

i.PORTADA

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE
INVENTARIOS BASADO EN ANÁLISIS
PREDICTIVO Y USO OPTIMIZADO DE HOJAS DE
CALCULO Y LEAN DNA EN CIRTEC MEDICAL,
COSTA RICA, DURANTE EL AÑO 2026.

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

KAREN HERRERA HERRERA

LIC. LEONOR MURILLO ALPÍZAR

ALAJUELA, 2026

ii. ACTA DE APROBACION

A) Declaracion jurada de originalidad

Yo, Karen Adriana Herrera Herrera portadora de la cédula de identidad número 208130395, declaro bajo fe de juramento que el presente trabajo titulado “*Diseño de un modelo de gestión de inventarios basado en análisis predictivo y uso optimizado de hojas de cálculo y Lean DNA en Cirtec Medical, Costa Rica, durante el año 2026*” es de mi autoría original y que ha sido elaborado como parte de los requisitos para optar por el grado académico correspondiente.

Asimismo, manifiesto que:

- El contenido de este proyecto es producto de mi propio esfuerzo, investigación y análisis.
- Todas las fuentes de información utilizadas han sido debidamente citadas y referenciadas conforme a las normas académicas correspondientes.
- En caso de haber utilizado herramientas tecnológicas o de apoyo, estas han sido empleadas únicamente como complemento y no sustituyen el análisis propio desarrollado en el proyecto.

Declaro que asumo toda la responsabilidad ética y legal sobre la veracidad y originalidad del contenido presentado.

B) Evaluación por parte del responsable en la organización donde se realizó el proyecto

Señores

Escuela de ingeniería industrial

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

Me permito saludarle y a la vez comunicarle que la estudiante Karen Herrera Herrera, cédula 208130395, ha concluido exitosamente el proyecto de graduación para optar por el nivel de bachillerato en ingeniería industrial de la Universidad Hispanoamericana, en modalidad presencial denominado: diseño de un modelo de gestión de inventarios basado en análisis predictivo y uso optimizado de hojas de cálculo y Lean DNA en Cirtec Medical, costa rica, durante el año 2026. , a continuación, se presenta el desglose de la nota obtenida:

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	N/A
1. Regularidad en la asistencia al trabajo y cumplimiento con el horario establecido										X	
2. Cumplimiento de tareas que el desarrollo de su trabajo demanda										X	
3. Cumplimiento de los reglamentos y normas existentes en la organización										X	
4. Capacidad de proponer y/o aprender por si mismo acciones tendientes a la mejora de su trabajo										X	
5. Capacidad para identificar y analizar los problemas que se presentan										X	
6. Capacidad para sacar conclusiones y recomendaciones										X	
7. Capacidad para aplicar los conocimientos teóricos al trabajo práctico desarrollado										X	
8. Capacidad para expresar sus ideas										X	
9. Presentación personal adecuada a las exigencias de la organización										X	
10. Capacidad para establecer y mantener relaciones adecuadas con otras personas										X	
11. Capacidad para comunicar sus ideas, sugerencias y conocimientos de la organización										X	
12. Grado de contribución del trabajo a la mejora de las actividades de la organización										X	
13. Grado en que se cumplieron los objetivos planteados al inicio del desarrollo del proyecto										X	
Sumatoria de puntos:	Nota: $\frac{\text{sumatoria de puntos}}{1300} =$										
Comentarios adicionales: Karen es una excelente trabajadora, con este proceso ayudó a todo el equipo Supply Chain a entender de una mejor forma el sistema. Desarrolló con claridad las instrucciones. Atentamente, Gandy A. Naret Cordero.											
Puesto: Head of Procurement. Institución: Cirtec Medical Costa Rica. Contactos: 8319-7141.											

iii. AGRADECIMEINTOS

Quiero expresar un sincero agradecimiento a Sandy, mi jefa, por su apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto. Su guía, confianza y disposición para compartir su conocimiento fueron fundamentales para poder llevar a cabo este trabajo de manera exitosa. Asimismo, agradezco profundamente a Leonor, mi tutora de tesis, por su acompañamiento académico, sus valiosas observaciones y su orientación a lo largo de todo el proceso. Su apoyo fue clave para fortalecer la calidad y el enfoque del proyecto.

iv. ACRÓNIMOS Y SIGLAS

DMAIC: Es un enfoque estructurado de cinco fases—Definir, Medir, Analizar, Mejorar (Improve), y Controlar—utilizado en Lean Six Sigma para mejorar, optimizar o estabilizar procesos empresariales existentes basados en datos.

