajos constantes durante la fabricación	1	3	1	1	1	7
Procesos no estandarizados entre operarios	1	1	1	3	1	7
Proveedores con costos elevados	3	3	7	5	5	23
Subutilización del personal durante las jornadas laborales	9	9	9	9	9	45
Rotación alta de empleados	3	3	1	1	3	11
Falta de entrenamiento al personal	1	3	1	1	1	7
Altos costos de mantenimientos de equipos	1	1	3	1	3	9
Equipos con alto consumo energético	3	3	1	1	1	9
Tiempos muertos elevados por equipos en reparación	3	3	1	3	1	11
Alta tasa de productos defectuosos	1	1	1	3	3	9
Inspecciones de calidad repetitivas	9	7	7	9	7	39
Baja utilización de la capacidad instalada	9	9	9	9	9	45
Inventarios de material en la línea muy altos	3	3	1	3	1	11
Planificación de producción ineficiente	9	9	9	9	9	45
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>85</b>	<b>77</b>	<b>83</b>	<b>79</b>	<b>407</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La calificación total calculada en el multivoto cumple la función de ser la materia prima del Pareto que prioriza las causas más influyentes en el problema planteado en la investigación. Sin embargo, desde que se concluye el ejercicio del multivoto, se identifican cuatro posibles causas con la puntuación máxima según la valoración de los participantes.

#### **4.3.4 Diagrama de Pareto**

Basándose en la información recolectada en el multivoto, se elabora un diagrama de Pareto que facilita determinar las causas principales del problema; de esta forma, se crean soluciones enfocadas en estas causas. Los pasos para crearlo son los siguientes:

1. En primer lugar, en una tabla se acomodan las ideas en orden descendente de acuerdo con el valor de la calificación, denominado en este caso como frecuencia absoluta.
2. En una columna se calcula la frecuencia acumulada. Respecto al primer valor, se coloca el mismo que en la frecuencia absoluta. A partir del segundo valor y hasta el último, se suman el valor de la fila anterior en la misma columna de frecuencia acumulada y el valor de la misma fila de la columna de frecuencia absoluta.
3. Se calcula el porcentaje, que consiste en la división de la frecuencia acumulada entre la sumatoria de los valores asignados.
4. Se procede a calcular la frecuencia relativa, que se refiere a cuánto porcentaje representa la frecuencia absoluta de cada fila con respecto al total de esta última columna mencionada.
5. Por último, se calcula la frecuencia relativa acumulada, que evidencia cuánto porcentaje representa la frecuencia absoluta acumulada de cada fila con respecto al total de la columna de frecuencia absoluta.

En la siguiente tabla se aprecian los datos empleados para realizar el diagrama de Pareto:

Tabla 4.54: Matriz para el diagrama de Pareto

Posición	Operación	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia Relativa	Frecuencia Relativa Acumulada
1	1. Distribución de planta ineficiente	45	45	11.1%	11.1%
2	2. Subutilización del personal durante las jornadas laborales	45	90	11.1%	22.1%
3	3. Baja utilización de la capacidad instalada	45	135	11.1%	33.2%
4	4. Planificación de producción ineficiente	45	180	11.1%	44.2%
5	5. Muchos traslados en el proceso	43	223	10.6%	54.8%
6	6. Procesos altamente manuales y lentos	41	264	10.1%	64.9%
7	7. Inspecciones de calidad repetitivas	39	303	9.6%	74.4%
8	8. Proveedores con costos elevados	23	326	5.7%	80.1%
9	9. Rotación alta de empleados	11	337	2.7%	82.8%
10	10. Tiempos muertos elevados por equipos en reparación	11	348	2.7%	85.5%
11	11. Inventarios de material en la línea muy altos	11	359	2.7%	88.2%
12	12. Altos costos de mantenimientos de equipos	9	368	2.2%	90.4%
13	13. Equipos con alto consumo energético	9	377	2.2%	92.6%
14	14. Alta tasa de productos defectuosos	9	386	2.2%	94.8%
15	15. Retrabajos constantes durante la fabricación	7	393	1.7%	96.6%
16	16. Procesos no estandarizados entre operarios	7	400	1.7%	98.3%
17	17. Falta de entrenamiento al personal	7	407	1.7%	100.0%
<b>Total</b>		<b>407</b>		<b>100%</b>	

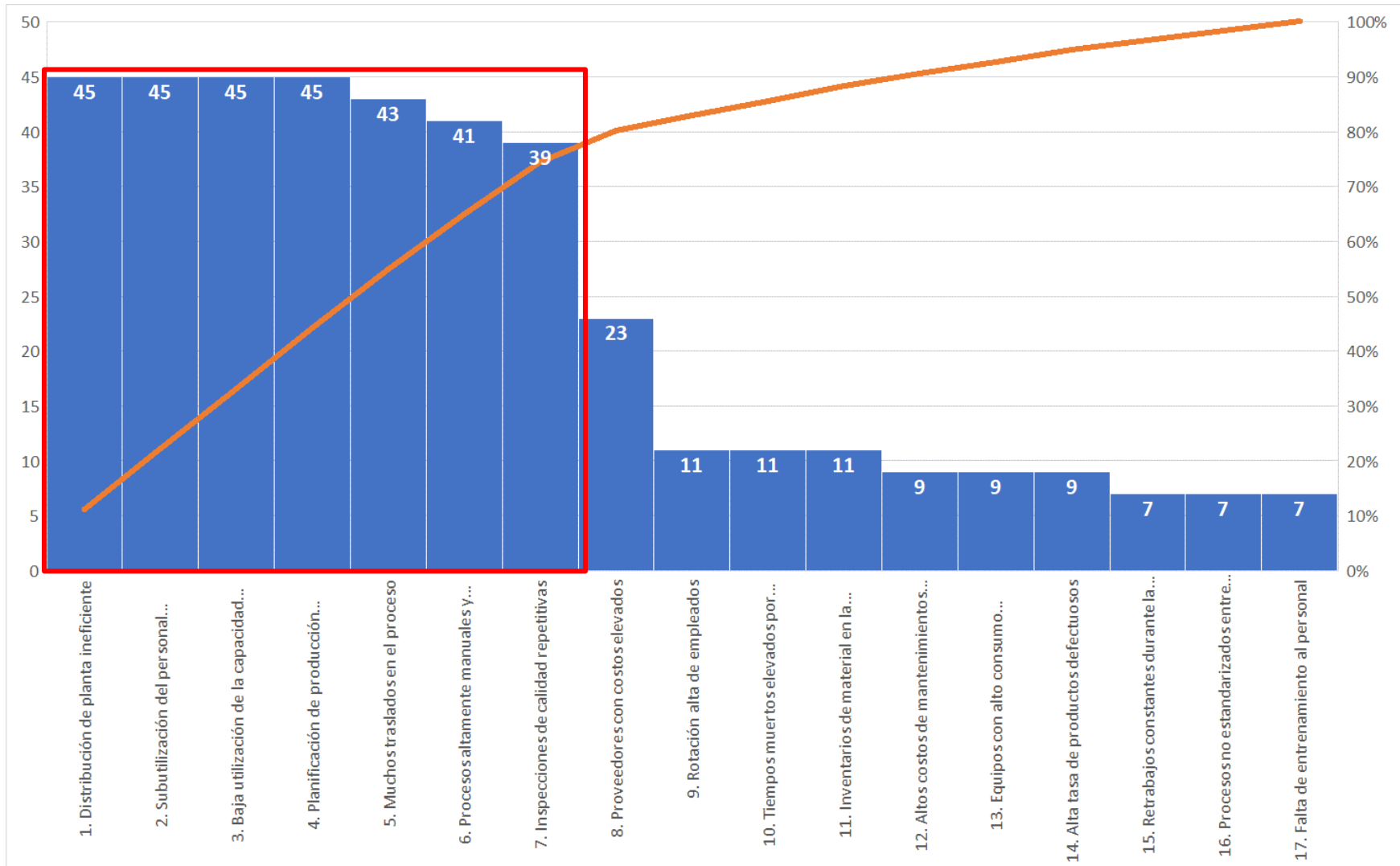
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al tabular los resultados del multivoto, se observa que las primeras 4 causas comparten un mismo peso en el porcentaje relativo, el cual es de un 11.1 % cada una, esto se debe a que todas alcanzan la valoración máxima de 45 puntos. Así, esto evidencia una posible fuerte relación entre estas causas y el problema planteado al grupo de trabajo.

Por otro lado, algunas causas tienen un puntaje muy bajo, incluso por debajo de los puntos en total, lo cual muestra que hay causas que no se consideran tan críticas ni tampoco se encuentran tan relacionadas al problema investigado.

Esta tabla es el insumo para la creación del siguiente Pareto que cumple la función de exponer de forma gráfica las causas con mayor relevancia:

Figura 4.16: Diagrama de Pareto de las causas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la ley de Pareto, la cual consiste en que el 80 % de los problemas provienen del 20 % de las causas, y según lo evaluado por el grupo de trabajo designado para esta sección del trabajo, se decide tomar como causas principales del problema las 7 con mayor puntuación, las mismas suman el 74.4 % del total de las puntuaciones otorgadas en el multivoto. Estas 7 causas son las siguientes:

1. Distribución de planta ineficiente, con el 11.1 % de los puntos asignados.
2. Subutilización del personal durante las jornadas laborales, con el 11.1 % de los puntos asignados.
3. Baja utilización de la capacidad instalada, con el 11.1 % de los puntos asignados.
4. Planificación de producción ineficiente, con el 11.1 % de los puntos asignados.
5. Muchos traslados en el proceso, con el 10.6 % de los puntos asignados.
6. Procesos altamente manuales y lentos, con el 10.1 % de los puntos asignados.
7. Inspecciones de calidad repetitivas, con el 9.6 % de los puntos asignados.

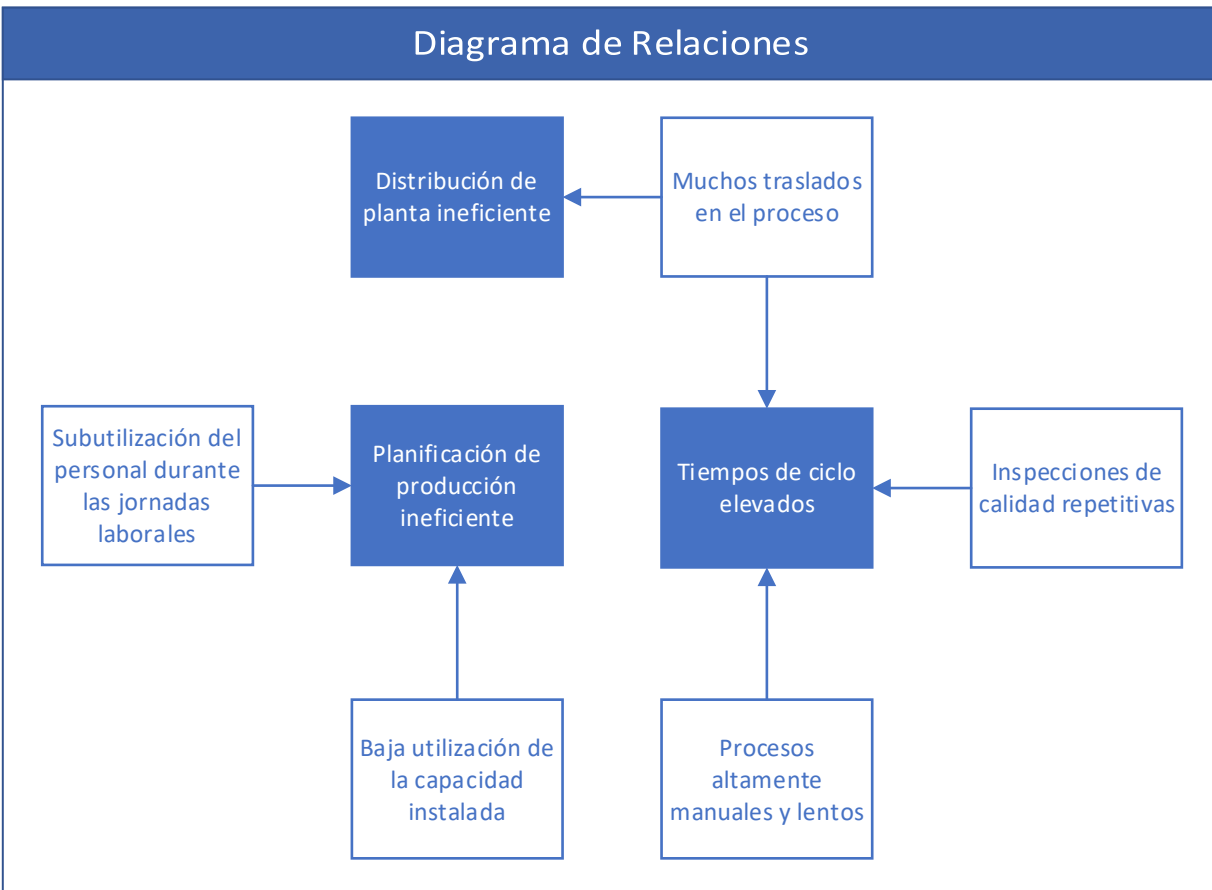
Las causas anteriores reflejan problemáticas que afectan características claves en el proceso, esto repercute de manera directa en el costo por unidad. Por mencionar algunos ejemplos, el flujo complejo de los procesos en la línea no solo incrementa el riesgo de errores, también impacta en la productividad del proceso.

Por otro lado, la subutilización del personal y de la capacidad instalada, junto con la planificación de producción ineficiente, indica un desaprovechamiento de los recursos disponibles, especialmente el desperdicio del recurso humano, lo cual muestra que se está gastando más de lo necesario en mano de obra directa e indirecta. Por último, los traslados excesivos, los procesos manuales lentos y las inspecciones repetitivas exponen la necesidad de revisar el diseño de la línea y la realización de las actividades actuales.

#### **4.3.5 Diagrama de relaciones**

Para desarrollar esta herramienta, se utilizan como base las 7 causas principales identificadas en el diagrama de Pareto. El objetivo es determinar, de acuerdo con el criterio de los mismos miembros del grupo de trabajo, cuál es la relación existente entre las causas identificadas, en caso de que haya alguna, y de este modo establecer cierta afinidad o dependencia entre las mismas.

Figura 4.17: Diagrama de relaciones de las causas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

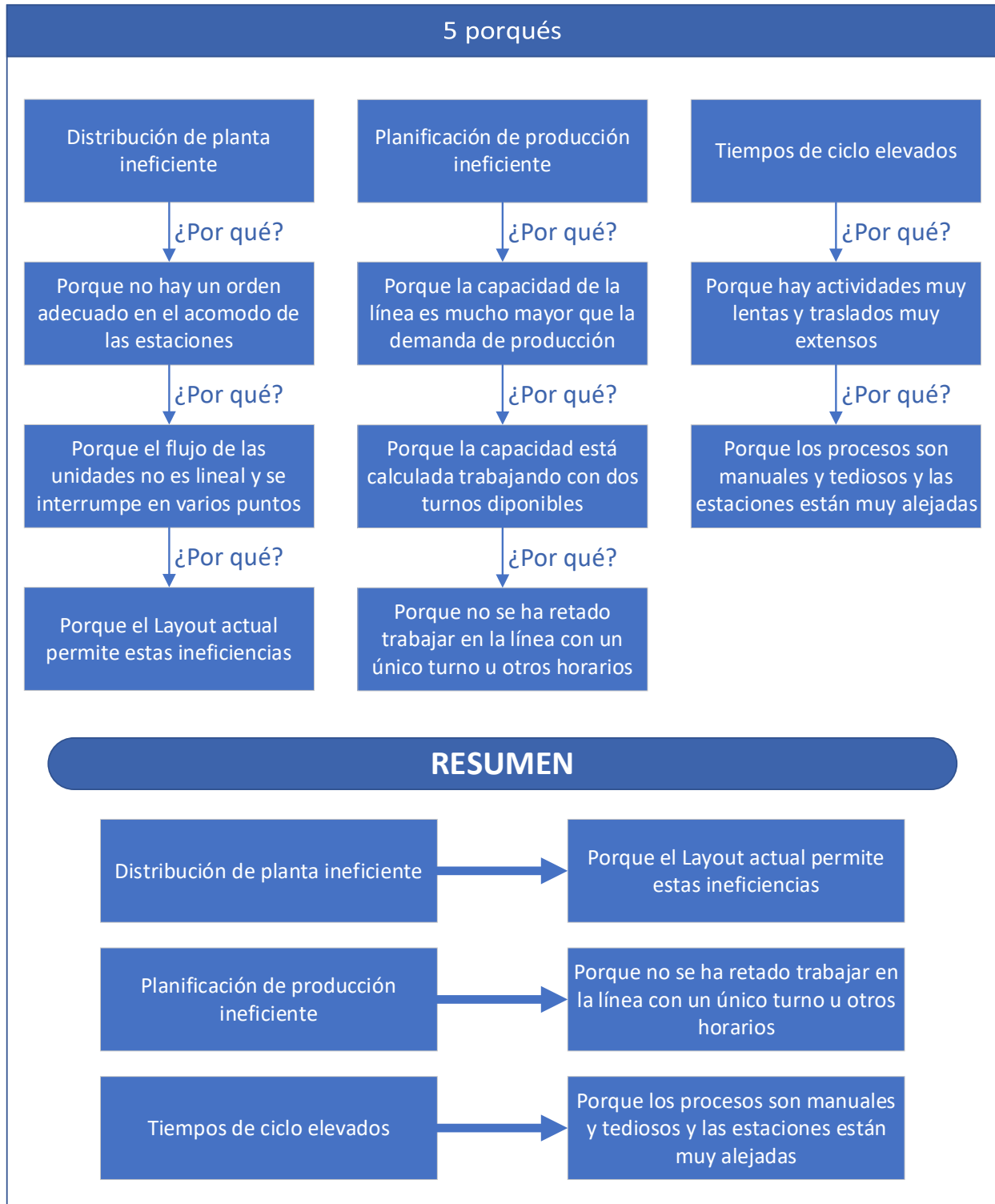
Después del ejercicio en forma grupal, se concluye que las causas del problema seleccionadas en el diagrama de Pareto se pueden resumir en 3, las cuales lo engloban de manera integral y tienen relación directa con las demás causas principales. Estas causas se encuentran en color azul en el diagrama y se enlistan a continuación.

1. Distribución de planta ineficiente.
2. Planificación de producción ineficiente.
3. Tiempos de ciclo elevados.

#### 4.3.6 Ejercicio de los 5 porqués

Luego de establecer las 3 causas principales y afines con respecto a las demás causas, se desea profundizar aún más en estas para encontrar la razón del porqué existen. Por consiguiente, se lleva a cabo un ejercicio de 5 porqués con el mismo grupo de trabajo:

Figura 4.18: Ejercicio de 5 porqués



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En conclusión, a partir de las tres causas principales, a saber: distribución de planta ineficiente, planificación de producción ineficiente y tiempos de ciclo elevados, se desglosan las causas raíz para cada una después de realizar el análisis de los 5 porqués. Respecto a la primera causa, enfocada en los problemas del flujo en los procesos, se concluye que este es afectado por una disposición inadecuada de las estaciones de trabajo, la cual permite interrupciones y discontinuidades en los diferentes subensambles en la línea de producción. Por lo tanto, el *layout* no es óptimo para el flujo de los procesos. Adicional, al identificar las causas con el equipo multidisciplinario, se menciona en reiteradas ocasiones por parte de los participantes que el *layout* representa un modo de falla en el proceso actual porque no limita la posibilidad de generar una mezcla de material debido a que la secuencia en que están colocadas las estaciones no corresponde a la secuencia de los pasos o los procesos que debe seguir el proceso. Esta característica del proceso se determina como un factor causante del evento de no conformidad reportado en el año 2024, cuando se desechan 10 unidades porque al iniciar el turno estas se encuentran para ser producidas en la primera estación del proceso del ensamble B, las cuales se completan en esta operación; sin embargo, no se cuenta con el registro de haberse procesado en una de las operaciones del ensamble C. Debido a esta falta de trazabilidad, se opta por desechar las unidades al resultar de gravedad para la calidad del producto el no ejecutar un paso del proceso, en especial al tratarse de productos médicos.

Ahora bien, el motivo por el cual se concluye que el *layout* actual es una de las causantes de esta no conformidad resulta en que al poseer un flujo interrumpido y físicamente no lineal o secuencial, se origina una mayor probabilidad de cometer el error de trasladar las unidades a una estación incorrecta, irrespetando de esta forma la secuencia de pasos que debe seguir el proceso, o bien, como sucede en el evento, posiblemente omitir una operación.

Incluso, manteniendo un margen de ganancia actual promedio de un 50 % con respecto al precio de venta, lo cual indica que el precio de venta ronda los \$ 376.76 al considerar el costo por unidad de \$ 188.38, estas 10 unidades representan un monto no percibido por la compañía de \$ 3 767.60, lo que, de no ser por el modo de falla existente en la

distribución de la planta actual, hubiese representado un ingreso para la compañía por la venta de estas unidades.

En cuanto a la planificación de producción ineficiente, se concluye que esta se origina porque la capacidad de línea se sobreestima y la planificación de la producción se da tomando en cuenta el requerimiento de producir en la totalidad de los dos turnos, a pesar de que la demanda actual del producto no lo justifica. Esta condición afecta de modo negativo la utilización de los recursos y genera una ineficiencia en el proceso.