OEMs: Fabricante de Equipos Originales, que produce productos y componentes que no vende al consumidor final, sino a otros fabricantes.

FDA: Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos). Es la agencia federal de EE. UU. encargada de proteger la salud pública al garantizar la seguridad, eficacia y calidad de los medicamentos, alimentos, cosméticos, dispositivos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos.

SO: Sales order significa pedido de venta en español. Es un documento interno emitido por un vendedor al recibir la orden de compra de un cliente, confirmando la venta de productos o servicios.

PO: Una orden de compra es un documento comercial formal y oficial emitido por el comprador a un vendedor para solicitar productos o servicios.

PMBOK: Project Management Body of Knowledge (Cuerpo de Conocimientos para la Gestión de Proyectos). Es un marco integral de estándares, mejores prácticas y

terminología para gestionar proyectos, desarrollado por el Project Management Institute (PMI).

KPI: Key Performance Indicato, Indicador Clave de Desempeño o Rendimiento.

GpRD: Gestión para Resultados en el Desarrollo.

PYME: Pequeña y mediana empresa.

IA: Inteligencia Artificial, es un campo de la informática que desarrolla sistemas capaces de simular procesos de inteligencia humana.

SCM: Supply Chain Management (Gestión de la Cadena de Suministro en español).

ML: Machine Learning, o aprendizaje automático.

ERP: Enterprise Resource Planning (Planificación de Recursos Empresariales).

DUA: Documento Único Administrativo, es el formulario oficial obligatorio para declarar la entrada (importación) o salida (exportación) de mercancías ante las autoridades aduaneras.

v. RESUMEN EJECUTIVO Y ARTÍCULO PUBLICABLE

Herrera, Karen. (2026). *Diseño de un Modelo de Gestión de Inventarios Basado en Análisis Predictivo y Uso Optimizado de Hojas de Cálculo y Lean DNA en Cirtec Medical, Costa Rica, Durante el Año 2026*. Proyecto de graduación. Universidad Hispanoamericana.

El presente proyecto de graduación aborda la problemática de la gestión de inventarios en la línea de producción de catéter en Cirtec Medical Costa Rica, donde se identificaron quiebres de stock recurrentes que afectan directamente la continuidad operativa. Estos faltantes de material generan paros de línea no planificados y el incremento en los costos de mano de obra ociosas por falta de material. La situación se ve agravada por la dependencia de un único proveedor, la alta rotación del personal en el área de compras, la falta de estandarización en los procesos y el uso limitado de herramientas analíticas como LeanDNA, lo que ha propiciado una gestión reactiva en lugar de preventiva.

El objetivo principal fue diseñar e implementar mejoras en la gestión de inventarios mediante una herramienta de control estandarizada y la implementación parcial de LeanDNA, con el fin de reducir paros de línea y costos asociados. Para ello, se definieron objetivos específicos enfocados en diagnóstico, medición mediante indicadores, análisis de causas raíz, diseño de soluciones y establecimiento de mecanismos de seguimiento.

El alcance se centró en el área de Supply Chain, específicamente en la planificación y control de inventarios de la línea de catéter entre enero y marzo de 2026, analizando variables como quiebres de stock, horas de paro y costos de mano de obra improductiva. Entre las limitaciones destacan la falta de datos históricos, la confidencialidad de la información, la adopción inicial de LeanDNA, los largos tiempos

de entrega, la dependencia de un proveedor único y la imposibilidad de ampliar el análisis a otras líneas.

La metodología utilizada fue el enfoque DMAIC, (enfoque estructurado de cinco fases— **D**efinir, **M**edir, **A**nalizar, **M**ejorar (Improve), y **C**ontrola) que permitió estructurar el proyecto en cinco fases: definir, medir, analizar (con herramientas como Pareto e Ishikawa), mejorar y controlar, facilitando un análisis integral basado en datos. El diagnóstico evidenció que el problema no solo radica en la falta de materiales, sino en deficiencias estructurales como la ausencia de procesos estandarizados, baja visibilidad del inventario, uso limitado de herramientas predictivas y gestión reactiva. En 2025 se registraron 205 horas de paro de línea (26 días productivos perdidos), reflejando un impacto significativo.

Como solución, se propuso una mejora integral que incluye planificación preventiva, definición de inventarios de seguridad, seguimiento de órdenes de compra, uso de una herramienta en Excel, reuniones semanales entre áreas y adopción progresiva de LeanDNA. La implementación se plantea de forma híbrida y escalable: Excel en el corto plazo, estandarización en el mediano plazo y uso consolidado de LeanDNA en el largo plazo. En conclusión, el proyecto propone una solución práctica que busca reducir quiebres de stock y costos, mejorar la estabilidad operativa, disminuir la dependencia del factor humano y avanzar hacia una gestión de inventarios más eficiente, estandarizada y basada en analítica predictiva.

TABLA DE CONTENIDOS

i. PORTADA	2
ii. ACTA DE APROBACION	3
iii. AGRADECIMEINTOS	6
iv. ACRÓNIMOS Y SIGLAS	7
v. RESUMEN EJECUTIVO Y ARTÍCULO PUBLICABLE	10
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	17
1.1. Descripción general del proyecto	18
1.2. Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto	21
1.2.1. Descripción general de la organización	26
1.2.1.1. Misión y visión	27
1.2.1.2. Estructura organizativa	28
1.2.1.3. Número de empleados y tipos de puestos	30
1.2.1.4. Productos y servicios	31
1.2.1.5. Descripción general del proceso productivo	32
1.2.2. Antecedentes del contexto de la empresa o institución	33
1.3. Planteamiento del problema	35
1.3.1. Definición y medición del problema	35
1.3.2. Justificación del proyecto	40
1.4. Objetivos del proyecto	45
1.4.1. Objetivo general	45
1.4.2. Objetivos específicos	45
1.5. Alcances y limitaciones	46
1.5.1. Alcances	46
1.5.2. Limitaciones	48
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	56
2.1. Marco conceptual general relativo a la carrera	57
2.1.2. Diagrama de flujo	58
2.1.3. Análisis de Ishikawa (Diagrama causa-efecto)	59
2.1.4. Gemba Walk	60

2.1.5. Análisis de Pareto	61
2.1.6. Análisis de correlación.....	62
2.1.7. Análisis de los 5 por qué	63
2.1.8. Gestión de inventarios en la cadena de suministro.....	64
2.1.9. Lean Supply Chain y mejora continua	66
2.1.10. Control de inventarios y dependencia del factor humano	67
2.1.11. Analítica predictiva aplicada a la gestión de inventarios	68
2.1.12. Herramientas digitales para la gestión de inventarios: LeanDNA.....	69
2.1.13. La Metodología DMAIC	70
2.2. Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto.....	73
2.2.1. Fases de la gestión del proyecto	74
2.2.2. Metodologías de gestión aplicadas a proyectos de Ingeniería Industrial	77
2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto	78
2.3.1. Impacto en el corto plazo	79
2.3.2. Impacto en el mediano plazo.....	80
2.3.3. Impacto en el largo plazo	81
2.4. Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes	84
2.4.1. Simulación y optimización de inventarios	84
2.4.2. Optimización y cadena financiera	87
2.4.3. Resiliencia mediante aprendizaje-estocástico	90
2.4.4. Optimización estocástica de inventarios	92
2.4.5. Gestión de inventarios y tecnologías emergentes	95
2.4.6. Gestión inteligente de inventarios.....	98
2.4.7. Lean para PYME	100
2.4.8. IA para predicción de demanda.....	103
2.4.9. Efectos del COVID-19 en SCM	105
2.4.10. Planificación SCM e inventario	108
2.4.11. AI y SCM en Industria 4.0.....	110
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO	113
3.1 Metodología para la definición del problema	117
3.2 Metodología para la medición y respaldo cualitativo de proyecto.....	120
3.2.1. Variables del sistema de medición	121
3.2.2. Técnicas estadísticas y herramientas de medición	121