Por último, los tiempos de ciclo elevados se deben a actividades manuales que involucran mucho tiempo y traslados extensos entre estaciones. Este último punto se debe, nuevamente, a que las estaciones de trabajo de los procesos secuenciales están ubicadas lejos unas de otras, esto incrementa los tiempos de ciclo y los costos operativos. Por consiguiente, la causa raíz de este problema se centra también en la disposición actual del *layout* de la línea.

Al tener claras las razones por las que suceden las causas, se facilita la identificación de las oportunidades de mejora y las propuestas que se pueden generar para mitigar el problema existente. Dichas propuestas se detallan en el siguiente capítulo del trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO V. PROPUESTA**

## **5.1 MEJORAR**

En esta sección se plantean las propuestas apropiadas que surgen como respuesta a las causas determinadas en la etapa anterior del trabajo. Al respecto, se busca que estas soluciones sean de implementación rápida y en conjunto generen un retorno importante sobre las posibles inversiones; asimismo, se espera el cumplimiento del objetivo principal de la investigación.

### **5.1.1 Propuesta 1: Realizar un nuevo layout en la línea**

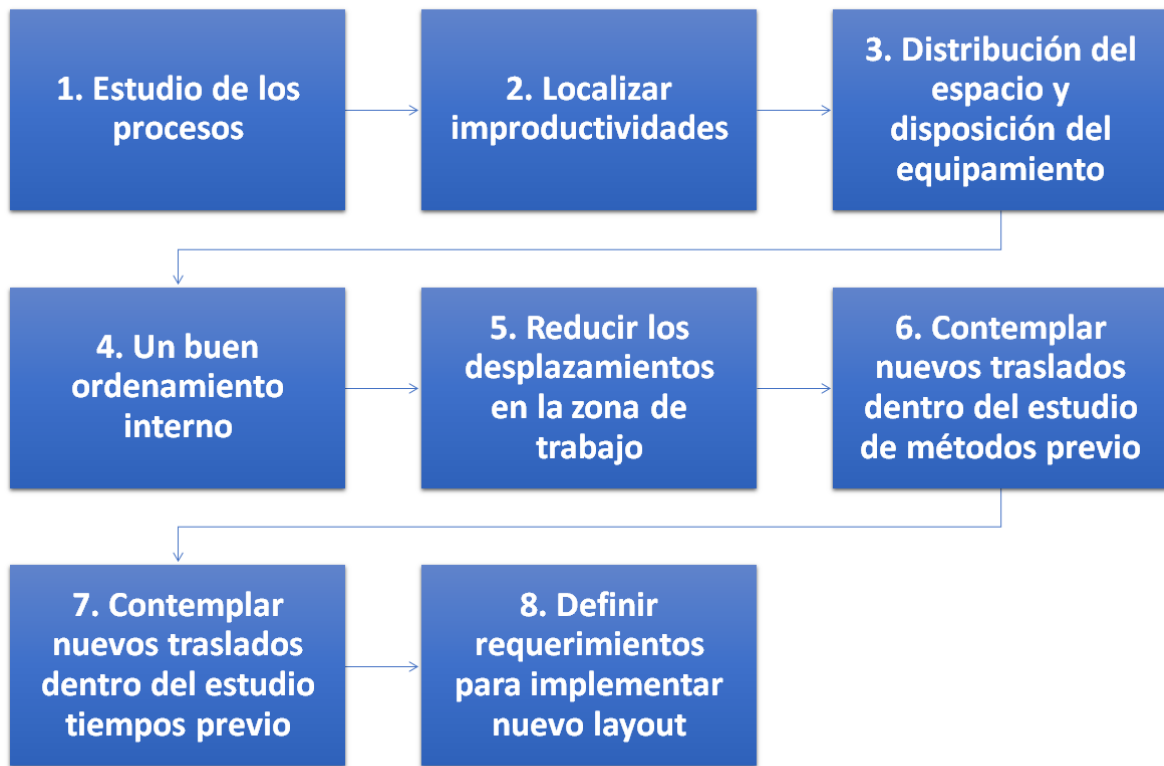
Debido a las causas “distribución de planta ineficiente” y “tiempos de ciclo elevados” y a partir de las conclusiones obtenidas en el análisis de los 5 porqué realizado para estas causas, se obtiene esta primera propuesta que pretende solucionar los problemas de cruces e interrupciones de flujo generados por la ubicación actual de las estaciones, así como disminuir los traslados que se efectúan de las unidades y, con esto, reducir el tiempo de ciclo de los procesos para disminuir los tiempos de estos traslados, los cuales no agregan ningún valor al proceso, por el contrario, representan una actividad que forma parte de los 8 desperdicios conocidos típicamente en los procesos productivos.

Para poder implementar esta mejora, se utilizan como base los primeros 5 pasos mencionados como guía según Altertecnica (2025). Posterior a estos pasos, se llevan a cabo varios análisis para justificar esta propuesta de mejora y brindar evidencia del beneficio que se espera obtener, además de explicar cuáles elementos se requieren con la intención de hacer posible esta mejora en el proceso.

Los departamentos involucrados en la implementación de la propuesta son Producción, Mantenimiento, Calibraciones y Facilidades. Cada uno de estos posee una tarea o un rol asignado expuestos en el Gantt para la propuesta 1, el mismo se presenta más adelante en el trabajo de investigación.

La siguiente figura muestra los pasos por seguir en la propuesta 1:

Figura 5.1: Pasos para implementar un nuevo layout en la línea



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se detallan todos los pasos establecidos en la figura anterior, los cuales buscan implementar la primera propuesta de mejora para el problema formulado en la investigación.

#### 5.1.1.1 Estudio de los procesos

El primer paso para llevar a cabo el nuevo *layout* es comprender en su totalidad cuáles son las características del flujo del proceso de la línea, con el fin de entender profundamente los movimientos que realizan las unidades y el personal dentro del área que involucra a los procesos estudiados. Para ello, resulta crítico comprender cada una de las actividades de las operaciones, la secuencia de los procesos y cómo interactúan entre sí cada uno de estos.

Con el propósito de efectuar este estudio, se emplean herramientas como los diagramas de flujo, el diagrama SIPOC, diagramas de relaciones entre los procesos, o bien, el diagrama de espagueti. Por medio de este análisis, se pueden detectar posibles puntos de mejora en los traslados de la línea, recorridos innecesarios y cualquier otra característica que afecte la eficiencia del proceso.

#### **5.1.1.2 Localizar improductividades**

Una vez comprendidos el funcionamiento y los traslados de los procesos, el siguiente paso consiste en identificar aquellas actividades y operaciones que no aportan valor a las unidades y, de este modo, eliminarlas o minimizarlas, ya que estas representan improductividades y afectan la eficiencia del proceso, por lo tanto, aumentan los costos operativos.

Dentro de las improductividades que se desean minimizar en la propuesta, se encuentran los movimientos o transportes innecesarios de los trabajadores y de los materiales o unidades producidas.

#### **5.1.1.3 Distribución del espacio y disposición del equipamiento**

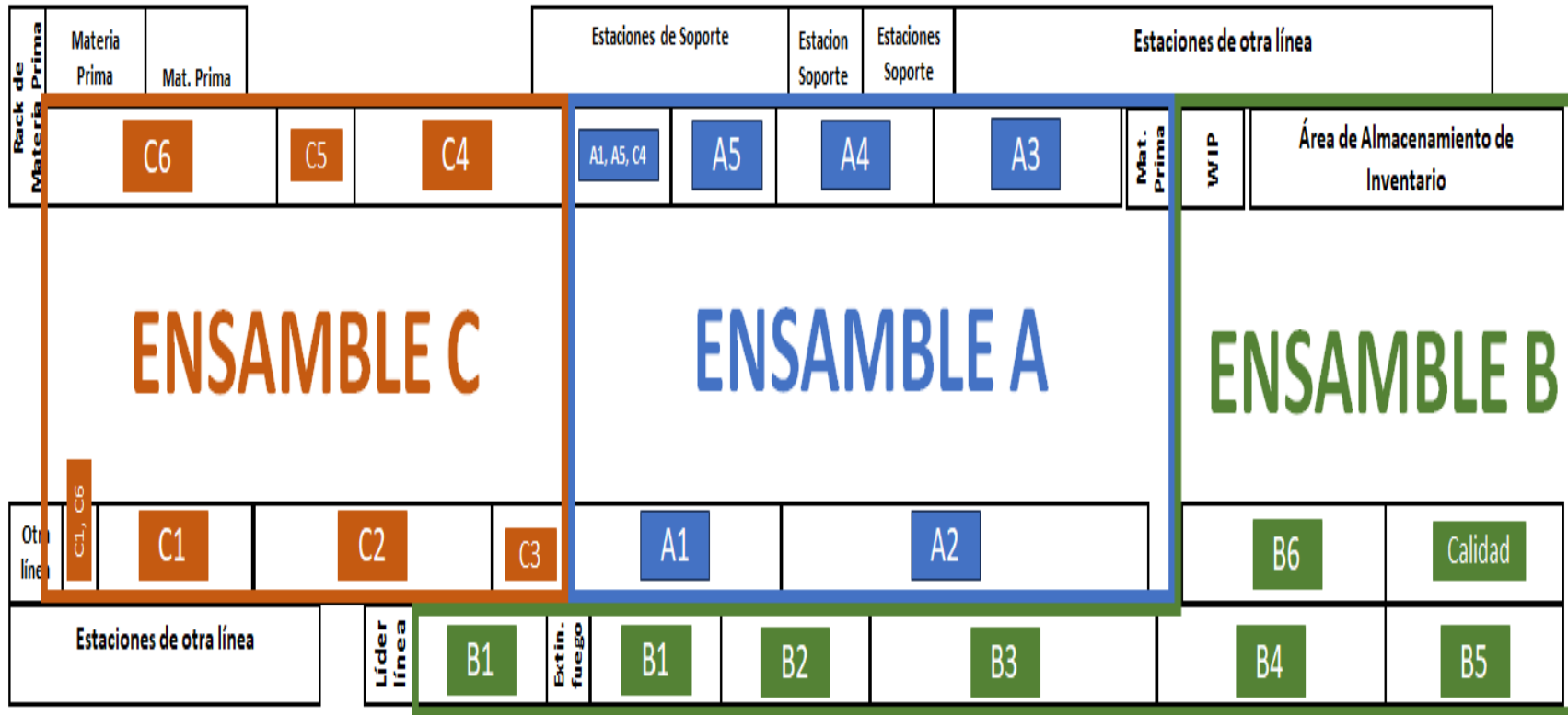
Una propuesta adecuada, real y confiable implica, en primer lugar, generar un mapeo de las estaciones y equipos ubicados en la línea de producción. Así, estos se miden y se agregan con sus dimensiones reales a un modelo en 3D de la línea en el programa SketchUp, utilizado a nivel industrial y de diseño para hacer estructuras, objetos y demás facilidades en 3D. Este modelo, con las dimensiones reales de todo lo que se encuentra en la línea de producción, se emplea como insumo principal y herramienta para diseñar el nuevo *layout* de la línea.

#### **5.1.1.4 Un buen ordenamiento interno**

Teniendo claridad del flujo del proceso, conociendo los procesos de la línea, habiendo establecido las deficiencias en los traslados del proceso y contando con el diseño en 3D de la distribución actual de la línea, ahora se puede generar la propuesta del nuevo *layout* de la línea con la modificación de los flujos de los ensambles A y C.

A continuación, se muestra la propuesta para el *layout* de la línea:

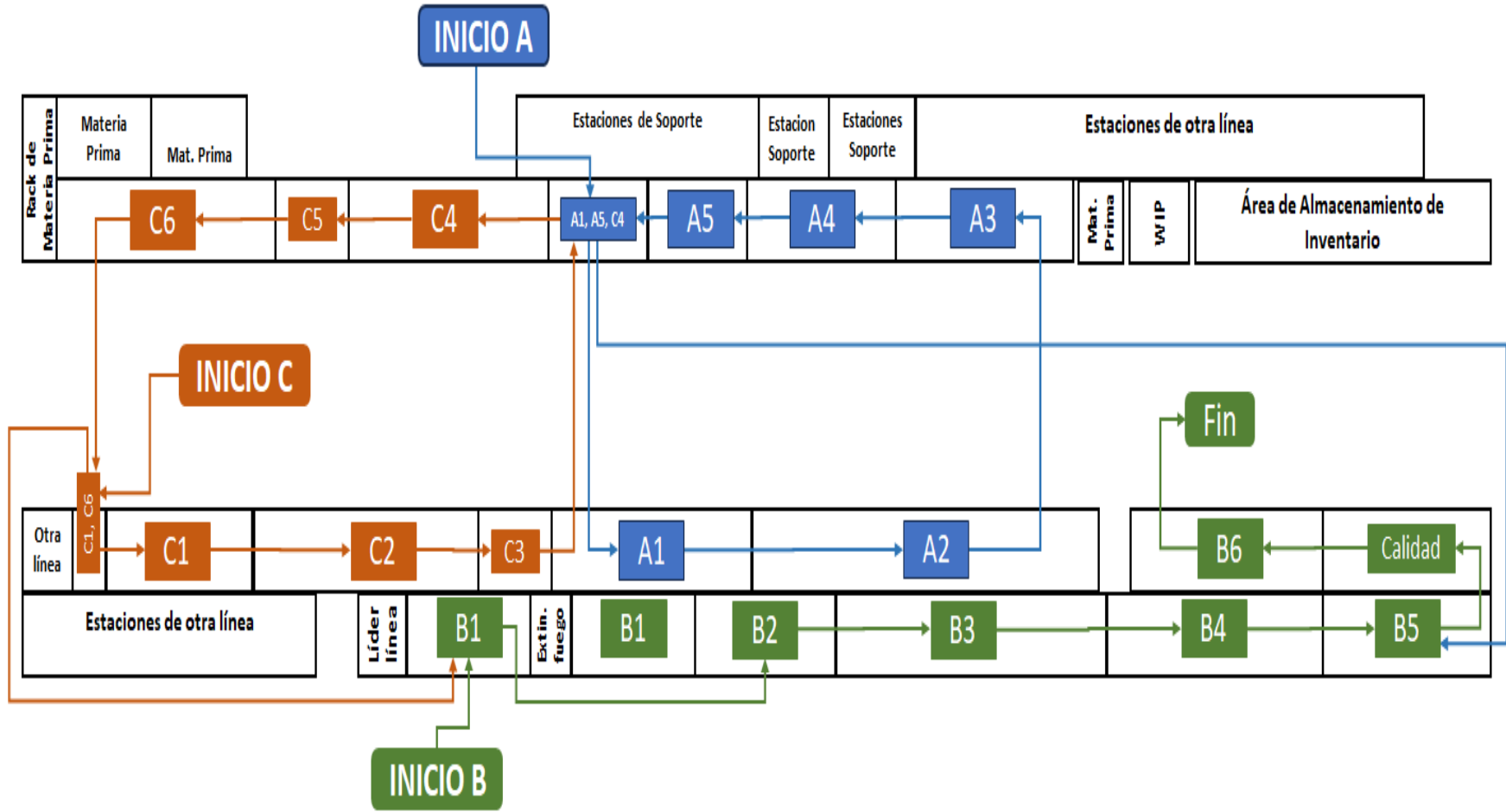
Figura 5.2: Propuesta de layout por celdas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En un inicio se contempla llevar a cabo un *layout* en forma de U para cada subensamblé, sin embargo, existen estaciones y equipos utilizados por más de un solo proceso. Además, para ambos ensamblés, la estación donde físicamente se inicia el proceso de cada ensamblé es en la que se concluye su flujo.

Figura 5.3: Diagrama de espagueti de la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Basándose en el diagrama de espagueti del *layout* actual de la línea, se genera la propuesta para el nuevo acomodo de las estaciones, el cual busca reducir las distancias recorridas y optimizar el flujo de materiales y los traslados de los operarios.

De esta manera, para el nuevo *layout* se contemplan las siguientes observaciones y puntos de mejora:

- **Enfoque en los procesos con mayor oportunidad para reducir traslados y aquellos con la mayor cantidad de interrupciones en el flujo.** Estos se encuentran en los procesos de los subensambles A y C, por este motivo el flujo del ensamble B permanece igual al *layout* actual.
- **Evitar que existan interrupciones en los flujos de la línea.** Se busca una secuencia lineal en el acomodo de las estaciones. Teniendo esto en mente, en los ensambles A y C se propone mantener un acomodo de estaciones lo más cercano posible para seguir un flujo en forma de U. No obstante, debido a que los flujos empiezan y terminan en la misma estación, el resultado no sigue completamente este flujo, más bien, tanto el flujo del ensamble A como del ensamble C siguen un flujo circular.
- **Optimizar los traslados entre los procesos.** Para poder reducir las distancias recorridas entre las estaciones, se colocan los procesos que, según el diagrama de flujo, se encuentran en una secuencia cercana entre ellos. También se pretende que existan traslados cortos hacia las estaciones ubicadas a espaldas del proceso anterior, pues estos traslados son más cortos que los desplazamientos entre estaciones posicionadas una a la par de la otra.
- **Evitar posibles mezclas entre productos de diferentes ensambles.** El riesgo de mezclas de productos es una causa constante de no conformidades en los procesos de industrias médicas, debido a la alta rigurosidad existente a lo largo de toda la producción con respecto a la trazabilidad de los productos, los materiales con los que se producen y los operarios que llevan a cabo los procesos. Por este motivo, es fundamental tomar medidas para evitar las mezclas entre productos que, incluso, son distintos y no encontrar materiales de un producto en las estaciones del otro. La solución para mitigar este riesgo es colocar las estaciones del ensamble A para que sigan un flujo aparte del ensamble C, esto acompañado

del proceso de despeje de línea habitual al inicio de cada lote conforma una protección importante contra este modo de falla o error de proceso.

- **Cumplir con los requerimientos de salud ocupacional.** Existen varias restricciones que deben cumplirse en temas de ergonomía del trabajo para poder llevar a cabo un *layout* correcto y adecuado para el trabajo de personas. Las restricciones que aplican para este caso son las distancias de pasillos, las cuales en este caso son de 2 metros entre las estaciones opuestas de cada pasillo y, en segundo lugar, se considera dejar, al menos, 2 pies (61 cm) para poder colocar el extintor contraincendios perteneciente a esta línea de producción.
- **Se centralizan los almacenamientos de materia prima en una única ubicación.** En la actualidad los puntos de almacenamiento de materia prima se distribuyen en diferentes ubicaciones de la línea, esto provoca que en muchas de las estaciones al inicio del turno se realicen traslados a más de un punto de materia prima para poder abastecer los procesos. No obstante, al centralizar la materia prima en un único punto, solo se debe efectuar un único traslado. Por otro lado, se facilita la labor para los encargados de rellenar estos almacenamientos de materia prima.

Cabe mencionar que la tarea de trasladar los materiales de producción a las estaciones, cuando estas se desabastecen, es una labor del líder de la línea, por ese motivo esta tarea no se encuentra mapeada en el diagrama de espagueti ni en el estudio de métodos de los procesos.

Únicamente se mantiene un punto almacenamiento de materia prima en la línea, ubicado a la par de las estaciones del proceso A3, debido a que contiene materiales de frecuente abastecimiento en el proceso y a los operadores se les permite tomarlos cuando los requieran.

- **Centralizar las estaciones de los departamentos de soporte en un mismo lugar.** Las estaciones de soporte se utilizan por el personal de departamentos diferentes al Departamento de Producción. Estas brindan ayuda en temas de mantenimiento o reparaciones de equipos, dudas en cuanto a criterios de calidad de las unidades, registros de producción, interpretación de procedimientos o planos, entre otros. La razón por la que se decide centralizar al personal de estos

departamentos es para que, en caso de requerirse el soporte de alguno de estos departamentos, el líder tenga claro a cuál lugar puede acudir para recibir la ayuda necesaria y en el menor tiempo posible.

#### **5.1.1.5 Reducir los desplazamientos en la zona de trabajo**

El enfoque principal de la propuesta es reducir los traslados y mejorar la eficiencia de la línea en la realización de este tipo de actividad. Por lo tanto, para poder medir esta eficiencia, se efectúa la medición y comparación de cada uno de los nuevos traslados que se estarían llevando a cabo entre las estaciones con el nuevo acomodo de la línea y el nuevo flujo físico que se estaría siguiendo por unidad producida.

Con la intención de mostrar objetivamente la mejora, se elabora una tabla en la cual se evidencia la magnitud de los traslados ejecutados actualmente contra los traslados con el nuevo *layout*. Para medir estos nuevos traslados, se utiliza el mismo modelo diseñado en 3D en el programa SketchUp, que mide la distancia entre cada una de las estaciones en su nueva ubicación, esto facilita simular el impacto de la propuesta si se implementa en la vida real.