3.2.3. Definición operativa del defecto	122
3.2.4. Control de variabilidad y confiabilidad de la medición	122
3.2.5. Plan de recolección de datos	123
3.3 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio	124
3.4 Metodología para la implementación del proyecto	127
3.5 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados	132
3.5.1 Proceso de verificación de entregables y resultados	132
3.5.2 Respaldo metodológico e instrumentos de control	133
3.5.3 Organización del proceso de control	134
3.5.4 Sistema de seguimiento de resultados	134
3.5.5 Indicadores para asegurar sostenibilidad	135
3.5.6 Riesgos identificados y medidas de mitigación	135
3.5.7 Consolidación de la solución en el tiempo	136
3.5.8 Prevención del retroceso a la situación inicial	136
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ	139
4.1. Diagrama de Flujo	140
4.2. Análisis de Quiebres de Stock	145
4.3. Análisis de Pareto	149
4.5. Ishikawa	159
a. Material	161
b. Método	164
c. Máquina	167
d. Medición	169
e. Mano de obra	172
f. Medio ambiente	175
4.6. Análisis de Correlación	179
b. Relación entre horas ociosas por falta de material y costos directos de mano de obra asociado	186
c. Relación entre número de paros por falta de material y costo asociado de mano de obra	190
5.1 Enfoque general de la propuesta de mejora	197
5.2 Relación entre causas identificadas y soluciones propuestas	198

5.3 Diseño de la solución propuesta	199
5.3.1. Planificación preventiva del abastecimiento tomando en cuenta tiempos de tránsito, recibo e inspección.	202
5.3.2. Definición de niveles de inventario de control (Safety stock)	204
5.3.3. Seguimiento de órdenes de compra abiertas	206
5.3.4. Herramienta de control operativo en Excel	207
5.3.5. Reunión semanal de planificación entre Supply Chain y Producción.....	214
5.3.6. Implementación progresiva de LeanDNA (hasta fase 2).....	216
Fase 1: Revisión y validación de la demanda en el ERP	216
Fase 2: Depuración de órdenes de trabajo abiertas	217
Fase 3: Clasificación correcta de números de parte (PN).....	218
Fase 4: Validación y ajuste de lead time	218
Fase 5: Definición de stock de seguridad	219
Fase 6: Depuración de BOMs y eliminación de duplicados	219
Fase 7: Pruebas piloto	219
Fase 8: Capacitación del personal	220
5.3.7. Impacto esperado de la propuesta	223
5.3.8. Análisis costo – beneficio de la propuesta	223
5.3.9. Control, seguimiento y sostenibilidad de la mejora	227
6. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	230
6.1. Conclusiones	230
6.2. Recomendaciones	237
7. CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA	250

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Site de Costa Rica, Cirtec Medical.....	23
Figura 2. Interfaz de la herramienta Lean DNA.	26
Figura 3. Organigrama de Cirtec Medical Costa Rica.	29
Figura 4. Productos realizados en Cirtec Medical.	31
Figura 5. Cadena de consecuencias de quiebres de stock.	66

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de compras del departamento de Supply Chain Cirtec Medical CR.	141
Figura 7. Total, de cortos de materia prima por la línea de producción de catéter por mes.	146
Figura 8. Análisis de Pareto de las causas de quiebres de stock.	153
Figura 9. Análisis de los cinco porques	156
Figura 10. Análisis de Ishikawa de los paros en las líneas productivas de catéter.	160
Figure 11. Análisis de correlación entre el total de paros vs el total de horas improductivas por falta de material.	183
Figura 12. Total de horas detenidos por falta de materiales vs costo de mano de obra asociado.	188
Figura 13. Total, de eventos de paros por falta de materiales vs costo directo de mano de obra directa.	191
Figura 14. Cálculo de producción diaria con un 90% de yield.	209
Figura 15. Alerta de corto y su fecha respectiva.	210
Figura 16. Fechas y cantidades de los materiales por llegar a la planta.	211
Figura 17. Vision general de la herramienta generada.	213
Figura 18. Gantt de fases de implementación de Lean DNA.	222