En la siguiente tabla se aprecia esta comparación de escenarios, así como la mejora en cuanto a la magnitud de la distancia recorrida y la mejora porcentual con respecto a los traslados actuales:

Tabla 5.1: Comparación de los recorridos actuales contra los de la propuesta

Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida Actual	Distancia Recorrida Propuesta	Mejora en Recorrido	% de Mejora
Traslado 1.1	Proceso B1	Proceso B2	8.37 m	8.37 m	0.00 m	0%
Traslado 1.2	Proceso B2	Proceso B3	7.49 m	7.49 m	0.00 m	0%
Traslado 1.3	Proceso B3	Proceso B4	7.85 m	7.85 m	0.00 m	0%
Traslado 1.4	Proceso B4	Proceso B5	5.42 m	5.42 m	0.00 m	0%
Traslado 1.5	Proceso B5	Inspección de Calidad	12.27 m	12.27 m	0.00 m	0%
Traslado 1.6	Inspección de Calidad	Proceso B6	4.88 m	4.88 m	0.00 m	0%
<b>Total Ensamble B</b>			<b>46.28 m</b>	<b>46.28 m</b>	<b>0.00 m</b>	<b>0%</b>
Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida Actual	Distancia Recorrida Propuesta	Mejora en Recorrido	% de Mejora
Traslado 2.1	Inspección A1/A5/C4	Proceso A1	7.38 m	2.50 m	-4.88 m	66%
Traslado 2.2	Proceso A1	Proceso A2	11.27 m	11.27 m	0.00 m	0%
Traslado 2.3	Proceso A2	Proceso A3	6.83 m	2.51 m	-4.32 m	63%
Traslado 2.4	Proceso A3	Proceso A4	21.81 m	5.49 m	-16.32 m	75%
Traslado 2.5	Proceso A4	Proceso A5	7.28 m	4.23 m	-3.06 m	42%
Traslado 2.6	Proceso A5	Inspección A1/A5/C4	8.92 m	2.29 m	-6.63 m	74%
Traslado 2.7	Inspección A1/A5/C4	Proceso B5	29.69 m	38.49 m	8.80 m	-30%
<b>Total Ensamble A</b>			<b>93.18 m</b>	<b>66.77 m</b>	<b>-26.41 m</b>	<b>28%</b>
Nombre de Traslado	Estación Origen	Estación Destino	Distancia Recorrida Actual	Distancia Recorrida Propuesta	Mejora en Recorrido	% de Mejora
Traslado 3.1	Equipo de Fusión C1/C6	Proceso C1	4.15 m	4.15 m	0.00 m	0%
Traslado 3.2	Proceso C1	Proceso C2	26.34 m	7.97 m	-18.37 m	70%
Traslado 3.3	Proceso C2	Proceso C3	10.97 m	2.82 m	-8.15 m	74%
Traslado 3.4	Proceso C3	Inspección A1/A5/C4	6.73 m	3.30 m	-3.43 m	51%
Traslado 3.5	Inspección A1/A5/C4	Proceso C4	6.76 m	6.76 m	0.00 m	0%
Traslado 3.6	Proceso C4	Proceso C5	15.73 m	3.82 m	-11.91 m	76%
Traslado 3.7	Proceso C5	Proceso C6	4.73 m	4.73 m	0.00 m	0%
Traslado 3.8	Proceso C6	Equipo de Fusión C1/C6	4.15 m	3.00 m	-1.15 m	28%
Traslado 3.9	Equipo de Fusión C1/C6	Proceso B1	28.67 m	20.32 m	-8.35 m	29%
<b>Total Ensamble C</b>			<b>108.23 m</b>	<b>56.88 m</b>	<b>-51.35 m</b>	<b>47%</b>
<b>Total</b>			<b>247.69 m</b>	<b>169.92 m</b>	<b>-77.77 m</b>	<b>31%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al capturar las magnitudes de los traslados, siguiendo el diagrama de espagueti, se evidencia una mejora general en las distancias recorridas, esto sin tener que eliminar algún traslado, únicamente reubicando los procesos dentro del misma área que cubre la línea en la actualidad.

Algunos puntos importantes del análisis de la tabla comparativa anterior son:

- Solo surgen beneficios en los traslados de las estaciones de los procesos de los ensambles A y C, ya que únicamente en estos ensambles se realiza el cambio de *layout*.
- La mejora en el ensamble A es importante porque se reduce un 28 % de las distancias entre estaciones, lo cual implica un beneficio de 26.41 metros menos recorridos. Destaca el traslado 2.4, donde se pasa de recorrer 21.81 metros a 5.49 metros, con una diferencia de 16.32 metros menos y un porcentaje de mejora del 75 % para este recorrido específico.
- Un recorrido en el ensamble A se incrementa considerablemente, este es el traslado 2.7, con un incremento de 8.8 metros, lo que implica un 30 % más de distancia recorrida en ese traslado. Sin embargo, se contrarresta en gran manera con la reducción de los demás traslados de este ensamble y de la línea completa.
- En el ensamble C se evidencia la mejora más significativa. Con relación a esto, en la actualidad para producir una unidad de este ensamble se recorren 108.23 metros, pero con la nueva propuesta se recorrerían 56.88 metros; por ende, es una mejora del 47 % en los recorridos de este ensamble, esto representa una reducción de 51.35 metros lineales menos.
- Dentro de los traslados de los ensambles A y C se presentan casos en los que las estaciones implicadas en el traslado ya se encuentran una a la par de la otra, por lo que no se requieren cambios en estas estaciones. Debido a esto, la diferencia en el traslado es de 0 metros, al igual que el porcentaje de mejora.
- En términos generales, la distancia recorrida total para producir una unidad en la línea tiene en la actualidad una magnitud de 247.69 metros, pero al implementarse esta propuesta el recorrido pasa a ser de 169.92 metros, de este modo, es una mejora del 31 %, o bien, de 77.77 metros totales.

En la siguiente tabla se muestra un resumen por ensamble en cuanto a las mejoras hechas en las distancias recorridas en toda la línea:

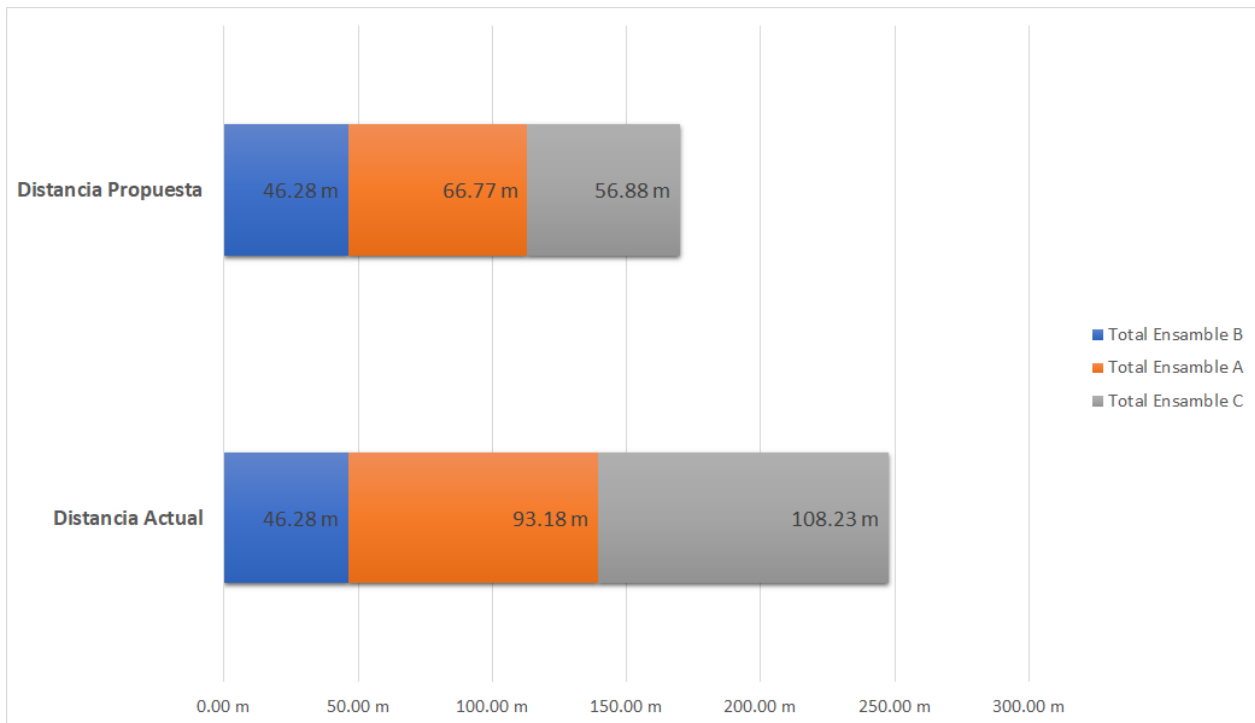
Tabla 5.2: Resumen de los recorridos de la propuesta

Ensamble	Distancia Actual	Distancia Propuesta	Mejora en Recorrido	% de Mejora
Total Ensamble B	46.28 m	46.28 m	0.00 m	0%
Total Ensamble A	93.18 m	66.77 m	-26.41 m	28%
Total Ensamble C	108.23 m	56.88 m	-51.35 m	47%
<b>Total</b>	<b>247.69 m</b>	<b>169.92 m</b>	<b>-77.77 m</b>	<b>31%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

A continuación, se grafican los datos de la tabla anterior, la cual evidencia el impacto en los traslados recorridos al implementarse la propuesta de *layout*.

Figura 5.4: Comparación de los traslados con el método actual contra la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La evidencia de la mejora en la eficiencia en los traslados de la línea se debe complementar con los cambios en el estudio de métodos y de tiempos realizados

anteriormente en el trabajo. En las siguientes secciones se indican las mejoras en cuanto a los tiempos dedicados a los traslados de la línea.

#### **5.1.1.6 Contemplar nuevos traslados dentro del estudio de métodos previo**

El estudio de métodos llevado a cabo en la investigación contempla las distancias recorridas por las personas y las unidades en cada uno de los procesos; por consiguiente, al realizar el nuevo *layout*, se deben contemplar las mejoras de traslados dentro de este análisis y, a su vez, evidenciar, por proceso, los cambios esperados.

Para poder capturar el tiempo de los traslados en el nuevo *layout*, se le solicita a una persona simular realizar estos traslados mientras se registra la nueva duración. Asimismo, se considera si la persona debe levantarse o sentarse de nuevo en una silla según la actividad implicada en la simulación. Adicional, con respecto a la distancia por recorrer, se mide la distancia entre el punto de partida y de finalización del recorrido y se toma el tiempo por cada traslado en específico.

A continuación, se observan los cambios en los cursogramas de los procesos en los que se aplican las reducciones de traslados y el tiempo de estos:

Tabla 5.3: Cursograma analítico del proceso A1 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso A1			Operación		6	6	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		3	3	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>19.38</b>	<b>19.25</b>	<b>0.7%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>37.30</b>	<b>27.54</b>	<b>26.2%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	5.43	○	□	⇒	D	▽	0.55		
2	Cortar cable a utilizar para la unidad		1	0.35	X					0.35		
3	Inspeccionar el estado del cable cortado		1	0.71			X			0.71		
4	Enrollar cable en la carrucha		1	0.34	X					0.34		
5	Trasladarse a maquina de bobinado		1	0.14	2.5			X		0.14		
6	Colocar carrucha en equipo		1	0.58		X				0.58		
7	Ejecutar proceso de bobinado		1	15.55		X				15.55		
8	Retirar unidad y carrucha de la maquina		1	0.43		X				0.43		
9	Trasladar unidad a Proceso A2		1	0.23	11.27			X		0.23		
10	Volver a estación de inspección A1/A5/C4		1	0.37	13.77			X		0.37		
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>10</b>	<b>24.13</b>	<b>27.54</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.25</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente al proceso A1, se reduce el traslado del paso 5, ya que de 7.38 metros y una duración de 0.21 minutos por unidad pasa a 2.5 metros y 0.14 minutos de tiempo por unidad. También, se reduce el traslado del paso 10 de 18.65 metros a 13.77 metros y el tiempo de traslado de 0.43 minutos a 0.37 minutos.

Tabla 5.4: Cursograma analítico del proceso A2 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso A2			Operación		7	7	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		1	1	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario B			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>27.69</b>	<b>27.57</b>	<b>0.4%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>13.66</b>	<b>5.02</b>	<b>63.3%</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	4.11		X						0.42	
2	Colocar unidad en el soporte	1	0.68		X						0.68	
3	Arreglar filamentos y patrones por toda la unidad	1	11.61		X						11.61	
4	Soldar unidad	1	5.98		X						5.98	
5	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	1.23		X						1.23	
6	Inspeccionar resultado	1	1.79		X						1.79	
7	Proceso de calentado y enfriado	1	5.00		X						5.00	
8	Retirar unidad del soporte	1	0.52		X						0.52	
9	Trasladar unidad a Proceso A3 y volver a sentarse	1	0.34	5.02	X						0.34	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>31.26</b>	<b>5.02</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27.57</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto al proceso A2, en la propuesta se reduce el traslado del paso 9, correspondiente a 13.66 metros y una duración de 0.46 minutos por unidad, a 5.02 metros y 0.34 minutos de tiempo por unidad.

Tabla 5.5: Cursograma analítico del proceso A3 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso A3			Operación		6	6	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		2	2	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		1	1	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>14.45</b>	<b>13.99</b>	<b>3.2%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>43.62</b>	<b>10.98</b>	<b>74.8%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	4.25		X					0.43	
2	Colocar la unidad en el soporte de soldadura		1	0.62		X					0.62	
3	Hacer soldaduras en extremos filosos		1	3.88		X					3.88	
4	Retirar residuos de la unidad y la mesa		1	1.87		X					1.87	
5	Inspeccionar resultado		1	2.34		X					2.34	
6	Retirar la unidad del soporte de soldadura		1	0.41		X					0.41	
7	Colocar y secar adhesivo en los extremos		1	2.93		X					2.93	
8	Inspeccionar acabado final		1	1.09		X					1.09	
9	Trasladar unidad a Proceso A4 y volver a sentarse		1	0.42	10.98	X					0.42	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>9</b>	<b>17.81</b>	<b>10.98</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13.99</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Respecto al proceso A3, se reduce el traslado del paso 9; así, se pasa de 43.62 metros y una duración de 0.88 minutos por unidad a 10.98 metros y 0.42 minutos de tiempo por unidad.

Tabla 5.6: Cursograma analítico del proceso A4 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso A4			Operación		6	6	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		2	2	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		1	1	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario B			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>19.09</b>	<b>19.01</b>	<b>0.4%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>14.56</b>	<b>8.46</b>	<b>41.9%</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	3.89		X						0.39	
2	Inspeccionar la unidad recibida	1	0.84			X					0.84	
3	Cortar segunda capa para dar tamaño	1	2.13		X						2.13	
4	Colocar segunda capa y unidad en el soporte	1	1.83		X						1.83	
5	Unir, entrelazar y alinear ambas capas	1	4.43		X						4.43	
6	Soldar uniones	1	5.95		X						5.95	
7	Retirar residuos de la unidad y la mesa	1	2.42		X						2.42	
8	Inspeccionar resultado de uniones	1	0.63			X					0.63	
9	Trasladar unidad a Proceso A5 y volver a sentarse	1	0.39	8.46			X				0.39	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>22.51</b>	<b>8.46</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19.01</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación al proceso A4, se reduce el traslado del paso 9 al modificarse de 14.56 metros y una duración de 0.47 minutos por unidad a 8.46 metros y 0.39 minutos de tiempo por unidad.

Tabla 5.7: Cursograma analítico del proceso A5 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso A5			Operación		2	2	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		2	2	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		3	3	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>14.08</b>	<b>14.00</b>	<b>0.6%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>77.22</b>	<b>81.56</b>	<b>-5.6%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	3.89		X					0.39	
2	Colocar y secar adhesivo sobre las uniones previas		1	7.99		X					7.99	
3	Inspeccionar acabado		1	1.88			X				1.88	
4	Trasladar unidad a estación de inspección A1/A5/C4		1	0.30	2.29			X			0.30	
5	Inspeccionar dimensiones en equipo de inspección		1	3.16			X				3.16	
6	Trasladar unidad a Proceso B5		5	0.64	38.49				X		0.13	
7	Volver a estación de Proceso A5		5	0.74	40.78				X		0.15	
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>7</b>	<b>18.60</b>	<b>81.56</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14.00</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente al proceso A5, se reduce el traslado del paso 4, ya que se pasa de 8.92 metros y una duración de 0.40 minutos por unidad a 2.29 metros y 0.30 minutos de tiempo por unidad. Sin embargo, el paso 6 sufre un incremento en el traslado que se realiza, al modificarse de 29.69 metros a 38.49 metros; por consiguiente, se incrementa 8.8 metros y pasa de durar 0.52 minutos a 0.64 minutos.

De igual forma sucede en el paso 7, se incrementa de 0.72 minutos a 0.74 minutos por unidad, y de una distancia de 38.61 metros a 40.78 metros. No obstante, en términos generales el tiempo de ciclo observado en el proceso se mantiene casi igual al pasar de 14.08 minutos por unidad a 14.00 minutos.

Tabla 5.8: Cursograma analítico del proceso C1 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso C1			Operación		5	5	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		3	3	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.81</b>	<b>5.31</b>	<b>8.6%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>52.68</b>	<b>15.94</b>	<b>69.7%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	4.51		X					0.46	
2	Colocar unidad en equipo de fusión		1	0.32		X					0.32	
3	Proceso de fusión		1	2.00		X					2.00	
4	Retirar unidad de equipo de fusión		1	0.25		X					0.25	
5	Trasladar unidad a estación de Proceso C1		1	0.23	4.15				X		0.23	
6	Cortar sobrante de la unidad		1	0.34		X					0.34	
7	Inspeccionar unidad		1	1.37			X				1.37	
8	Trasladar unidad a Proceso C2		1	0.22	7.97				X		0.22	
9	Volver al equipo de fusión C1/C6		1	0.12	3.82				X		0.12	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>9</b>	<b>9.36</b>	<b>15.94</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.31</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto al proceso C1, se reduce el traslado del paso 8, ya que se pasa de 26.34 metros y una duración de 0.47 minutos por unidad a 7.97 metros y 0.22 minutos de tiempo por unidad.

Adicional, se reduce el traslado del paso 9 al modificarse de 22.19 metros a 3.82 metros y el tiempo de traslado que pasa de 0.37 minutos a 0.12 minutos. La actividad 5 mantiene el mismo traslado del método anterior. De manera general, el proceso pasa de 5.81 minutos a 5.31 minutos por unidad.

Tabla 5.9: Cursograma analítico del proceso C2 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso C2			Operación		2	2	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		1	1	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>6.52</b>	<b>6.29</b>	<b>3.5%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>21.94</b>	<b>5.64</b>	<b>74.3%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	3.94		○	□	⇒	D	▽	0.40	
2	Procesar unidad en equipo de trenzado		1	4.50		X					4.50	
3	Inspeccionar unidad ya con la segunda capa		1	1.24		X					1.24	
4	Trasladar unidad a Proceso C3 y volver a sentarse		1	0.15	5.64	X					0.15	
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>4</b>	<b>9.83</b>	<b>5.64</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.29</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Respecto al proceso C2, se reduce el traslado del paso 4; de este modo, se pasa de 21.94 metros y una duración de 0.38 minutos por unidad a 5.64 metros y 0.15 minutos de tiempo por unidad. En general, el proceso pasa de 6.52 minutos a 6.29 minutos por unidad.

Tabla 5.10: Cursograma analítico del proceso C3 propuesto

Cursograma Analítico											
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1					
Información			Resumen								
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>				
Proceso: Proceso C3			Operación		4	4	0.0%				
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%				
Lugar: Medical Devices			Transporte		1	1	0.0%				
Operario:			Espera		0	0	0.0%				
Operario B			Almacenamiento		0	0	0.0%				
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0.0%</b>				
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.28</b>	<b>5.18</b>	<b>1.9%</b>				
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>13.46</b>	<b>6.60</b>	<b>51.0%</b>				
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	3.94		X					0.40	
2	Colocar adhesivo a cada extremo y secar	1	2.33		X					2.33	
3	Cortar la unidad al tamaño indicado	1	0.57		X					0.57	
4	Retirar rebabas del corte	1	0.98		X					0.98	
5	Inspeccionar bordes de la unidad	1	0.54			X				0.54	
6	Trasladar a estación Inspección A1/A5/C4 y volver	1	0.36	6.60			X			0.36	
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
<b>Total</b>		<b>6</b>	<b>8.72</b>	<b>6.60</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.18</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con relación al proceso C3, se reduce el traslado del paso 6, ya que se pasa de 13.46 metros y una duración de 0.46 minutos por unidad a 6.60 metros y 0.36 minutos de tiempo por unidad. En general, el proceso pasa de 5.28 minutos a 5.18 minutos por unidad.

Tabla 5.11: Cursograma analítico del proceso C4 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso C4			Operación		5	5	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		3	3	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario B			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>5.25</b>	<b>5.10</b>	<b>2.9%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>31.46</b>	<b>21.16</b>	<b>32.7%</b>					
#	Descripción		Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos				Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo		10	3.78		X					0.38	
2	Cortar cable a utilizar para la unidad		1	0.47		X					0.47	
3	Inspeccionar el estado del cable cortado		1	0.92			X				0.92	
4	Enrollar cable en la carrucha respectiva		1	0.51		X					0.51	
5	Trasladarse a estación de Proceso C4		1	0.20	6.76			X			0.20	
6	Ejecutar proceso de bobinado		1	1.82		X					1.82	
7	Retirar unidad y carrucha de la maquina		1	0.36		X					0.36	
8	Trasladar unidad a Proceso C5		1	0.12	3.82			X			0.12	
9	Volver a estación de inspección A1/A5/C4		1	0.32	10.58			X			0.32	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>			<b>9</b>	<b>8.50</b>	<b>21.16</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.10</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Referente al proceso C4, se reduce el traslado del paso 8; de este modo, se pasa de 15.73 metros y una duración de 0.29 minutos por unidad a 3.82 metros y 0.12 minutos de tiempo por unidad.

Por el contrario, el traslado del paso 9 sufre un ligero incremento al modificarse de 8.97 metros a 10.58 metros, lo que incrementa la duración de 0.30 minutos a 0.32 minutos. Además, la actividad 5 mantiene el mismo traslado y tiempo del método anterior. De forma general, el proceso pasa de 5.25 minutos a 5.10 minutos por unidad.

Tabla 5.12: Cursograma analítico del proceso C6 propuesto

Cursograma Analítico												
				Diagrama Núm: 1		Hoja Núm 1 de 1						
Información			Resumen									
Producto: X			<b>Actividad</b>		<b>Actual</b>	<b>Propuesta</b>	<b>Mejora</b>					
Proceso: Proceso C6			Operación		5	5	0.0%					
Método: Actual _X_ Propuesto ___			Inspección		1	1	0.0%					
Lugar: Medical Devices			Transporte		3	3	0.0%					
Operario:			Espera		0	0	0.0%					
Operario A			Almacenamiento		0	0	0.0%					
Compuesto por: Anthony Barquero Esquivel Aprobado por: Anthony Barquero Esquivel			<b>Total de Actividades</b>		<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0.0%</b>					
			<b>Tiempo unidad (minutos)</b>		<b>12.23</b>	<b>11.98</b>	<b>2.0%</b>					
			<b>Distancia (metros)</b>		<b>65.64</b>	<b>46.64</b>	<b>28.9%</b>					
#	Descripción	Cantidad (unidad)	Tiempo (min)	Distancia (metros)	Símbolos					Tiempo unid(min)	Observaciones	
1	Preparar área de trabajo	10	4.16		X						0.42	
2	Cortar materiales que forman la cuarta piel	1	2.13		X						2.13	
3	Unir las partes para formar la cuarta piel de la unidad	1	4.19		X						4.19	
4	Colocar cuarta piel a unidad	1	1.05		X						1.05	
5	Inspeccionar si hubo rupturas en la piel al colocarla	1	0.67			X					0.67	
6	Trasladar unidad a equipo de fusión C1/C6	1	0.15	3.00				X			0.15	
7	Proceso de fusión de cuarta piel en equipo	1	2.58		X						2.58	
8	Trasladar unidad a Proceso B1	1	0.29	20.32				X			0.29	
9	Volver a Proceso C6 y sentarse	1	0.50	23.32				X			0.50	
10												
11												
12												
13												
14												
15												
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>15.72</b>	<b>46.64</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11.98</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto al proceso C6, se reduce el traslado del paso 6, ya que se pasa de 4.15 metros y una duración de 0.16 minutos por unidad a 3 metros y 0.15 minutos de tiempo por unidad. También, se reduce el traslado del paso 8 al modificarse el traslado de 28.67 metros a 20.32 metros y el tiempo de traslado de 0.40 minutos a 0.29 minutos.

Por último, se reduce el traslado del paso 9; así, se pasa de 32.82 metros a 23.32 metros y el tiempo de traslado pasa de 0.63 minutos a 0.50 minutos por unidad. En general, el proceso se reduce de 12.23 minutos a 11.98 minutos por unidad.

Ahora bien, en la siguiente tabla se exponen los porcentajes de mejora esperados en términos de tiempo y distancia por cada uno de los procesos de la línea, una vez que la propuesta se implemente:

Tabla 5.13: Resumen de los porcentajes de mejora en los procesos

Ensamble B	% de Mejora Tiempo por unidad	% de Mejora Recorrido por Persona
Proceso B1	0.0%	0.0%
Proceso B2	0.0%	0.0%
Proceso B3	0.0%	0.0%
Proceso B4	0.0%	0.0%
Proceso B5	0.0%	0.0%
Inspección de Calidad	0.0%	0.0%
Proceso B6	0.0%	0.0%
Ensamble A	% de Mejora Tiempo por unidad	% de Mejora Recorrido por Persona
Proceso A1	0.7%	26.2%
Proceso A2	0.4%	63.3%
Proceso A3	3.2%	74.8%
Proceso A4	0.4%	41.9%
Proceso A5	0.6%	0.6%
Ensamble C	% de Mejora Tiempo por unidad	% de Mejora Recorrido por Persona
Proceso C1	8.6%	69.7%
Proceso C2	3.5%	74.3%
Proceso C3	1.9%	51.0%
Proceso C4	2.9%	32.7%
Proceso C5	0.0%	0.0%
Proceso C6	2.0%	28.9%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con respecto a las mejoras en el tiempo de ciclo, no se evidencia un gran impacto, el más considerable de estos se da en el proceso C1, con una mejora del 8.6 % en cuanto al tiempo de ciclo total.

No obstante, la propuesta no solo busca una mejora en relación con los tiempos de ciclo del proceso, sino que también se enfoca en la mitigación de un modo de falla existente en el flujo de las unidades en la línea. Esta falla es que el *layout* actual incrementa la posibilidad de que sucedan mezclas de unidades, o bien, la omisión de operaciones al ser difícil comprender físicamente los traslados que debe realizar el material en la línea de producción en la actualidad.

El corregir esta disposición de la distribución de planta mitigaría el desecho de unidades afectadas por este tipo de error en el proceso y que hubiesen sido parte de un evento de no conformidad de calidad; como ocurre el año anterior, evento en el que no se percibe la ganancia de 10 unidades desechadas bajo la posible omisión de un proceso operativo, las cuales representan un monto no percibido de \$ 3 767.60.

Por otro lado, los porcentajes de mejora en los recorridos que realizan las personas en la línea por operación aumentan considerablemente en casi todos los procesos implicados en el nuevo *layout* de la línea. El único proceso de los ensambles A y C que no tiene mejora en ninguna de las variables mostradas es el proceso C5, pues sus traslados se mantienen iguales al *layout* actual.

Estos porcentajes indican que la línea es más eficiente en la gestión de sus traslados si se implementa la propuesta 1 del trabajo.

#### **5.1.1.7 Contemplar nuevos traslados dentro del estudio de tiempos previo**

Teniendo mapeadas las diferencias entre los métodos actuales y los de la propuesta, así como el nuevo tiempo de ciclo esperado, se puede realizar nuevamente el análisis de tiempos de ciclo para los procesos de la línea, iniciando por enlistar en la siguiente tabla los nuevos tiempos de ciclo observados:

Tabla 5.14: Resumen de los tiempos observados actuales contra los propuestos

Operación	Op	Actual Tiempo Observado (min)	Propuesta Tiempo Observado (min)	Mejora (min)
Proceso A1	Op A	19.38	19.25	-0.13
Proceso A2	Op B	27.69	27.57	-0.12
Proceso A3	Op A	14.45	13.99	-0.46
Proceso A4	Op B	19.09	19.01	-0.08
Proceso A5	Op A	14.08	14.00	-0.08
Proceso B1	Op A	13.88	13.88	0.00
Proceso B2	Op A	6.85	6.85	0.00
Proceso B3	Op C	14.52	14.52	0.00
Proceso B4	Op A	15.67	15.67	0.00
Proceso B5	Op A	5.16	5.16	0.00
Inspección de Calidad	Op A	7.61	7.61	0.00
Proceso B6	Op C	4.46	4.46	0.00
Proceso C1	Op A	5.81	5.31	-0.50
Proceso C2	Op A	6.52	6.29	-0.23
Proceso C3	Op B	5.28	5.18	-0.10
Proceso C4	Op B	5.25	5.10	-0.15
Proceso C5	Op A	7.38	7.38	0.00
Proceso C6	Op A	12.23	11.98	-0.25
<b>Total</b>		<b>205.31</b>	<b>203.21</b>	<b>-2.10</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las diferencias en los tiempos de ciclo de la línea no son significativos, ya que el proceso con la mayor diferencia es el proceso C1 con una disminución de 0.5 minutos por unidad. Esta disminución posiblemente no represente una persona menos en el proceso, sin embargo, sí puede ayudar a reducir la utilización de las estaciones requeridas para este proceso. Esta misma conclusión aplica para todos los demás procesos que sufren una disminución en el tiempo de ciclo.

Cabe mencionar que el tiempo de todas las demás actividades de procesos, excepto los traslados, se mantienen igual, debido a que no sufren ningún cambio, esto se puede evidenciar en el estudio de métodos de la sección anterior.

A continuación, se muestra el desglose de los tiempos normales esperados para cada uno de los procesos:

Tabla 5.15: Resumen de los tiempos normales actuales contra los propuestos

Operación	Op	Actual Tiempo Normal (min)	Propuesta Tiempo Normal (min)	Mejora (min)
Proceso A1	Op A	19.97	19.83	-0.14
Proceso A2	Op B	28.52	28.40	-0.12
Proceso A3	Op A	14.89	14.41	-0.48
Proceso A4	Op B	19.66	19.59	-0.07
Proceso A5	Op A	14.51	14.42	-0.09
Proceso B1	Op A	14.31	14.31	0.00
Proceso B2	Op A	7.06	7.06	0.00
Proceso B3	Op C	14.96	14.96	0.00
Proceso B4	Op A	16.14	16.14	0.00
Proceso B5	Op A	5.32	5.32	0.00
Inspección de Calidad	Op A	7.84	7.84	0.00
Proceso B6	Op C	4.60	4.60	0.00
Proceso C1	Op A	5.99	5.47	-0.52
Proceso C2	Op A	6.72	6.48	-0.24
Proceso C3	Op B	5.44	5.34	-0.10
Proceso C4	Op B	5.41	5.26	-0.15
Proceso C5	Op A	7.61	7.61	0.00
Proceso C6	Op A	12.60	12.34	-0.26
<b>Total</b>		<b>211.55</b>	<b>209.38</b>	<b>-2.17</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Las variables consideradas para determinar el tiempo normal de cada proceso se mantienen igual en todos los casos, por este motivo lo único que se realiza es multiplicar el factor calculado por cada proceso en el estudio de tiempos actual por el nuevo tiempo de ciclo observado esperado.

Seguidamente, se aprecia el desglose de los tiempos estándar esperados con la propuesta implementada para cada uno de los procesos:

Tabla 5.16: Resumen de los tiempos estándar actuales contra los propuestos

Operación	Op	Actual Tiempo Estandar (min)	Propuesta Tiempo Estandar (min)	Mejora (min)
Proceso A1	Op A	23.37	23.21	-0.16
Proceso A2	Op B	32.80	32.66	-0.14
Proceso A3	Op A	16.98	16.43	-0.55
Proceso A4	Op B	23.01	22.93	-0.08
Proceso A5	Op A	16.55	16.44	-0.11
Proceso B1	Op A	16.32	16.32	0.00
Proceso B2	Op A	8.05	8.05	0.00
Proceso B3	Op C	17.06	17.06	0.00
Proceso B4	Op A	18.40	18.40	0.00
Proceso B5	Op A	6.07	6.07	0.00
Inspección de Calidad	Op A	9.18	9.18	0.00
Proceso B6	Op C	5.48	5.48	0.00
Proceso C1	Op A	7.07	6.46	-0.61
Proceso C2	Op A	7.93	7.65	-0.28
Proceso C3	Op B	6.21	6.09	-0.12
Proceso C4	Op B	6.33	6.16	-0.17
Proceso C5	Op A	8.68	8.68	0.00
Proceso C6	Op A	14.37	14.07	-0.30
<b>Total</b>		<b>243.86</b>	<b>241.34</b>	<b>-2.52</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La categorización de las variables empleadas para los tiempos estándar actuales en cada proceso se mantiene igual en todos los casos; por consiguiente, solo se multiplica el factor calculado para cada proceso por el nuevo tiempo de ciclo normal esperado, pues las condiciones y características de cada operación no son afectadas por la implementación de la propuesta.

#### 5.1.1.8 Definir los requerimientos para implementar el nuevo layout

Para poder llevar a cabo el nuevo *layout* de la línea, se debe cumplir con todos los requisitos que la compañía solicita, los cuales se resumen en contar con la evaluación y el visto bueno por parte de los distintos departamentos aprobadores. Estos requerimientos y aprobadores se enumeran a continuación:

1. Se debe tener una revisión y contar con la aprobación por parte del Departamento de Producción de ambos turnos, así como del Departamento de Ingeniería de Manufactura, al ser los dueños del proceso.
2. Contar con la aprobación por parte del Departamento de Salud Ocupacional, esto en cuanto a temas regulatorios y de seguridad del personal.
3. Poseer la aprobación por parte del Departamento de Calidad y Confiabilidad, porque al trabajar en un cuarto limpio se debe informar a este departamento y contar con su aprobación antes de realizar cualquier movimiento dentro de estas facilidades, lo anterior ya que este departamento tiene la función de validar las condiciones del cuarto limpio y asegurar su inocuidad.
4. Tener una revisión en sitio con los miembros del Departamento de Mantenimiento y Facilidades y comprobar la viabilidad del movimiento. Lo anterior porque al mover estaciones y equipos y requerir su instalación en otra posición del plano, se debe evaluar si el nuevo lugar cuenta con las conexiones necesarias y las facilidades son aptas para el movimiento. De igual forma, el equipo de mantenimiento debe estar completamente al tanto de los equipos por mover, pues ellos son los encargados de reconectar y cualificar posteriormente los equipos para ser aptos y estar disponibles para el uso de los operadores después de concluir el movimiento de estaciones.
5. Por último, entre todos los departamentos se establece un rango de fechas en el cual se puede llevar a cabo la ejecución del movimiento. Al igual que el equipo de mantenimiento, se requiere definir la cantidad de personal técnico necesario para poder ejecutar el movimiento y los días requeridos. Con base en este dato, se definen las mejores fechas para hacer el cambio de *layout*.

Todos los puntos anteriores se toman en cuenta y se realizan las sesiones pertinentes con los departamentos, interesados e involucrados para poder hacer realidad la propuesta.

Al concluir las sesiones, se cuenta con la aprobación de todos los departamentos, a saber, Mantenimiento, Producción de ambos turnos, Calidad y Confiabilidad, Ingeniería de Manufactura, Salud Ocupacional y Facilidades, porque la propuesta de *layout* cumple con todas regulaciones que deben evaluar los encargados de las distintas áreas.

Asimismo, no se requieren facilidades adicionales debido a que las nuevas ubicaciones para todas las estaciones cuentan con las conexiones y el espacio necesarios para su reubicación.

Con respecto a la cantidad de días requeridos para el movimiento, el equipo de mantenimiento determina que se requieren 8 técnicos de mantenimiento y 1 técnico de calibraciones, además son necesarios 2 días para ejecutar el nuevo *layout* y llevar a cabo todas las conexiones nuevamente de los equipos, así como la verificación de estos. Por último, se requiere un tercer día en el que se concluyen las cualificaciones de los equipos y se dejan listos para el retorno de las labores de producción posterior al cambio de *layout*.

En cuanto a las fechas propuestas para implementar este movimiento de la línea, se establece entre el 9 de julio y el 11 de julio, porque la planta de producción se detiene y el personal sale a vacaciones durante estos días, mientras que el personal de los departamentos de Mantenimiento y Facilidades los aprovecha para hacer reparaciones en equipo y estructuras, así como ejecutar cambios de *layout*. Esto último es el caso puntual en este proyecto, por este motivo, y para no interrumpir días productivos, se definen estas fechas de ejecución para la propuesta 1 del trabajo de investigación.

### **5.1.2 Propuesta 2: Restructurar el plan de producción y la mano de obra**

Referente a la segunda causa, es decir, “planificación de producción ineficiente”, y tomando en cuenta las conclusiones obtenidas en el análisis de los 5 porqués realizado para esta causa, se desarrolla la segunda propuesta de este trabajo de investigación.

El objetivo principal de esta propuesta es reducir el costo de la mano de obra empleada en la producción del volumen requerido por demanda en la línea de producción estudiada, esto al fabricar todo el plan de producción únicamente en el turno A.

Al respecto, el volumen de producción en la actualidad es de 40 unidades por día, distribuidas en 21 unidades producidas en el turno A y 19 unidades producidas en el turno B, esta diferencia se debe a que el turno B dispone de una hora menos de tiempo disponible para producir debido a su jornada habitual.

Además, al consultarle al Departamento de Planeación de la compañía, se indica que no se espera tener variaciones en este volumen de producción por, al menos, los próximos

16 meses (**anexo 1**). Esta constancia en la producción diaria se debe a que la demanda de los clientes, por ende, las ventas del producto, no se espera que se incrementen o decaigan lo suficiente como para efectuar cambios en la producción esperada al día.

Los departamentos involucrados en la implementación de la propuesta son Producción, Entrenamiento, Planeamiento y Transferencias. Cada uno de estos departamentos posee una tarea o un rol asignado expuestos en el Gantt para la propuesta 2, el cual se presenta más adelante en la investigación.

En la siguiente figura se mencionan los pasos por seguir para implementar la propuesta 2:

Figura 5.5: Pasos para implementar la propuesta 2



Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 5.1.2.1 Definir un nuevo plan de producción diario

Teniendo claridad del volumen necesario de producción al día para suplir la demanda de los clientes, se busca generar una distribución de la producción entre ambos turnos y que sea lo más eficiente posible para los costos del producto. Con esta finalidad, se elabora la siguiente propuesta de distribución de la producción:

Tabla 5.17: Propuesta de segregación del volumen de producción

Turno	Producción Diaria	Producción Diaria Propuesta
Turno A	21.0 unidades	40.0 unidades
Turno B	19.0 unidades	0.0 unidades
<b>Total</b>	<b>40.0 unidades</b>	<b>40.0 unidades</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con la tabla anterior, la propuesta consiste en producir únicamente las 40 unidades requeridas en el turno A, ya que a nivel de costos y de capacidad productiva es el turno que ofrece una mayor eficiencia en relación con la mano de obra requerida para producir.

La razón principal por la cual se afirma que la mano de obra es más productiva en el turno A es porque cada turno cuenta con la misma cantidad de recursos para la mano de obra directa e indirecta y debido a las horas que se pagan como tiempo y medio en el turno B, que dan como resultado un total de 9.5 horas pagadas, las mismas que en el turno A, la suma del costo de mano de obra directa e indirecta anual de cada turno resulta el mismo. Es decir, tanto el turno A como el turno B tienen un costo de mano de obra total de \$ 897 894.40. Ahora bien, de este monto total anual, \$ 304 427.50 son de mano de obra directa por turno y \$ 144 519.70 de mano de obra indirecta anual por cada turno. Considerando el costo mencionado y que el turno A produce 2 unidades más al día (un 11 % más de producción) en comparación con la producción esperada del turno B, se puede concluir que el turno A es más eficiente que el turno B.

Sin embargo, para poder producir solo en el turno A, se debe verificar la viabilidad y los requerimientos con el objetivo de que esta propuesta sea posible. Estos puntos se exponen en las siguientes secciones del trabajo.

### 5.1.2.2 Establecer requerimientos para un nuevo plan de producción

Con el fin de poder cumplir el plan de producción establecido, el cual implica correr únicamente en el turno A con el mismo volumen diario de 40 unidades, se debe hacer una evaluación de si la línea de producción cuenta con todas las estaciones y equipos requeridos para alcanzar esta producción en un menor tiempo disponible. En cuanto a esta evaluación, se requiere la herramienta de capacidad creada anteriormente.

#### **5.1.2.2.1 Herramienta de capacidad con el escenario de la propuesta**

Al emplear como base la herramienta de capacidad mostrada y explicada en el paso “definir”, se simula el escenario de producción planteado para la propuesta 2. Las diferencias son que se simula el proceso trabajando con un tiempo disponible de 510 minutos, los cuales representan el tiempo disponible del turno A solamente, y se cargan los nuevos tiempos del ciclo estándar en la herramienta para los procesos beneficiados con el nuevo *layout* y la reducción de tiempos por los traslados establecidos en la propuesta 1.

Por consiguiente, el volumen de producción esperado al final de la línea continúa siendo de 40 unidades. También el *yield* que posee cada proceso se mantiene y todas las demás columnas de la herramienta conservan las mismas fórmulas explicadas previamente; no obstante, los resultados de estas varían debido a los 2 cambios realizados en la herramienta. Esto significa que la cantidad de personal y estaciones requeridas, así como la utilización de estas últimas varían con respecto a la herramienta del escenario de producción actual.