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impacto del proyecto a corto plazo.	82
Tabla 2. Impacto del proyecto a mediano plazo.	83
Tabla 3. Impacto del proyecto a largo plazo.	84
Tabla 4. Objetivo #1 correspondiente a la fase Definir de la metodología DMAIC.	119
Tabla 5. Objetivo #2 correspondiente a la fase Medir de la metodología DMAIC.	123
Tabla 6. Objetivo #3 correspondiente a la fase Analizar de la metodología DMAIC.	126
Tabla 7. Objetivo #4 correspondiente a la fase Implementar de la metodología DMAIC. ..	130
Tabla 8. Objetivo #5 correspondiente a la fase Controlar de la metodología DMAIC.	137
Tabla 9. Causas de quiebres de stock	150
Tabla 10. Fuente de datos para el análisis de correlación entre paros de línea y horas improductivas.	179
Tabla 11. Propuestas de mejora según resultados obtenidos en análisis de resultados. ..	198
Tabla 12. Fases de implementación Lean DNA.	220
Tabla 13. Análisis de costo / beneficio de la implementación de la propuesta de mejora. .	224
Tabla 14. Matriz de indicadores propuestos.	229

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1. Descripción general del proyecto

El presente documento desarrolla un proyecto de investigación aplicada orientado a la mejora de la gestión de inventarios en Cirtec Medical Costa Rica, específicamente en el proceso de planificación y control de materiales del departamento de Supply Chain. Este proceso constituye un eje fundamental para garantizar la continuidad operativa de la manufactura de dispositivos médicos, ya que la disponibilidad oportuna de materiales críticos impacta directamente el cumplimiento de los planes de producción, la eficiencia operativa, económica y el nivel de servicio al cliente.

El contexto que motiva la elaboración de este proyecto surge a partir de la identificación de quiebres de stock recurrentes en materiales críticos para la producción, situación que ha generado paros de línea, reprogramaciones de órdenes de manufactura y un incremento significativo de compras fuera de Lead Time. Estas condiciones afectan directamente la continuidad operativa y el cumplimiento de los compromisos con el cliente, evidenciando la necesidad de fortalecer los mecanismos de planificación y control de inventarios dentro de la organización.

Este problema adquiere mayor relevancia al considerar que Cirtec Medical opera en un entorno industrial altamente regulado, propio de la industria de dispositivos médicos, donde la trazabilidad de los materiales, la estabilidad de los procesos y el cumplimiento normativo no solo son requisitos operativos, sino también exigencias regulatorias. En este contexto, la falta de materiales puede representar no

únicamente una interrupción productiva, sino también un riesgo para la conformidad de los procesos y las auditorías de calidad.

Si bien la organización cuenta con LeanDNA, un sistema especializado en el análisis predictivo de inventarios y gestión de riesgos en la cadena de suministro, su implementación en la planta de Costa Rica se encuentra aún en una fase de adopción progresiva. Esta situación está influenciada por procesos de capacitación con equipos ubicados en otros países, la necesidad de estandarizar prácticas a nivel corporativo y el grado de madurez organizacional en el uso de herramientas analíticas avanzadas. Como consecuencia, LeanDNA no se ha consolidado aún como un instrumento de uso cotidiano y preventivo dentro del proceso de planificación de materiales, lo que limita su impacto en la reducción de quiebres de stock.

Adicionalmente, uno de los factores que ha contribuido de manera significativa al problema es la alta rotación del personal en el puesto de compradores (buyers) durante el año 2025. En ese período, el área de Supply Chain ha contado con cinco compradores distintos, lo que ha generado una falta de continuidad en la gestión del proceso de compras y abastecimiento. Cada nuevo ingreso ha aplicado criterios, controles y formas de seguimiento diferentes, lo que ha derivado en prácticas no estandarizadas, dependencia del conocimiento individual y ausencia de un modelo común de control de inventarios y priorización de riesgos.