A continuación, se expone la herramienta de capacidad simulando el escenario del plan de producción planteado en la propuesta 2 y los tiempos de ciclo de la propuesta 1:

Tabla 5.18: Herramienta de capacidad, propuesta

Ensamble B	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso B1	99.47%	82.15%	16.32 min	510.00 min	49	31	1.75	1.58	2	79%
Proceso B2	100.00%	82.59%	8.05 min	510.00 min	49	63	1.00	0.78	1	78%
Proceso B3	96.98%	82.59%	17.06 min	510.00 min	49	29	1.75	1.69	2	84%
Proceso B4	100.00%	85.16%	18.40 min	510.00 min	47	27	1.75	1.74	2	87%
Proceso B5	99.02%	85.16%	6.07 min	510.00 min	47	84	0.75	0.56	1	56%
Inspección de Calidad	94.91%	86.01%	9.18 min	510.00 min	47	55	1.00	0.85	1	85%
Proceso B6	90.62%	90.62%	5.48 min	510.00 min	45	93	0.50	0.48	1	48%

-RTY- 82.15%

-Total- 8.50 personas

Ensamble A	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso A1	99.94%	92.31%	23.21 min	510.00 min	51	21	2.50	2.43	3	81%
Proceso A2	99.10%	92.37%	32.66 min	510.00 min	51	15	3.50	3.40	4	85%
Proceso A3	99.94%	93.21%	16.43 min	510.00 min	51	31	1.75	1.65	2	82%
Proceso A4	94.76%	93.26%	22.93 min	510.00 min	51	22	2.50	2.32	3	77%
Proceso A5	98.42%	98.42%	16.44 min	510.00 min	48	31	1.75	1.55	2	77%

-RTY- 92.31%

-Total- 12.00 personas

Ensamble C	Yield	RTY Acumulado	Tiempo de Ciclo	Tiempo Disponible	Unidades Entrantes	Capacidad por Estación	Personas Requeridas	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual Estaciones	Utilización por Proceso
Proceso C1	98.78%	90.64%	6.46 min	510.00 min	55	78	0.75	0.71	1	71%
Proceso C2	100.00%	91.76%	7.65 min	510.00 min	54	66	1.00	0.82	1	82%
Proceso C3	96.83%	91.76%	6.09 min	510.00 min	54	83	0.75	0.65	1	65%
Proceso C4	96.67%	94.77%	6.16 min	510.00 min	52	82	0.75	0.63	1	63%
Proceso C5	98.03%	98.03%	8.68 min	510.00 min	50	58	1.00	0.86	1	86%
Proceso C6	100.00%	100.00%	14.07 min	510.00 min	49	36	1.50	1.36	2	68%

-RTY- 90.64%

-Total- 5.75 personas

RTY Global 68.74%

Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 5.1.2.2.2 Resumen del personal requerido actualmente

De acuerdo con la herramienta de capacidad del proceso mostrada en la sección anterior, para cumplir con la propuesta 2 se deben hacer cambios en la cantidad de personas requeridas por ensamble y por turno.

A continuación, se facilita un resumen del personal necesario en la línea:

Tabla 5.19: Personal requerido según la propuesta

Personal Requerido	Turno A	Turno B
Ensamble B	8.50 personas	0.00 personas
Ensamble A	12.00 personas	0.00 personas
Ensamble C	5.75 personas	0.00 personas
<b>Total Ensamblados Neto</b>	<b>26.25 personas</b>	<b>0.00 personas</b>
<b>Personal Requerido Total</b>	<b>27.00 personas</b>	<b>0.00 personas</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Analizando el resumen anterior, se concluye que la cantidad de personas requeridas en el turno A son 27 operarios, mientras que en el turno B, al no tener un requerimiento de unidades por producir, es de 0 operarios.

A continuación, se indica una comparativa entre la cantidad de personal disponible actual en la línea y la cantidad de personas requeridas, así como la diferencia existente entre cada turno de producción:

Tabla 5.20: Comparación del personal actual vs. el personal propuesto

Personal Requerido	Personal Actual	Personal Requerido	Diferencia (Mejora)
Turno A	17.00 personas	27.00 personas	10.00 personas
Turno B	17.00 personas	0.00 personas	-17.00 personas
<b>Total</b>	<b>34.00 personas</b>	<b>27.00 personas</b>	<b>-7.00 personas</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Acerca de la tabla anterior, resulta importante mencionar que el requerimiento de personas supera en 10 operarios la cantidad disponible en el turno A, por lo que debe completarse para poder cumplir con el escenario de producción. Por otro lado, en el turno

B se puede disponer de la totalidad del personal actual, el cual se conforma por 17 personas.

La diferencia entre el personal requerido de más, a saber, 10 personas, y el personal sobrante, un total de 17 personas, da un resultado de 7 personas que ya no se requieren para este proceso y se pueden utilizar como mano de obra directa en otra línea de producción o algún proyecto de transferencias de producto a la planta en Costa Rica.

En cuanto al personal empleado como mano de obra indirecta en el turno B, quienes suman un total de 5 personas, en específico, un supervisor, un ingeniero de manufactura, un entrenador de producción, el líder la línea y un operador de materiales, tienen un destino similar al de los operarios que componen la mano de obra directa de esta línea de producción.

En conclusión, si se implementara la propuesta 2, se tendría un ahorro de 7 operarios y 5 recursos de mano de obra indirecta.

### **5.1.2.3 Establecer la nueva utilización y verificar la viabilidad de la propuesta**

Para verificar si es posible implementar la propuesta 2, la cual busca planear la producción solo en el turno A, se debe contemplar que con la cantidad de equipos y estaciones que posee la línea de producción y trabajando únicamente en el tiempo productivo disponible de 510 minutos del turno A, se pueda producir la demanda de 40 unidades al día.

Así, se emplea el indicador de utilización de las estaciones, el mismo se calcula en la herramienta de capacidad diseñada y se explica el cálculo en la sección “definir” del trabajo de investigación. Este indicador compara la cantidad de estaciones que posee la línea en cada operación contra la cantidad de estaciones requeridas para cada uno de los procesos. Por lo tanto, si el valor de la utilización es muy cercano o superior al 100 %, esto significa que el proceso está cerca de superar o supera su capacidad y resulta imposible producir la cantidad de unidades esperadas.

En la siguiente tabla se muestra la utilización esperada para cada uno de los procesos si se implementara la propuesta 2 en la línea:

Tabla 5.21: Utilización de las estaciones de trabajo con la propuesta 2

Ensamble B	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual	Utilización por Proceso
Proceso B1	1.58	2	79%
Proceso B2	0.78	1	78%
Proceso B3	1.69	2	84%
Proceso B4	1.74	2	87%
Proceso B5	0.56	1	56%
Inspección de Calidad	0.85	1	85%
Proceso B6	0.48	1	48%
Ensamble A	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual	Utilización por Proceso
Proceso A1	2.43	3	81%
Proceso A2	3.40	4	85%
Proceso A3	1.65	2	82%
Proceso A4	2.32	3	77%
Proceso A5	1.55	2	77%
Ensamble C	Estaciones Requeridas	Cantidad Actual	Utilización por Proceso
Proceso C1	0.71	1	71%
Proceso C2	0.82	1	82%
Proceso C3	0.65	1	65%
Proceso C4	0.63	1	63%
Proceso C5	0.86	1	86%
Proceso C6	1.36	2	68%

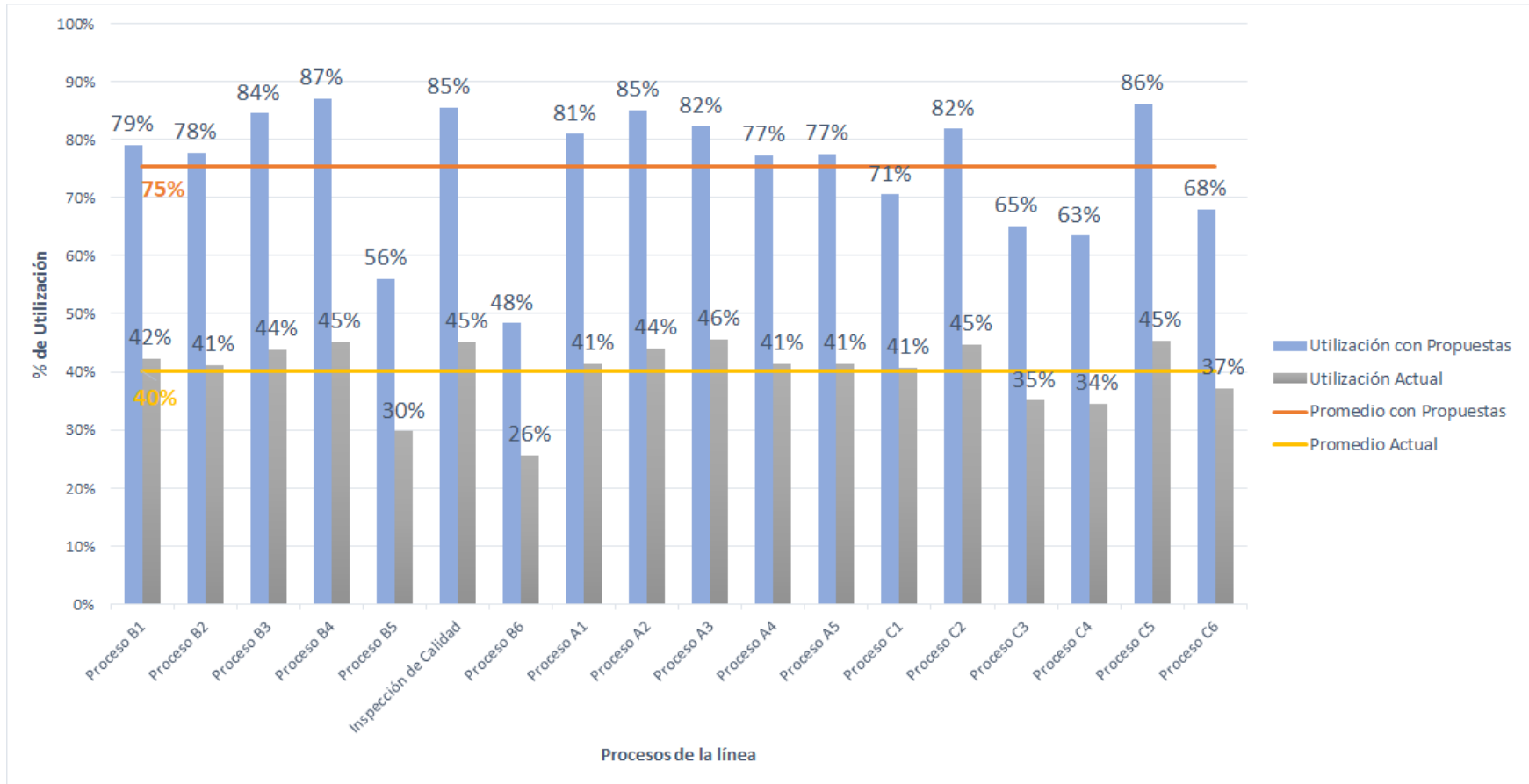
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se aprecia en la tabla anterior, la utilización de las estaciones de trabajo de los procesos se encuentra en un porcentaje aún saludable para el proceso, ya que el valor más alto es de un 87 % en el proceso B4, siendo este el punto de ocupación más alto en toda la línea.

Esto demuestra que es posible correr todo el volumen de producción propuesto en el turno A, debido a que en caso de sufrir alguna posible eventualidad, aún existiría un margen de holgura para poder subsanar esta condición.

En el siguiente gráfico se muestra una comparación entre la utilización de las estaciones de los procesos actual contra la propuesta:

Figura 5.6: Utilización propuesta y actual de las estaciones de trabajo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir del gráfico anterior, se concluye que las estaciones de los procesos se aprovechan mucho más si se logran llevar a cabo las propuestas expuestas en el trabajo, pasando de una utilización máxima del 46 % a una del 87 %. Esto significa que los recursos del proceso son mayormente utilizados, por ende, la línea es más eficiente en el tiempo productivo que se le brinda al proceso.

#### **5.1.2.4 Definir un plan de reubicación del personal**

Cuando se implementen las propuestas planteadas, se van a requerir 10 personas adicionales en el turno A y reubicar exitosamente las 17 personas sobrantes del turno B en otras áreas de la compañía, al igual que el personal indirecto del turno B. Para poder cumplir efectivamente con este plan de reubicación del personal, sin llevar a cabo contrataciones adicionales ni realizar despidos sin motivos que los justifiquen, se genera la siguiente estrategia:

- 1. Conseguir los 10 operarios faltantes en el turno A.** Después de revisar los planes de producción con el Departamento de Planeamiento y el Departamento de Producción, se determina que hay una línea de producción que va a disminuir el volumen de producción durante el resto del año fiscal, el cual finaliza en marzo, y mantenerlo bajo durante el siguiente año fiscal. Esta disminución inicia a partir de la última semana de febrero del 2025, lo que permite disponer de personal para otras áreas, cubrir ausentismo y renuncias de personal, o bien, cubrir proyectos de mejora o incremento de capacidad. Esta oportunidad posibilita contar con las 10 personas necesarias en el turno A para poder incrementar la producción hasta las 40 unidades esperadas por producirse en este turno y, así, evitar realizar contrataciones que no se encuentran dentro del presupuesto del Departamento de Producción establecido a principios del año fiscal en curso. Cabe mencionar que estas 10 personas adicionales deben tener un periodo de entrenamiento de, al menos, 10 semanas para poder entregar el volumen de producción esperado para la línea.
- 2. Reubicar a los 17 operarios sobrantes del turno B.** La compañía Medical Devices posee un plan de transferencias de productos de Estados Unidos hacia Costa Rica, esto indica que se espera llegar a producir más variedad de productos

y un mayor volumen global de producción en Costa Rica. Al respecto, para el siguiente año fiscal hay 2 transferencias de productos que se encuentran en camino, esto va a representar oportunidades laborales y contrataciones nuevas de personal. Una de estas transferencias señala en su plan iniciar la producción y los entrenamientos del personal, tanto en el turno A como en el turno B, a partir de julio del presente año. Lo anterior implica tener un grupo de operarios con la experiencia para dar soporte y convertirse en el personal de este nuevo producto; sin embargo, también representa una oportunidad para relocalizar al personal del turno B de la línea sobre la cual se enfoca esta investigación, por lo que el personal del turno B se mueve a esta línea en validación a partir del primero de julio del 2025.

- 3. Relocalizar al personal indirecto del turno B.** De forma similar al personal de mano de obra directa de la línea, la mano de obra indirecta del turno B se mueve a la línea que se encuentra en validación.

## **5.2 CONTROLAR**

En esta sección del trabajo se explican los métodos implementados con el fin de lograr el éxito, además de conservar los resultados esperados de las propuestas y, de este modo, evitar que el producto vuelva a tener el costo actual que posee cada unidad.

### **5.2.1 Diagrama de Gantt para la propuesta 1**

El siguiente diagrama de Gantt muestra de manera gráfica las fechas propuestas para la implementación de la propuesta 1, “realizar un nuevo *layout* en la línea”.

El diagrama posee una clasificación por colores según el estado en que se encuentran las acciones del proyecto a la fecha actual. A continuación, se explica esta categorización por colores y su significado:

Figura 5.7: Significado de los colores empleados en los diagramas Gantt

	<b>No iniciado</b>
	<b>En proceso</b>
	<b>Completado</b>
	<b>Tarde</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En cuanto a la propuesta 1, en el diagrama de Gantt se visualizan de forma general 2 periodos de fechas. En primer lugar, las comprendidas desde el 20 de enero hasta el 14 de febrero, en las cuales se lleva a cabo toda la planeación, solicitud de aprobaciones y definición de fechas de ejecución del cambio de *layout*.

Por otro lado, se encuentran las fechas de ejecución del nuevo *layout*, estas abarcan del 8 de julio al 11 de julio, siendo el 8 julio un día dedicado para demarcar con cinta e identificar en el piso del cuarto limpio dónde se debe colocar cada estación de acuerdo con el dibujo hecho en 3D del nuevo flujo que sigue la línea de producción.

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt para la propuesta 1:

Figura 5.8: Diagrama de Gantt para la propuesta 1



Fuente: Elaboración propia, 2025.

### **5.2.2 Formulario de la solicitud de cambios de layout para controlar la propuesta 1**

Posterior a la implementación del nuevo *layout* en la línea, debe existir un método para controlar cualquier modificación en cuanto a la distribución de equipos y estaciones de trabajo en la línea, ya que el no mantener esta nueva propuesta conlleva el riesgo de volver a una distribución de la línea ineficiente.

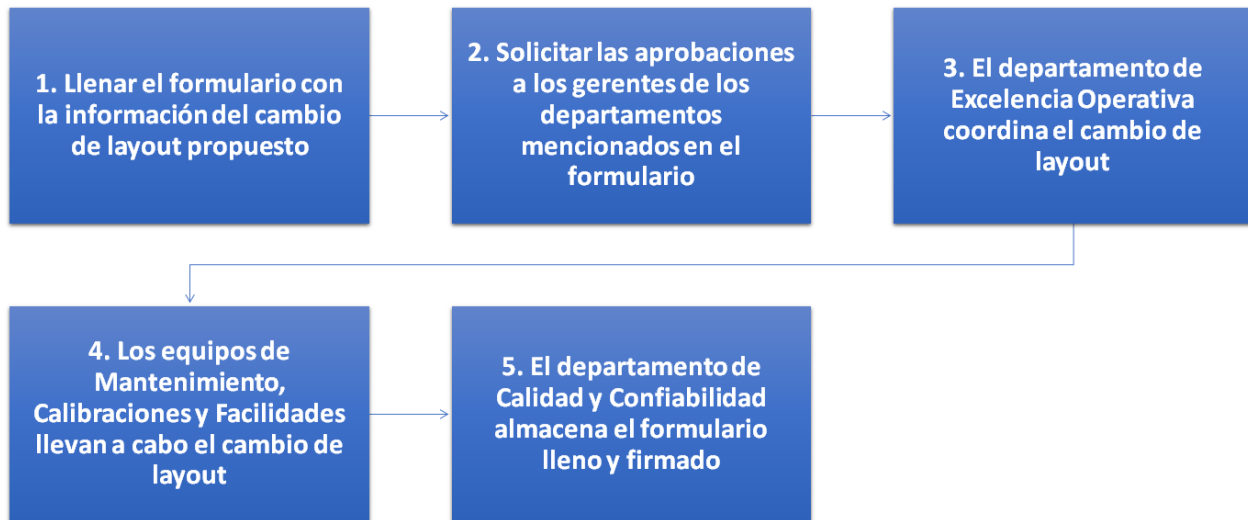
Con el fin de garantizar que cada cambio en el *layout* se realice de manera controlada, eficiente y con las aprobaciones de los departamentos involucrados, se propone establecer un formulario, el cual sea un requisito para poder llevar a cabo movimientos de estaciones o equipos en la línea de producción posterior a la implementación de la nueva distribución.

Junto con el establecimiento de este formulario, se entrena a todos los miembros de los departamentos involucrados en los procesos y equipos de la línea sobre cómo llenar este formulario y cuál es el objetivo de la implementación del mismo, así como cuál es la nueva secuencia de pasos para poder llevar a cabo cambios en el *layout* de las líneas de producción y otras áreas críticas en la compañía.

Dentro de estos departamentos involucrados, se encuentran Producción, Ingeniería de Manufactura, Ingeniería de Calidad, Mantenimiento, Facilidades, Salud Ocupacional, Calibraciones, Calidad y Confiabilidad y Excelencia Operativa. La implementación de estas nuevas restricciones para poder hacer cambios físicamente en la distribución de estaciones permite un control adecuado en la gestión de las solicitudes de modificación del *layout* y, de esta forma, asegurar que en todas las áreas y para todas las propuestas de cambios de *layout* se evalúen los impactos y beneficios potenciales, además de necesitar la aprobación de las gerencias de los departamentos involucrados en el *layout* antes de ejecutar el cambio. Esto evita cambios en la distribución de planta sin los permisos pertinentes.

La secuencia de pasos propuesta para poder llevar a cabo cambios de *layout* posterior a la implementación de la propuesta es la siguiente:

Figura 5.9: Secuencia de los pasos para llevar a cabo cambios de layout



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se observa en los pasos anteriores, el equipo del Departamento de Excelencia Operativa es el encargado de coordinar y gestionar todos los cambios propuestos para los *layouts* de las líneas de producción, debido a que este departamento cuenta con los dibujos y planos de todas las áreas de la compañía, los cuales siempre deben estar actualizados con las distribuciones físicas de las líneas.

Por su parte, los departamentos de Mantenimiento, Facilidades y Calibraciones son los encargados de ejecutar los cambios de *layout*, ya sea por cambios de lugar de las estaciones o equipos, o bien, porque se requiere hacer cambios en las facilidades del área involucrada.

Por último, el Departamento de Calidad y Confiabilidad es el encargado de almacenar de forma física y digital los formularios para los cambios de *layouts*. Adicional, al ser el departamento responsable de asegurar las condiciones del cuarto limpio y los movimientos de estaciones y equipos que ocurren dentro del área de producción, se debe tener la aprobación del encargado de este departamento.

En la primera sección del formulario (**apéndice 1**), se deben registrar los datos básicos del cambio de *layout* solicitado. De este modo, se incluyen detalles como la fecha de emisión del documento, la línea de producción y el edificio involucrado, el departamento y el nombre del solicitante responsable. Además, se solicita una descripción detallada del

movimiento o cambio de distribución de estaciones propuesto, junto con esto se solicitan planos, diagramas o fotografías que faciliten la descripción de la propuesta de cambio.

En la segunda sección del formulario (**apéndice 1**), se encuentra un cuestionario que permite evaluar los posibles efectos o impactos del cambio propuesto considerando distintos aspectos críticos de la operación. Esta parte incluye preguntas específicas como si el cambio afecta el flujo de procesos, si se da en un cuarto limpio, así como qué tipo de equipos se ven involucrados en el movimiento. También se evalúa si existe algún impacto en la infraestructura y facilidades del área, si se da una generación de partículas o contaminantes durante la implementación del cambio y los requerimientos de seguridad ocupacional para el personal.