Esta rotación constante ha dificultado la consolidación de controles formales y sostenibles, provocando que la gestión de inventarios dependa en gran medida de

esfuerzos individuales y soluciones reactivas, en lugar de un enfoque sistemático y estructurado. En consecuencia, la organización carece de un método homogéneo que permita evaluar de forma consistente los niveles de inventario, anticipar quiebres y tomar decisiones oportunas basadas en datos confiables.

En conjunto, la combinación de quiebres de stock recurrentes, el uso limitado de herramientas analíticas como LeanDNA y la alta rotación del personal clave en el proceso de compras evidencia la necesidad de diseñar un modelo de gestión de inventarios estandarizado, robusto y sostenible, que no dependa del criterio individual de los colaboradores, sino que permita mantener el control operativo incluso ante cambios en el personal. Este contexto constituye la base que justifica y orienta el desarrollo del presente proyecto académico.

Ante este escenario, el proyecto propone el diseño de un modelo de gestión de inventarios híbrido y escalable, que permita atender de manera inmediata los riesgos de quiebre de stock, sin comprometer la visión estratégica de implementación total de LeanDNA. Dicho modelo integra controles operativos estructurados mediante hojas de cálculo por la línea de producción de catéter, las cuales consideran variables clave como inventario disponible, Lead Time, consumo según demanda y materiales en tránsito, complementados con el uso progresivo de LeanDNA como herramienta de soporte analítico y predictivo. Esta integración busca fortalecer la toma de decisiones basada en datos, mejorar la visibilidad del inventario y reducir la variabilidad del proceso de planificación.

La propuesta metodológica del proyecto se fundamenta en la aplicación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), propia del enfoque de mejora continua en la Ingeniería Industrial. A través de esta metodología, se estructura el análisis del problema, se construye una línea base de indicadores, se identifican las causas raíz de los quiebres de inventario, se diseñan mejoras viables ajustadas al contexto operativo y se establecen mecanismos de control que aseguren la sostenibilidad de los resultados en el tiempo.

Desde el punto de vista académico, este proyecto se inscribe dentro de la línea de investigación de la Escuela de Ingeniería Industrial asociada a la optimización de procesos productivos y logísticos, con énfasis en la gestión de inventarios y la mejora de la cadena de suministro mediante el uso de herramientas de análisis de datos y metodologías de mejora continua. Asimismo, responde a la necesidad de aplicar conocimientos teóricos a un contexto industrial real, aportando una solución práctica, estructurada y alineada con los retos actuales de la industria médica.

1.2. Identificación de la organización en donde se realiza el proyecto

El proyecto se desarrolla en Cirtec Medical Costa Rica, una empresa multinacional dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de dispositivos médicos de alta complejidad, principalmente clasificados como Clase II y Clase III según la normativa internacional aplicable al sector médico. Cirtec Medical forma parte de una organización global con sede central en Minnesota, Estados Unidos, y con

presencia en diversos países, lo que le permite operar bajo un modelo de manufactura distribuida y altamente especializada.

Cirtec Medical se posiciona como un socio estratégico para fabricantes de equipos médicos (OEMs - Fabricante de Equipos Originales, que produce productos y componentes que no vende al consumidor final, sino a otros fabricantes), ofreciendo soluciones integrales que abarcan todo el ciclo de vida del producto, desde la etapa de diseño y prototipado hasta la producción en serie, ensamblaje final y empaquetado. Este enfoque vertical incrementa la complejidad de sus operaciones internas y exige una coordinación precisa entre las áreas de ingeniería, producción, calidad y cadena de suministro.

La planta donde se desarrolla el proyecto se encuentra ubicada en la Zona Franca Coyol, en el cantón de Alajuela, una de las principales zonas industriales del país y un polo estratégico para la industria de dispositivos médicos. Esta ubicación ofrece ventajas competitivas como infraestructura especializada, cercanía a proveedores del sector, mano de obra calificada y un entorno regulatorio favorable para empresas de manufactura avanzada.