Por último, en la tercera sección del formulario (**apéndice 1**), se solicita la recolección de firmas de los gerentes responsables de los distintos departamentos clave involucrados. Estas aprobaciones garantizan que las propuestas se revisan desde diferentes perspectivas, tales como Ingeniería de Manufactura, Calidad, Mantenimiento, Seguridad Ocupacional, Excelencia Operativa, entre otros.

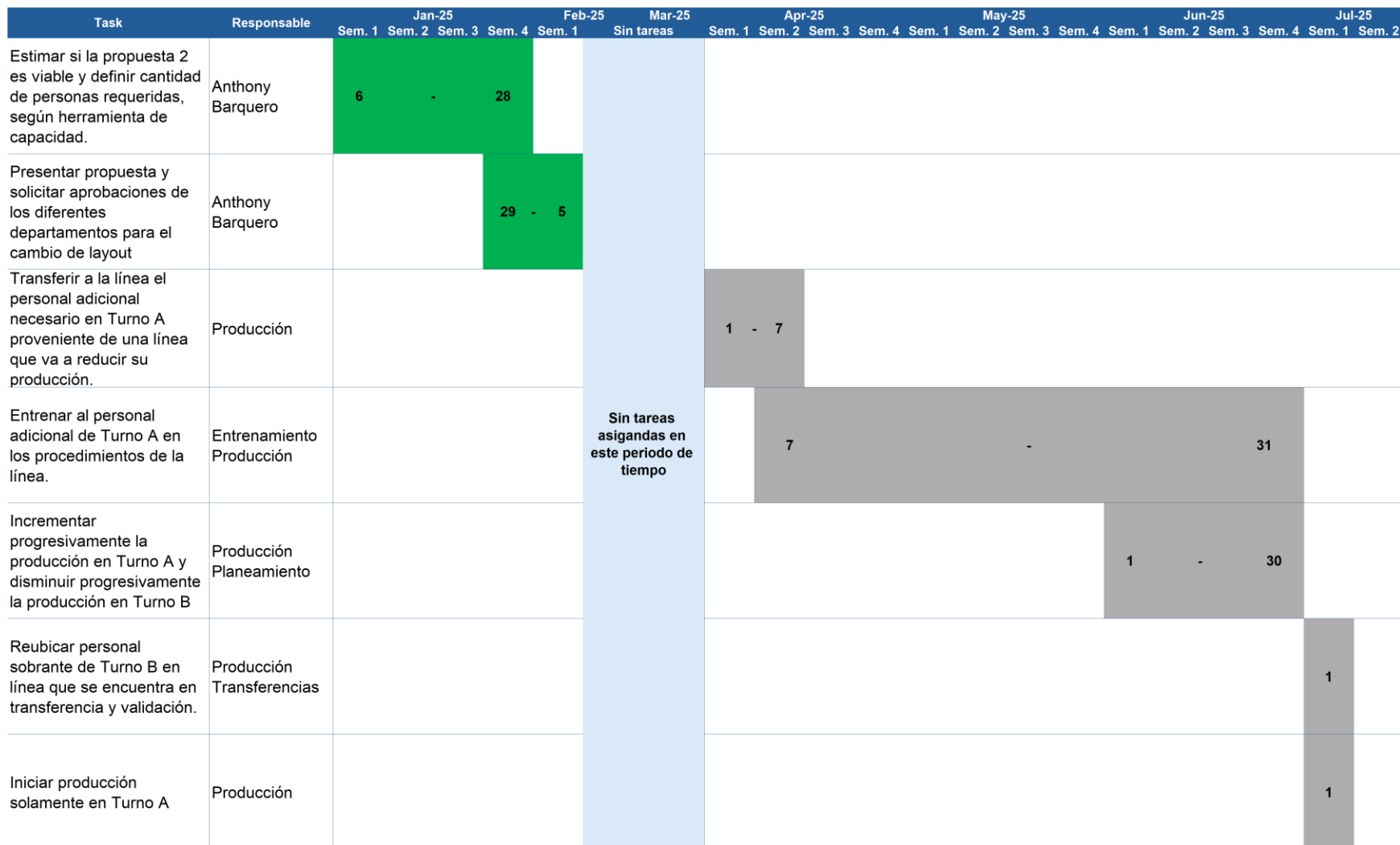
En conclusión, la implementación de este formulario y este proceso para realizar cambios de *layout* en el área de producción aporta orden y control al proceso de cambios en la distribución de planta y ayuda a mantener los cambios sugeridos en la propuesta 1 a lo largo del tiempo.

### **5.2.3 Diagrama de Gantt para la propuesta 2**

Con relación al diagrama de Gantt de la propuesta 2, “reestructurar el plan de producción y la mano de obra”, de forma similar al Gantt de la propuesta 1 se establece un rango de fechas dedicado a la planeación, definición de las estrategias y aprobación por parte de los departamentos, el cual comprende las fechas entre el 06 de enero y el 05 de febrero. Mientras que el periodo de ejecución de esta propuesta se extiende desde el 01 de abril hasta el 31 de junio, con el fin de que para el 01 de julio la propuesta ya se encuentre implementada y se logre el volumen de producción esperado en el turno A.

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt para la propuesta 2 del trabajo de investigación:

Figura 5.10: Diagrama de Gantt para la propuesta 2



Fuente: Elaboración propia, 2025.

#### 5.2.4 Análisis de costos proyectado con la implementación de las propuestas

El enfoque principal del proyecto es reducir el costo por unidad de la línea y mejorar la eficiencia del proceso. Así, con el propósito de verificar el cumplimiento de este objetivo y lograr tener un control sobre los costos por unidad, se lleva a cabo un análisis de los costos esperados luego de implementar las propuestas.

El fin es realizar este análisis de costos diario o mensual y verificar el costo unitario, para tener claridad de la efectividad de las propuestas una vez que se implementen.

Seguidamente, se muestra el costo esperado de la mano de obra directa al completar las propuestas:

Tabla 5.22: Cálculo del costo de la mano de obra directa con la propuesta

Turno	Cantidad Operadores	Horas Pagadas	Costo Hora Promedio	Costo Total Diario	Costo Anual (52 pagos)
Turno A	27	9.5	\$ 7.25	\$ 1,859.63	\$ 483,502.50
Turno B	0	9.5	\$ 7.25	\$ -	\$ -
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>19</b>	<b>\$ 14.50</b>	<b>\$ 1,859.63</b>	<b>\$ 483,502.50</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al modelar el escenario esperado en la tabla de costos de mano de obra directa, contemplando los 27 operarios del turno A y ningún operario en el turno B, se obtiene el costo de mano de obra esperado diario y anual.

Con este dato se determina el costo de mano de obra por unidad, al dividir el costo entre la cantidad de unidades producidas, ya sea al día, en caso de que se tome el dato diario, o bien, dividido entre el dato de volumen anual; de ambas formas se puede llevar el control del costo por unidad en cuanto a la mano de obra directa.

A continuación, se expone el costo esperado de la mano de obra indirecta al completar las propuestas de la investigación:

Tabla 5.23: Cálculo del costo de la mano de obra indirecta con la propuesta

Turno	Posición	Cantidad Personas	Horas Pagadas	Costo Hora Promedio	Costo Total Diario	Costo Anual (26 pagos)
Turno A	Supervisor Línea	1	9.5	\$ 14.50	\$ 137.75	\$ 35,815.00
	Ingeniero Manufactura	1	9.5	\$ 18.45	\$ 175.28	\$ 45,571.50
	Entrenador Línea	1	9.5	\$ 8.25	\$ 78.38	\$ 20,377.50
	Líder Línea	1	9.5	\$ 9.44	\$ 89.68	\$ 23,316.80
	Operador de Materiales	1	9.5	\$ 7.87	\$ 74.77	\$ 19,438.90
<b>Total Turno A</b>		<b>5</b>	<b>47.5</b>	<b>\$ 58.51</b>	<b>\$ 555.85</b>	<b>\$ 144,519.70</b>
Turno B	Supervisor Línea	0	0	\$ 14.50	\$ -	\$ -
	Ingeniero Manufactura	0	0	\$ 18.45	\$ -	\$ -
	Entrenador Línea	0	0	\$ 8.25	\$ -	\$ -
	Líder Línea	0	0	\$ 9.44	\$ -	\$ -
	Operador de Materiales	0	0	\$ 7.87	\$ -	\$ -
<b>Total Turno B</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>\$ 58.51</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
<b>Total</b>		<b>5</b>	<b>47.5</b>	<b>\$ 117.02</b>	<b>\$ 555.85</b>	<b>\$ 144,519.70</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con respecto al costo de mano de obra indirecta, no hay variaciones para el escenario actual del turno A. No obstante, para el turno B no existe este costo, ya que el personal indirecto del turno B de la línea se desplaza a otra área para dar soporte a este nuevo producto.

Ahora bien, para el costo esperado por unidad, con las propuestas se llevan a cabo los mismos cálculos realizados en la sección de “medir”; es decir, dividir el monto total de cada tipo de costo de un periodo de tiempo determinado entre el volumen de unidades producidas durante este mismo periodo de tiempo. En la siguiente tabla se detalla el costo esperado por unidad según la clasificación de costos establecida con anterioridad:

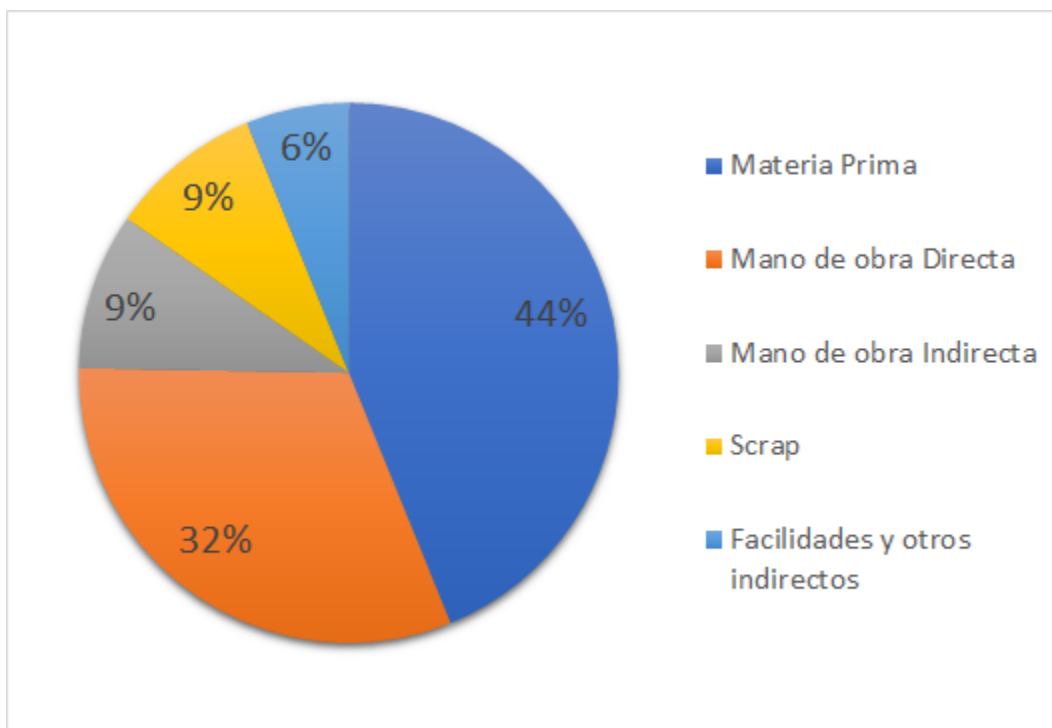
Tabla 5.24: Costo por unidad para la propuesta

Tipo de Costo	Costo por Unidad	% del Costo Total
Materia Prima	\$ 70.28	43.85%
Mano de obra Directa	\$ 50.36	31.43%
Mano de obra Indirecta	\$ 15.05	9.39%
Scrap	\$ 14.69	9.17%
Facilidades y otros indirectos	\$ 9.88	6.16%
<b>Total</b>	<b>\$ 160.27</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior, el dato que mantiene un costo más elevado por unidad producida continúa siendo la materia prima, seguido de igual forma por la mano de obra directa e indirecta. Sin embargo, estos últimos dos tipos de costos suman un 40.82 % de los costos, por lo que juntos ya no representan el tipo de costo más alto para el producto. Esto es importante recalcarlo porque con anterioridad estos dos costos juntos suman el 50 % del costo unitario. La información anterior se representa de forma visual en el siguiente gráfico:

Figura 5.11: Porcentajes por tipo de costo para la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Al implementar el proyecto, se evidencia que los porcentajes de los costos de mano de obra se reducen de forma considerable, mientras que los demás costos incrementan su porcentaje, pero no incrementan la magnitud del costo.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa entre el monto unitario de cada tipo de costo actual contra el esperado, así como su porcentaje de mejora esperado:

Tabla 5.25: Comparación de los costos actuales contra los de la propuesta

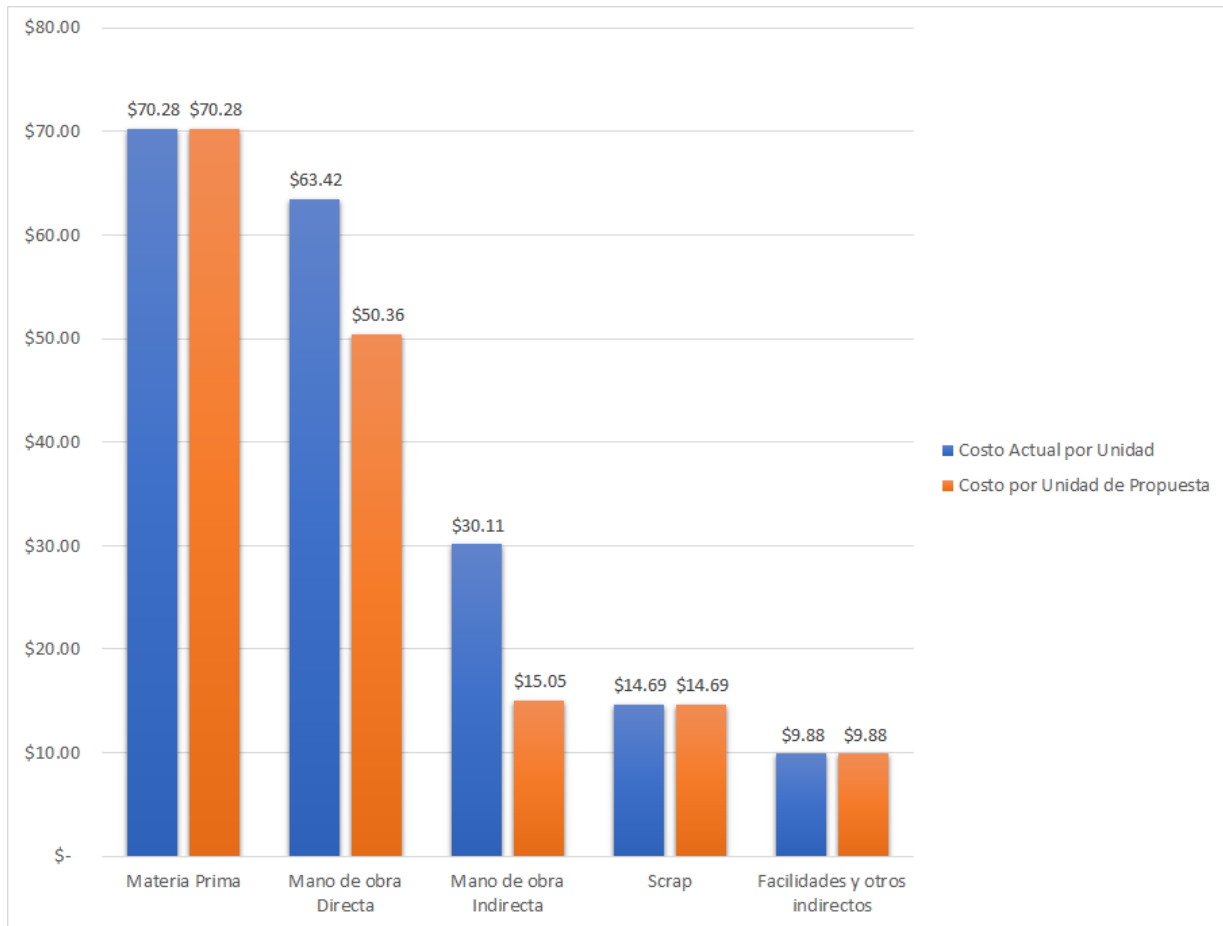
Tipo de Costo	Costo Actual por Unidad	Costo por Unidad de Propuesta	% de Mejora
Materia Prima	\$ 70.28	\$ 70.28	0.00%
Mano de obra Directa	\$ 63.42	\$ 50.36	20.59%
Mano de obra Indirecta	\$ 30.11	\$ 15.05	50.00%
Scrap	\$ 14.69	\$ 14.69	0.00%
Facilidades y otros indirectos	\$ 9.88	\$ 9.88	0.00%
<b>Total</b>	<b>\$ 188.38</b>	<b>\$ 160.27</b>	<b>14.92%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como resultado esperado de implementar las propuestas, se obtiene una mejora en el costo de mano de obra directa del 20.59 %, mientras que de la mano de obra indirecta se aprecia una reducción del 50 %. Este segundo dato se debe a que la cantidad de personal indirecto en el turno A es igual a la cantidad de personal indirecto en el turno B, por lo que el costo se reduce a la mitad. En general, se espera una reducción del 14.92 % del costo por unidad, por lo tanto, se consigue el objetivo de reducir el 5 % del costo unitario de la línea.

En la siguiente figura se observa gráficamente la comparativa entre el costo actual de la unidad contra el costo esperado, de acuerdo con cada tipo de costo considerado:

Figura 5.12: Comparación de los costos actuales contra los de la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

### 5.2.5 Indicadores de productividad para las propuestas

Con la intención de medir la eficiencia de los recursos invertidos en la producción de las unidades, se establecen los índices de productividad de los diferentes costos como una métrica de cumplimiento de las propuestas, siguiendo el método de cálculo planteado en la sección de “medir”.

En resumen, este método de cálculo para cada costo consiste en dividir 1 unidad producida entre el costo por unidad. Este resultado brinda la cantidad de unidades producidas por cada dólar invertido en cada tipo de costo. De igual forma, se puede obtener el indicador para el costo total de la unidad al dividir 1 unidad entre el total del costo unitario.

En la siguiente tabla se presenta la comparación entre los indicadores de productividad en el escenario de producción actual contra los valores de los indicadores esperados al momento en que se implemente la propuesta:

Tabla 5.26: Comparación de los indicadores de productividad actuales contra los de la propuesta

Tipo de Costo	Índice de Productividad Actual	Índice de Productividad Propuesta	% de Mejora
Materia Prima	0.0142 unid / dolar\$	0.0142 unid / dolar\$	0.00%
Mano de obra Directa	0.0158 unid / dolar\$	0.0199 unid / dolar\$	25.95%
Mano de obra Indirecta	0.0332 unid / dolar\$	0.0664 unid / dolar\$	100.00%
Scrap	0.0681 unid / dolar\$	0.0681 unid / dolar\$	0.00%
Facilidades y otros indirectos	0.1012 unid / dolar\$	0.1012 unid / dolar\$	0.00%
<b>Total</b>	<b>0.0053 unid / dolar\$</b>	<b>0.0062 unid / dolar\$</b>	<b>16.98%</b>

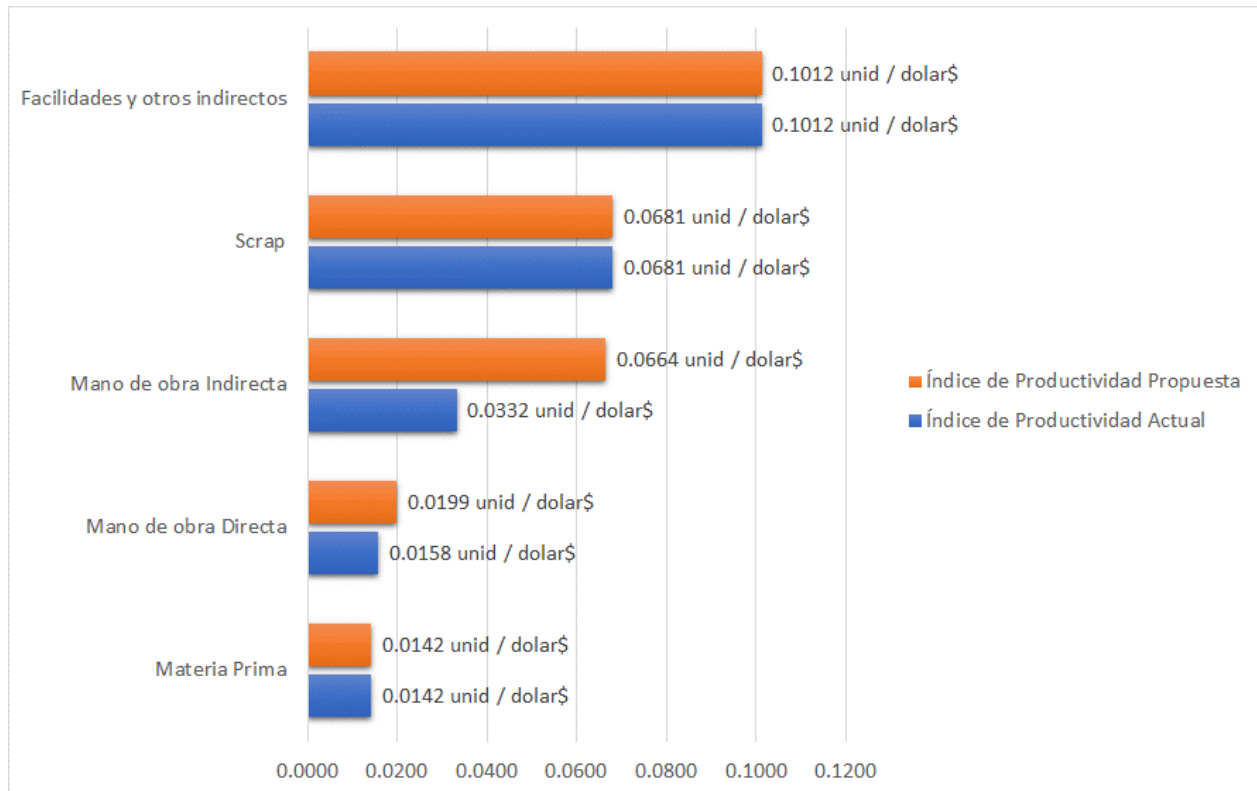
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Como se visualiza en la tabla anterior, la eficiencia en cuanto a la mano de obra, tanto directa como indirecta, para el proceso resulta ser mayor al implementar las propuestas. Específicamente la eficiencia del monto invertido por mano de obra directa en relación con la cantidad de unidades producidas incrementa en un 25.95 %, pasando de 0.0158 unidades por dólar a 0.0199 unidades por dólar gastado. Por su parte, para la mano de obra indirecta hay un incremento en la eficiencia de este costo del 100.00 %, ya que se pasa de producir 0.0332 unidades por dólar gastado a 0.0664 unidades por dólar para este tipo de costo.

En general, comparando la eficiencia del costo por unidad de \$ 188.38, la cual resulta ser de 0.0053 unidades por dólar, que se incrementa con las propuestas para ser de 0.0062 unidades por dólar, con el nuevo costo de \$ 160.27 por unidad producida, el porcentaje de mejora en la eficiencia del gasto por dólar en el proceso es de 16.98 %, superando la meta establecida en el objetivo del proyecto, la cual era de un 5.00 %. Esto indica que la oportunidad de mejora en cuanto al cálculo del personal asignado a la línea es clara y se debe aprovechar.

Con respecto a los valores esperados para la eficiencia o productividad contra los actuales, en el siguiente gráfico se expone una comparativa más visual del impacto en los índices para la mano de obra directa e indirecta:

Figura 5.13: Comparación de los índices de la productividad actuales contra los de la propuesta



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para mantener un control adecuado de los indicadores, se sugiere una revisión semanal de los mismos. Al respecto, para poder generarlos, únicamente se debe registrar el costo total de las horas trabajadas en la semana y la cantidad de unidades producidas en este periodo de tiempo, posteriormente se calcula el costo unitario, como se presenta con anterioridad en el trabajo, y el índice de productividad.

A partir de los resultados, se generan 4 gráficos de velocímetro para visualizar, una vez implementadas las propuestas, el estado actual del costo de mano de obra directa e indirecta por unidad y también el índice de productividad para los costos de mano de obra directa e indirecta. Estos últimos con la finalidad de controlar la eficiencia de la línea en términos de unidades producidas por dólar invertido en estos costos.

En la siguiente figura se explica el significado de cada color utilizado en los velocímetros creados por tipo de indicador:

Figura 5.14: Interpretación de cada color utilizado en los velocímetros de los indicadores

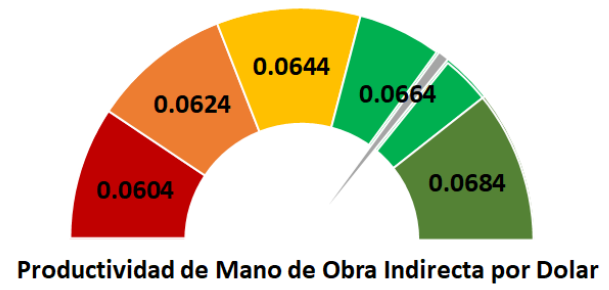
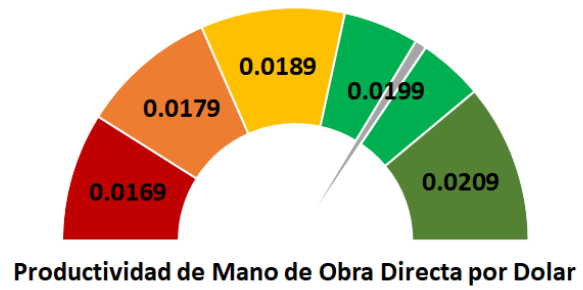
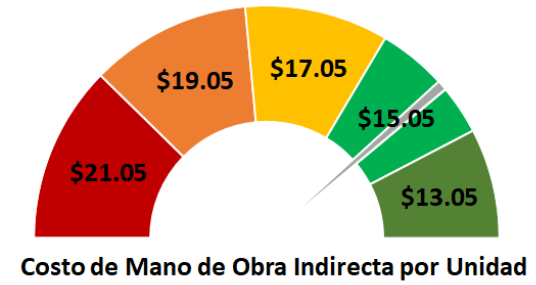
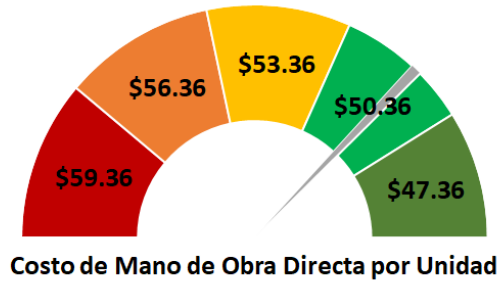
	<b>Crítico</b>
	<b>Deficiente</b>
	<b>Regular</b>
	<b>Muy Bueno</b>
	<b>Extraordinario</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En la siguiente figura, se muestran los gráficos de velocímetros que se implementan con las propuestas para mostrar el estado actual de los indicadores de costo y eficiencia de la mano de obra directa e indirecta para el producto.

Para dicha figura, se utiliza de ejemplo que todos los indicadores se encuentran en un estado de “muy bueno”.

Figura 5.15: Indicadores de los costos y productividad para el producto



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Con respecto a la viabilidad de las propuestas y el beneficio esperado por la implementación de estas, se concluye que se reduce el costo de la unidad en un 14.92 %, pasando el costo por unidad de \$ 188.38 a \$ 160.27, por lo que se reduce el costo de mano de obra directa en un 20.59 %, siendo \$ 63.42 el costo unitario actual y \$ 50.36 el costo propuesto para este tipo de costo. Por otro lado, sobre el costo de mano de obra indirecta, se pasa de un costo unitario de \$ 30.11 a \$ 15.05, esto representa una mejora del 100 % para este costo específico.

En cuanto a la eficiencia y productividad del proceso, esta pasa de un 0.0053 unidades por dólar invertido a 0.0062 unidades por dólar, lo cual implica un incremento del 16.98 % en la eficiencia, o bien, en la productividad de la línea. Específicamente los índices de productividad mejorados son el de mano de obra directa, que pasa de 0.0158 unidades por dólar a 0.0199 unidades por dólar gastado, esto refleja un incremento del 25.95 % para la productividad de este indicador, y la mano de obra indirecta, que aumenta en un 100 % su productividad, es decir, la productividad para este indicador en el proceso se duplica con respecto al estado actual, pasando de 0.0332 unidades por dólar a 0.0664 unidades por dólar invertido en este tipo de costo.

Los argumentos anteriores indican que el 5 % de mejora esperado para la eficiencia del proceso y el costo de la unidad se cumple e incluso se sobrepasa la meta establecida al inicio de la investigación.

### **5.2.6 Estrategia para la resistencia al cambio**

Kizeo Forms (2025) brinda la siguiente definición de resistencia al cambio: “[...] es la reacción negativa o la oposición que las personas muestran frente a modificaciones en su entorno, especialmente en contextos organizacionales. Esta resistencia puede manifestarse de diversas formas, desde el rechazo abierto hasta la reticencia sutil”.

Las propuestas formuladas en la investigación involucran cambios importantes para el estadio actual operativo de la línea de producción, por este motivo, y con el fin de tener y mantener una aceptación de las propuestas por parte de las partes involucradas e interesadas, se plantea una estrategia que busca mitigar la resistencia a estos cambios. Este método es propuesto igualmente por Kizeo Forms (2025). A continuación, se detallan los 5 pasos por seguir:

## **1. Comunicación transparente y continua**

Kizeo Forms (2025) explica lo siguiente:

La comunicación efectiva es la piedra angular para superar la resistencia al cambio. Antes de implementar una nueva herramienta, los gerentes deben asegurarse de que todos los empleados comprendan: por qué se está introduciendo la nueva herramienta, cómo beneficiará tanto a la empresa como a ellos personalmente, y qué se espera durante el proceso de transición.

Para poder cumplir con este primer paso, se reúne a todos los colaboradores involucrados tanto del turno A como del turno B, con el objetivo de exponer la situación actual que enfrenta la línea de producción, así como las ineficiencias existentes en el proceso y el impacto en el costo por cada unidad producida.

También se explican las propuestas planteadas y se da espacio para escuchar consultas e inquietudes de todos los integrantes de la reunión. Por último, con el propósito de obtener la aprobación por parte del personal, se muestra la proyección del ahorro esperado al implementar las propuestas.

## **2. Involucrar a los empleados en la gestión del cambio**

Desde el comienzo del proyecto, se comunica a la alta gerencia y los encargados de los departamentos involucrados el objetivo del trabajo de investigación y se solicita el soporte de estos para poder convertir las propuestas en una realidad.

En cuanto al personal operativo, en las sesiones hechas con ellos, se da espacio a escuchar sugerencias de todos los integrantes de la reunión, las cuales se toman en cuenta especialmente para la elaboración de la propuesta 1, donde se identifican muchas oportunidades de mejora en relación con la distribución de la línea de producción y esto se logra al escuchar las opiniones de los operarios en el área productiva.

### **3. Ofrecer capacitaciones**

Teniendo claridad de las propuestas y los pasos por seguir, se reúne de nuevo al personal directo e indirecto involucrado y se hace un recorrido por el área mostrando la distribución de la planta propuesta y los traslados con la implementación de la propuesta 1.

Por otro lado, referente a la propuesta 2, existe la inquietud con respecto a qué sucedería con el personal que se encuentra en el turno B. Para tranquilizar a los miembros del equipo del turno B, se explica la existencia de un plan de transferencias de productos de Estados Unidos hacia Costa Rica que requiere de personal tanto directo como indirecto para poder operar en las líneas de estos nuevos productos, por lo que este personal se reasigna a estas transferencias. De esta manera, el personal de ambos turnos acepta de forma más amigable los cambios propuestos para la línea de producción.

### **4. Destacar los beneficios**

Con la finalidad de ganar la confianza hacia las propuestas por parte de la gerencia y de los miembros involucrados, tanto de mano de obra directa como indirecta, se evidencian los beneficios esperados en cuanto al incremento de eficiencia y de reducción de costos que trae consigo la implementación de las propuestas. De este modo, se obtiene el apoyo requerido y que el personal visualice la importancia de involucrarse en el proyecto.

Posterior a la implementación de las propuestas, se mantiene un continuo monitoreo de los resultados de los beneficios esperados, los cuales se comunican con regularidad a los mismos miembros involucrados.

### **5. Apoyo continuo y reconocimiento**

Una vez concluida la implementación de ambas propuestas, se mantiene un constante control de los indicadores establecidos para verificar la efectividad de las mismas. De igual forma, se mantiene una comunicación constante de los resultados a la gerencia y el contacto con el personal operativo para verificar la satisfacción por parte de ellos y validar su nivel de conformidad con respecto a la nueva distribución de la línea de producción y, en caso de presentar inquietudes o molestias, atenderlas en el sitio donde estas ocurren.

### **5.2.7 Análisis del retorno de la inversión (ROI)**

En esta sección del trabajo de investigación, se lleva a cabo el análisis del retorno de la inversión (ROI). Este es el indicador crítico para determinar la rentabilidad y viabilidad financiera de las iniciativas generadas, pues el resultado del ROI permite medir la relación existente entre los beneficios estimados y la inversión que se espera realizar para las propuestas, lo cual proporciona una visión objetiva del impacto económico del proyecto para la compañía.

Este método de control de eficiencia de las propuestas resulta fundamental para asegurar que la inversión necesaria cumple y se alinea con el objetivo principal del trabajo.

Ahora bien, en el cálculo del retorno de la inversión es necesario establecer el costo total por invertir en el proyecto para poder implementar las propuestas. En la siguiente tabla, se aprecian las etapas del proyecto en las que se requieren invertir recursos, así como el monto total de las inversiones necesarias:

Tabla 5.27: Inversiones requeridas en el trabajo de investigación

Elaboración de Herramienta de Capacidad y Otras Herramientas				
Tipo de Recurso Solicitado	Cantidad de Personas	Cantidad de horas	Costo por hora	Costo Total
Anthony Barquero	1	192	\$ 9.20	\$ 1,766.40
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>192</b>	<b>\$ 9.20</b>	<b>\$ 1,766.40</b>
Análisis de Causa Raíz (Etapa de Analizar)				
Tipo de Recurso Solicitado	Cantidad de Personas	Cantidad de horas	Costo por hora	Costo Total
Anthony Barquero	1	6.0	\$ 9.20	\$ 55.20
Supervisor de Producción	1	2.0	\$ 14.50	\$ 29.00
Operario de Producción	1	2.0	\$ 7.25	\$ 14.50
Ingeniero de Manufactura	1	2.0	\$ 18.45	\$ 36.90
Inspector de Calidad	1	2.0	\$ 8.25	\$ 16.50
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>14.0</b>	<b>\$ 57.65</b>	<b>\$ 152.10</b>
Implementar Propuesta 1				
Tipo de Recurso Solicitado	Cantidad de Personas	Cantidad de horas	Costo por hora	Costo Total
Anthony Barquero	1	44.5	\$ 9.20	\$ 409.40
Técnico de Mantenimiento	8	30.5	\$ 9.20	\$ 2,244.80
Técnico de Calibraciones	1	30.5	\$ 9.20	\$ 280.60
Operarios de Producción	34	1.0	\$ 7.25	\$ 246.50
Operario de Producción	1	1.0	\$ 7.25	\$ 7.25
Líder de Producción	2	1.0	\$ 9.44	\$ 18.88
Ingeniero Manufactura	2	1.0	\$ 18.45	\$ 36.90
Ingeniero Calidad	1	1.0	\$ 18.45	\$ 18.45
Ingeniero Salud Ocupacional	1	1.0	\$ 18.45	\$ 18.45
Ingeniero Facilidades	1	1.0	\$ 18.45	\$ 18.45
Supervisor de Producción	2	1.0	\$ 14.50	\$ 29.00
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>113.5</b>	<b>\$ 139.84</b>	<b>\$ 3,328.68</b>
Implementar Propuesta 2				
Tipo de Recurso Solicitado	Cantidad de Personas	Cantidad de horas	Costo por hora	Costo Total
Anthony Barquero	1	10.0	\$ 9.20	\$ 92.00
Ingeniero de Transferencias	1	1.0	\$ 18.45	\$ 18.45
Planeador de Producción	1	1.0	\$ 18.45	\$ 18.45
Entrenador de Línea	1	624.0	\$ 8.25	\$ 5,148.00
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>636.0</b>	<b>\$ 54.35</b>	<b>\$ 5,276.90</b>
Costo Total				<b>\$ 10,524.08</b>

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Según la tabla anterior, se identifica que la propuesta más costosa es la 2 debido principalmente al tiempo de 13 semanas en las que se requiere al entrenador de la línea del turno A dedicado a asegurar el progreso en el entrenamiento del personal necesario para poder incrementar la producción a 40 unidades en el turno A.

En total el monto de inversión requerido esperado, considerando todas las horas en que se necesitan recursos de los diferentes departamentos para poder implementar las propuestas, es de \$ 10 524.08.

Seguidamente, se aplica la siguiente fórmula para calcular el beneficio esperado del proyecto en su primer año:

$$\textit{Beneficio bruto} = \textit{diferencia costo unitario} * \textit{unidades diarias} * \textit{días hábiles al año}$$

$$\textit{Beneficio bruto} = \$ 28.11 * 40 \textit{ unidades} * 240 \textit{ días} = \$ 269 856.00$$

A continuación, se realiza la siguiente fórmula para calcular el ROI de las propuestas:

$$\textit{ROI} = \frac{\textit{Beneficio bruto} - \textit{inversión}}{\textit{Inversión}} * 100$$

$$\textit{ROI} = \frac{\$ 269 856.00 - \$ 10 524.08}{\$ 10 524.08} * 100 = 2464.18 \%$$

De acuerdo con el cálculo del ROI, el cual da un resultado de 2464.18 %, la rentabilidad de las propuestas es muy alta, por lo que se eficientiza el proceso de la línea y costo por unidad producida al implementar las mejoras.

Seguidamente, se muestra el cálculo para determinar el periodo de recuperación de la inversión necesaria:

$$\textit{Beneficio mensual} = \$ 28.11 \textit{ unidad} * 40 \textit{ unidades} * 20 \textit{ días} = \$ 22 488.00$$

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\textit{Inversión}}{\textit{Beneficio mensual}}$$

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\$ 10 524.08}{\$ 22 488.00} = 0.47 \textit{ meses}$$

Como se evidencia en la fórmula anterior, se necesitan 0.47 meses con la finalidad de poder recuperar la inversión requerida para las propuestas, lo que equivale a aproximadamente 10 días laborales. Esto demuestra una recuperación de la inversión casi inmediata una vez que se ponga en marcha el proyecto, lo cual muestra la viabilidad del proyecto y hace que la implementación sea bastante atractiva desde el punto de vista financiero.

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

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

## CONCLUSIONES

- Se realizó un diagrama de flujo del proceso de la línea con el fin de conocer la secuencia de las operaciones en la elaboración del producto. Al hacer este diagrama, se identificó que el proceso se divide en 3 partes o ensambles diferentes, los cuales se unen para producir una unidad completa.
- Se llevó a cabo un análisis FODA que permitió evaluar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. A partir de este, se obtuvo que existe una oportunidad importante con respecto a los desperdicios existentes en el proceso, esto también representa una debilidad en la actualidad e impacta en el costo de la unidad.
- Al aplicar la matriz FODA, se identificaron las estrategias clave que buscan sacar provecho de las fortalezas, mitigar las debilidades y evitar las amenazas, tales como implementar mejoras en el *layout* y reducir costos operativos, así como incrementar el aprovechamiento de los recursos actuales de la línea.
- A partir del diagrama SIPOC, se visualizaron los clientes internos a lo largo de todo el proceso, los insumos que ingresan en cada uno de los procesos y hacia dónde se dirige el material.
- Con el análisis de *stakeholders*, se identificaron los miembros clave del proyecto, su rol en el mismo, y su grado de influencia e interés. De este ejercicio se obtuvo que la gerencia de producción, el gerente general, los supervisores de producción y el encargado de finanzas son las personas clave en el desarrollo del proyecto.
- A partir del diagrama de espagueti, se determinaron algunos desperdicios y traslados innecesarios en la distribución de la línea de producción, además de otras ineficiencias, como lo son traslados repetitivos, cruces en los movimientos del material y un traslado total de 247.69 metros entre los procesos de la línea para poder concluir el proceso de una unidad, lo cual es una distancia bastante grande e implica un tiempo significativo dedicado a traslados.

- Mediante el estudio de recorridos en la línea, se conocieron los traslados más extensos en cuanto a la distancia implicada y los ensambles que representan la mayor distancia recorrida para producir una unidad. Por medio de este estudio, se obtuvo que el ensamble A y C tienen la mayor distancia recorrida y suman un 81 % del total de la distancia recorrida en la línea.
- La matriz de relaciones de los procesos reflejó las interdependencias entre los procesos de la línea; de este modo, se estableció que los procesos con mayor interacción y grado de dependencia entre sí pertenecen al mismo ensamble, comparten algún equipo u estación, o bien, son clientes directos.
- De acuerdo con el análisis de costos de producción, la mano de obra directa e indirecta representa el mayor costo en el proceso productivo al ser de un 50 % del total del costo por unidad.
- Al realizar el cálculo de los indicadores de productividad para los diferentes tipos de costos del proceso, se midió la eficiencia del proceso y se evaluó el desempeño de la producción en relación con cuántas unidades se producen por cada dólar invertido en total y por cada tipo de costo. En actualidad, por cada dólar invertido en el proceso, se obtienen 0.0053 unidades.
- El estudio de tiempos permitió obtener el estándar de duración de cada uno de los procesos de la línea, contemplando todos los factores y suplementos que afectan la normalidad de las operaciones y el tiempo observado por proceso. Además, según la razón de producción calculada para cada proceso, el proceso A2 es el más lento de toda la línea. Este estudio de tiempos fue vital para la elaboración del estudio de capacidad de la línea.
- El estudio de métodos de los procesos mostró el estándar del método de trabajo de los procesos. Al realizar un análisis en conjunto de estos, se identificó que todos los procesos en total tienen una duración de 205.31 minutos, de los cuales el 76.6 % representa el tiempo en operaciones, el 18.2 % en inspecciones y el restante en transportes, esperas y almacenamientos. Por otro lado, el 57 % de la cantidad de actividades son operaciones, el 23.2 % son inspecciones, el 19.0 % son traslados y solo el 0.7 % son almacenamientos.

- Al llevar a cabo el estudio de *yield* de los procesos, se determinó el rendimiento de estos al evaluar la cantidad de productos conformes con relación al total de unidades producidas por operación. Al calcular el *yield* de las operaciones, se percibió que el proceso B6 posee el *yield* más bajo con un 90.62 %, esto ayuda a que el subensamble B posea el *rolled throughput yield* más bajo de la línea, con un 82.15 %.
- El estudio de capacidad y utilización tomó el estudio de tiempos y de *yield* como insumos para su elaboración. Este mostró que la cantidad de capacidad que posee la línea es mucho mayor que la considerada al momento de crear el plan de producción, lo cual provoca que la utilización de la línea sea de un 40 % en promedio y de un 46 % en el cuello de botella. Además, la cantidad de personas que posee la línea por turno es mayor que la recomendada por la herramienta de capacidad generada, ya que la línea cuenta con 17 personas por turno, sin embargo, se requieren 15 personas por turno, de acuerdo con el plan de producción actual, para poder cumplir con las metas establecidas por turno.
- La lluvia de ideas arrojó las causas potenciales del problema planteado en la investigación. Al respecto, se obtuvieron 17 ideas, las mismas se colocan en el diagrama de Ishikawa y se valoran en el multivoto.
- El diagrama de Ishikawa evidenció que la mayoría de las causas se centran en la categoría de método, pero esto no significa que las causas principales del problema se ubiquen en esta categoría.
- Se realizó un ejercicio de multivoto para las causas generadas en la lluvia de ideas y colocadas en el Ishikawa. Mediante este ejercicio, se identificaron 4 causas que alcanzan la valoración máxima de 45 puntos, por lo tanto, son causas con una relación bastante alta con el problema planteado. Al concluir la valoración de las causas, se llevó a cabo un diagrama de Pareto, el cual evidenció que alrededor del 80 % de los votos se centraron en 7 causas principales.
- Se elaboró un diagrama de relaciones para las 7 principales causas seleccionadas, de este surgieron 3 causas que englobaron las demás, a saber, distribución de planta ineficiente, planificación de producción ineficiente y tiempos

de ciclo elevados. A estas últimas se les hizo un ejercicio de 5 porqués y se identificó por qué se da cada una de estas causas.

- Se formularon 2 propuestas para dar solución al problema de la investigación y lograr, de esta manera, reducir el costo por unidad y mejorar la eficiencia del proceso. Estas propuestas consistieron en realizar un nuevo *layout* en la línea y reestructurar el plan de producción y la mano de obra. La primera buscó reducir el tiempo de ciclo de los procesos al reducir el tiempo de actividades que no agregan valor, específicamente los traslados de la línea, y también mejorar los movimientos de material en la línea para evitar choques o cruces de unidades, reduciendo con la propuesta un 31 % de la distancia en los traslados de la línea. Asimismo, al reducir el tiempo de ciclo de los procesos, de igual modo se reduce el requerimiento del personal por proceso. En cambio, la propuesta 2 tuvo la intención directa de reducir la mano de obra directa e indirecta en el proceso productivo, debido a que se propuso producir el total de unidades únicamente en el turno A.
- Como método de control, se empleó un diagrama de Gantt para lograr poner en marcha cada una de las propuestas, las cuales se espera que estén implementadas en julio del año 2025.
- Con el fin de controlar y mantener los resultados de la propuesta 1, se propuso implementar un formulario para la solicitud de cambios de *layout*, este busca que sea un requisito tener la aprobación de la gerencia para poder llevar a cabo alteraciones posteriores al *layout* de la línea. Junto con la implementación de este documento, se planteó impartir un entrenamiento acerca de cómo llenarlo y cuál va a ser el proceso por seguir para poder realizar cambios en la distribución de planta.
- El análisis de costos proyectado con la implementación de las propuestas y los indicadores de productividad, junto con el análisis del retorno de la inversión (ROI), determinó que existe una viabilidad financiera en la implementación de las propuestas, pues se espera reducir el costo por unidad en un 14.92 % y el indicador de productividad total en un 16.98 %. Por otro lado, el ROI es de 2464.18 %, esto

demuestra una mejora provechosa para la compañía al implementar ambas propuestas.

- Se estableció implementar una estrategia para la resistencia al cambio que busque facilitar la aceptación de los cambios y gestionar la resistencia de los empleados mediante una comunicación efectiva, involucrando a todos los empleados, escuchando sugerencias y mostrando los beneficios y expectativas de las propuestas.

## **RECOMENDACIONES**

- Incrementar el *yield* en los procesos críticos, como lo son los del ensamble B. Esto implica realizar un análisis de los defectos más frecuentes e identificar cuáles son las causas de estos y los factores que los generan. De esta manera, se reduce la cantidad de defectos en la línea, lo cual representa una disminución en el costo de los defectos.
- Automatizar actividades manuales mediante la incorporación de tecnología en los procesos con tiempos de ciclo elevados. Lo anterior permite una reducción significativa en los tiempos de ejecución, una mayor precisión en las tareas y un mejor aprovechamiento del personal disponible al poder enfocarse en otras actividades que agregan valor.
- Buscar y validar nuevos proveedores más económicos que ofrezcan mejores condiciones de contrato y no comprometan la calidad de la materia prima. Esto actualmente representa un beneficio importante en el costo por unidad producida, ya que los costos de materiales representan una parte significativa del gasto operativo; por consiguiente, explorar esta alternativa puede generar un impacto positivo en la rentabilidad del producto.
- De igual manera, como se propone para la línea en la cual se enfoca la investigación, se recomienda generar indicadores de productividad para los costos de los productos de las demás líneas de producción.

## REFERENCIAS

## Libros

Bremer, M. (2021). *Cómo hacer un gemba walk*. Profit.

Cruelles, J. A. (2012). *Mejora de métodos y tiempos de fabricación*. Marcombo.  
[https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=ektOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT32&dq=concepto+de+toma+de+tiempos&ots=Sft7RjBhrP&sig=xSQF4Ad8f3VlpCq95GDIG0G3YSQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=concepto%20de%20toma%20de%20tiempos&f=false](https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=ektOEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT32&dq=concepto+de+toma+de+tiempos&ots=Sft7RjBhrP&sig=xSQF4Ad8f3VlpCq95GDIG0G3YSQ&redir_esc=y#v=onepage&q=concepto%20de%20toma%20de%20tiempos&f=false)

Gómez, S. B. (2012). *Metodología de la investigación*. Red Tercer Milenio.  
[https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/735/1/Metodologia\\_de\\_la\\_investigacion.pdf](https://dspace.itsjapon.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/735/1/Metodologia_de_la_investigacion.pdf)

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Education.

Jananía, C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos: ingeniería de métodos*. LIMUSA.

## Trabajos de investigación

Caucali, V. (2022). *Análisis de toma de tiempos del proceso de acondicionamiento de una maquila en un operador logístico*. [Trabajo final de graduación de Especialización en Gerencia Logística Integral, Universidad Militar Nueva Granada].  
<https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/4b20ab23-4139-4ba8-a690-450c5f0e1fa0/content>

Cuesta, N., Cuiñeme, L., Villate, T. y Medina, A. (2023). *Planeación de requerimientos de materiales y programación de la producción en una pyme del sector metalmecánico*. [Tesis de Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Javeriana].  
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/67520>

- González, D. (2018). *Optimización del proceso de montaje de centros de carga para la empresa Eaton Electrical S. A.* [Proyecto de graduación de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14351>
- Mendieta, K. y Salazar, E. (2024). *Implementación de la metodología gemba walk para la mejora de la gestión de abastecimiento de una empresa dedicada al rubro minero.* [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Continental]. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14720/3/IV\\_FIN\\_108\\_TE\\_Mendieta\\_Salazar\\_2024.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14720/3/IV_FIN_108_TE_Mendieta_Salazar_2024.pdf)
- Orozco, L. A. (2022). *Propuesta técnica-económica para la optimización de los procesos industriales de la miel de abeja, en una microplanta apícola ubicada en San Francisco de Piedades Sur de San Ramón.* [Trabajo de graduación de Licenciatura en Ingeniería Agrónoma, Universidad Nacional]. <https://repositorio.una.ac.cr/items/5e0e4e1e-2121-4cc2-bf7e-403b35fda16e>
- Palacios, B. (2009). *Mejora de tiempo de atención de camiones en un centro de distribución de bebidas para consumo masivo usando herramientas de calidad y toma de tiempos.* [Trabajo de Ingeniería Industrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6303>
- Rojas, V. y Víquez, J. (2022). *Desarrollo de una propuesta que mejore la productividad en la línea de líquidos 1, con el fin de optimizar el sistema de envasado de medicamentos líquidos en el Laboratorio de Productos Farmacéuticos de la Caja Costarricense de Seguro Social en la Uruca.* [Trabajo de Licenciatura en Ingeniería en Procesos y Calidad, Universidad Técnica Nacional]. <https://repositorio.utn.ac.cr/server/api/core/bitstreams/8387c84b-6334-4d59-98de-746aff4c22fe/content>

Sánchez, D. (2016). *Planeamiento estratégico y diseño de un sistema de gestión de procesos para mejorar la calidad de servicio de la empresa D'Anne Carol Eirl*. [Tesis de Ingeniería en Procesos y Calidad, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e6296175-1f5b-413f-9027-0f6e5c13acda/content>

Sánchez, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-25162019000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162019000100008)

## Internet

ADN Lean. (2024a). *Estudio de tiempos, ejemplo en Excel paso a paso. ¿Qué es y cómo aplicar?* [https://adnlean.com/estudio-de-tiempos-ejemplo-en-excel-paso-a-paso-que-es-y-como-aplicar-copy-copy/#elementor-toc\\_\\_heading-anchor-10](https://adnlean.com/estudio-de-tiempos-ejemplo-en-excel-paso-a-paso-que-es-y-como-aplicar-copy-copy/#elementor-toc__heading-anchor-10)

ADN Lean. (2024b). *¿Qué es el estudio de métodos y cómo se hace? Ejemplo en Excel paso a paso*. [https://adnlean.com/que-es-el-estudio-de-metodos-y-como-se-hace-ejemplo-en-excel-paso-a-paso/#elementor-toc\\_\\_heading-anchor-5](https://adnlean.com/que-es-el-estudio-de-metodos-y-como-se-hace-ejemplo-en-excel-paso-a-paso/#elementor-toc__heading-anchor-5)

Aiteco Consultores. (2019). *Multivotación: instrumento para seleccionar las mejores ideas*. <https://www.aiteco.com/multivotacion-seleccionando-las-mejores-ideas/>

Altertecnia. (2025). *Claves para diseñar un buen layout*. <https://altertecnia.com/claves-disenar-buen-layout/#>

Betancourt, D. (2016a). *Capacidad de producción: ¿Qué es y cómo se calcula?* <https://www.ingenioempresa.com/capacidad-produccion-empresa/>

Betancourt, D. (2016b). *Cómo hacer un diagrama de relaciones paso a paso*.  
<https://www.ingenioempresa.com/diagrama-de-relaciones/>

Betancourt, D. (2016c). *El cursograma: herramienta del ingeniero industrial*.  
<https://www.ingenioempresa.com/cursograma/>

Bustos, P. G. (2015). *Aplicación de matrices en arquitectura*.  
<https://pgbustos.wordpress.com/2015/01/18/aplicacion-de-matrices-en-arquitectura/>

Cárdenas, F. (2023). *Qué es el stakeholder mapping o mapeo de stakeholders (con ejemplo)*.  
<https://blog.hubspot.es/sales/que-es-mapa-stakeholders#que-es-stakeholder-mapping>

Cárdenas, F. (2025). *5 porqués (5 whys): qué es, metodología y ejemplos*.  
<https://blog.hubspot.es/sales/5-porques#que-es>

Cauas, D. (2015). *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación*.  
<https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24762w/Definiciondelasvariables,enfoqueytipodeinvestigacion.pdf>

Cristo León. (2021). *Matriz de análisis: FODA cruzado*.  
<https://www.cristoleon.com/project/matriz-de-analisis-foda-cruzado/>

De Souza, I. (2019). *Descubre qué es el diagrama de Pareto y sus múltiples utilidades*.  
<https://rockcontent.com/es/blog/diagrama-de-pareto/>

Díaz, L. (comp.). (2011). *La observación*. Universidad Nacional Autónoma de México.  
<http://148.202.167.116:8080/jspui/handle/123456789/2714>

Esparza, A. y Montero, J. (2021). *Metodología “Lean 14 Steps”*. [https://cicr.com/wp-content/uploads/2021/05/CE-Abbott\\_Medical.pdf](https://cicr.com/wp-content/uploads/2021/05/CE-Abbott_Medical.pdf)

Giani, C. (2024). *Diagrama de Ishikawa*. <https://concepto.de/diagrama-de-ishikawa/>

Gutiérrez, M., Valverde, N., Rojas, F. y Díaz, R. (2021). *Programa lean six sigma*. <https://cicr.com/wp-content/uploads/2021/05/CE-INS.pdf>

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. (2014). *Lluvia de ideas*. <https://controlesestadisticosdeprocesos.blogspot.com/2014/10/lluvia-de-ideas.html>

INTERIM GROUP. (2023). *Indicadores de productividad: mide el rendimiento de tu empresa*. <https://interimgrouphr.com/blog/indicadores-productividad/>

InterPro. (2025). *¿Qué es un análisis de precio unitario (APU)?* <https://www.interpro.ec/blog/gestion-de-proyectos-4/analisis-de-precios-unitarios-1>

Jiménez, G. (2021). *Visualización de datos: gráfico circular*. <https://pages.datasketch.co/es/blog/data-visualization-pie-chart/>

Kizeo Forms. (2025). *5 métodos para vencer la resistencia al cambio organizacional*. <https://www.kizeo-forms.com/lat/blog/resistencia-al-cambio-organizacional/>

Licha, I. (2000). *El análisis del entorno: herramienta de la gerencia social*. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/dp3769.pdf>

Méndez, C. (2010). *Introducción a las fuentes de información*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7580/introduccion%20a%20las%20fuentes%20de%20informaci%c3%83%c2%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OCC Mundial. (2021). *¿Qué es un análisis FODA, cómo se hace, para qué sirve? Guía 2021*. <https://www.occ.com.mx/blog/que-es-un-analisis-foda-y-como-se-hace/>

Ovalles, J., Gisbert, V. y Pérez, A. (2017). *Herramientas para el análisis de causa raíz (ACR)*. <https://3ciencias.com/articulos/articulo/herramientas-analisis-causa-raiz-acr/>

PDCA Home. (2013). *Cómo dibujar y qué es un diagrama de espagueti o spaghetti chart*. <https://www.pdcahome.com/4726/como-dibujar-y-que-es-un-diagrama-de-espaghetti-o-spaghetti-chart/>

Pursell, S. (2025). *Cómo medir el ROI en el marketing (+ fórmula y ejemplos)*. <https://blog.hubspot.es/marketing/que-es-roi#que-es>

Rodó, P. (2020). *Diagrama de barras*. <https://economipedia.com/definiciones/diagrama-de-barras.html>

Rodríguez, J. (2012). *Simbología de los diagramas de flujo*. <https://es.slideshare.net/AliniuZizRguezT/simbolos-diagrama-de-flujo>

SafetyCulture. (2024). *Cómo el método DMAIC puede ayudar a su empresa a mejorar su rendimiento*. <https://safetyculture.com/es/temas/dmaic/>

Santos, D. (2023a). *15 herramientas de planeación estratégica estelares para 2023*. <https://blog.hubspot.es/marketing/herramientas-planeacion-estrategica>

Santos, D. (2023b). *Project charter: qué es, cómo crearlo y ejemplos*. <https://blog.hubspot.es/marketing/project-charter>

Santos, D. (2024a). *Diagrama de Gantt: qué es y cómo crearlo paso a paso*. <https://blog.hubspot.es/marketing/crear-diagrama-gantt#para-que>

Santos, D. (2024b). *Mapeo de procesos: qué es, cómo realizarlo y las mejores herramientas*. <https://blog.hubspot.es/marketing/mapeo-de-procesos>

SPC Group. (2015). *Diagrama de dispersión*. <https://spcgroup.com.mx/diagrama-de-dispersion/>

Sushmith. (2024). *DMAIC Methodology-The Ultimate Guide*. <https://www.sprintzeal.com/blog/dmaic-methodology>

Turovski, M. (2023). *¿Qué es la capacidad de producción y cómo calcularla?* [https://www.mrpeasy.com/blog/es/capacidad-de-produccion/#%C2%BFComo\\_calcular\\_la\\_capacidad\\_de\\_produccion](https://www.mrpeasy.com/blog/es/capacidad-de-produccion/#%C2%BFComo_calcular_la_capacidad_de_produccion)

Watts, M. (2025). *Rolled Throughput Yield (RTY): Make Sure Your Production Is Making the Grade*. <https://www.isixsigma.com/dictionary/rolled-throughput-yield-rty/>

## **APÉNDICES Y ANEXOS**

## APÉNDICE 1: FORMULARIO DE SOLICITUD DE CAMBIOS DE LAYOUT

Sección 1: Información de la Solicitud de Cambio de Layout	
Fecha de emisión de la solicitud	
Línea involucrada (si aplica)	
# de Cuarto limpio involucrado (si aplica)	
Edificio involucrado (A21 / A44)	
Nombre del solicitante	
Departamento solicitante	
<p>Descripción del movimiento o cambio de layout solicitado.</p> <p>Adjunte fotos, diagramas o planos que expliquen a detalle la solicitud.</p>	

Sección 2: Información adicional involucrada en el movimiento	
Pregunta	Responda "Si" o "No". Agregue el detalle solicitado en caso de ser necesario
¿El cambio involucra movimientos de estaciones de manufactura o calidad?	
¿El cambio altera el flujo de los procesos?	
¿El cambio se realiza dentro de un cuarto limpio controlado?	
¿El cambio involucra movimientos de equipos que no requieren cualificación (IQ y OQ)?  En caso afirmativo, agregue la lista de equipos y los códigos de estos.	
¿El cambio involucra movimientos de equipos que requieren cualificación (IQ y OQ)?  En caso afirmativo, agregue la lista de equipos y los códigos de estos.	
¿El cambio involucra movimientos de equipos que requieren calibración interna o externa?  En caso afirmativo, agregue la lista de equipos y los códigos de estos.	
¿El cambio involucra cambios en las facilidades del área?	
¿El cambio puede provocar contaminación o particulado en el área involucrada?  En caso afirmativo, informe al equipo de facilidades y limpieza.	
¿El cambio requiere que el personal involucrado utilice equipos de protección?  En caso afirmativo, enliste los equipos requeridos	

<b>Sección 3: Aprobadores del cambio de layout</b>			
<b>Departamento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>
Solicitante del cambio			
Ingeniería de manufactura			
Ingeniería de calidad			
Calibraciones (En caso de involucrar equipos que requieran calibraciones)			
Facilidades			
Mantenimiento			
Producción			
Excelencia operativa			
Salud ocupacional			
Calidad y confiabilidad			
Otro departamento (Si aplica)			
Otro departamento (Si aplica)			

## ANEXO 1: PROYECCIÓN DE DEMANDA Y PRODUCCIÓN

Month	Monthly demand	Daily demand	Monthly production	Daily production	Montly Workdays	Inventory
Apr-25	830.0	44.0	760.0	40.0	19.0	1330.0
May-25	800.0	38.0	840.0	40.0	21.0	1370.0
Jun-25	800.0	38.0	840.0	40.0	21.0	1410.0
Jul-25	760.0	40.0	760.0	40.0	19.0	1410.0
Aug-25	750.0	38.0	800.0	40.0	20.0	1460.0
Sep-25	750.0	36.0	840.0	40.0	21.0	1550.0
Oct-25	750.0	33.0	920.0	40.0	23.0	1720.0
Nov-25	750.0	38.0	800.0	40.0	20.0	1770.0
Dec-25	750.0	44.0	680.0	40.0	17.0	1700.0
Jan-26	750.0	38.0	800.0	40.0	20.0	1750.0
Feb-26	750.0	38.0	800.0	40.0	20.0	1800.0
Mar-26	750.0	36.0	840.0	40.0	21.0	1890.0
Apr-26	860.0	45.0	760.0	40.0	19.0	1790.0
May-26	840.0	40.0	840.0	40.0	21.0	1790.0
Jun-26	840.0	38.0	880.0	40.0	22.0	1830.0
Jul-26	760.0	38.0	800.0	40.0	20.0	1870.0
<b>Total</b>	<b>12490.0</b>	<b>622.0</b>	<b>12960.0</b>	<b>640.0</b>	<b>324.0</b>	
<b>Average</b>	<b>780.6</b>	<b>38.9</b>	<b>810.0</b>	<b>40.0</b>	<b>20.3</b>	