Figura 1. Site de Costa Rica, Cirtec Medical



Fuente: Pagina web Cirtec Medical.

Cirtec Medical Costa Rica ha experimentado un crecimiento sostenido desde el inicio de sus operaciones en el país. Inicialmente, la empresa estableció una planta de menor escala orientada a procesos específicos de manufactura médica; sin embargo, debido al aumento de la demanda global y a la estrategia corporativa de expansión, en años recientes se ha consolidado como un sitio clave dentro de la red global de producción de la compañía. En 2025, Cirtec anunció la ampliación de sus instalaciones en Costa Rica, duplicando su capacidad operativa mediante la construcción de una nueva planta contigua, lo que refuerza la relevancia estratégica del país dentro de sus operaciones internacionales.

La operación de Cirtec Medical Costa Rica se enfoca en la manufactura de dispositivos médicos complejos, tales como componentes para neuromodulación,

sistemas implantables, catéteres altamente ingenierizados, microcomponentes y ensamblajes médicos críticos. Estos productos requieren altos niveles de precisión, control de procesos y cumplimiento normativo, dado que están destinados a aplicaciones clínicas sensibles.

Entre los principales servicios que ofrece la planta se incluyen:

- Manufactura y ensamblaje de dispositivos médicos en cuartos limpios.
- Procesos especializados como extrusión, bobinado y ensamblaje de componentes.
- Control de calidad y validación de procesos conforme a normativas regulatorias.

La diversidad de productos y servicios incrementa la complejidad del manejo de materiales, ya que cada línea de producción puede requerir componentes específicos, con requisitos estrictos de trazabilidad y disponibilidad.

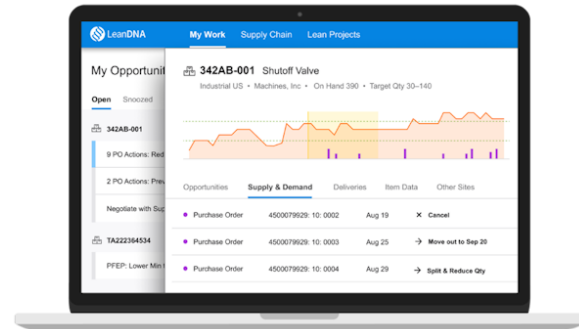
Por otra parte, Cirtec Medical Costa Rica opera bajo un entorno altamente regulado, propio de la industria de dispositivos médicos. La planta se encuentra certificada bajo la norma ISO 13485, la cual establece requisitos para los sistemas de gestión de calidad en organizaciones que fabrican dispositivos médicos. Esta certificación exige procesos documentados, controlados y trazables, especialmente en lo relacionado con la gestión de inventarios, la planificación de materiales y el control de cambios.

Adicionalmente, la empresa debe cumplir con regulaciones internacionales y lineamientos de organismos como la FDA (Food and Drug Administration), lo que refuerza la necesidad de mantener procesos estables y confiables que aseguren la continuidad operativa y la disponibilidad oportuna de materiales críticos.

Este proyecto se desarrolla específicamente en el área de Supply Chain – Planificación de Materiales, debido a su rol clave en la coordinación entre la demanda de producción, la disponibilidad de inventarios y la gestión de compras. La selección de Cirtec Medical Costa Rica como organización para el desarrollo del proyecto resulta pertinente debido a la complejidad de sus operaciones, su crecimiento acelerado y la criticidad de la gestión de inventarios en un entorno regulado. La combinación de múltiples líneas de producción, materiales críticos y procesos altamente controlados convierte a la planificación de materiales en un factor determinante para la continuidad operativa.

Asimismo, el hecho de que la empresa cuente con herramientas digitales avanzadas, como LeanDNA, en proceso de adopción progresiva, genera un escenario propicio para el análisis y diseño de modelos de gestión híbridos que permitan obtener mejoras inmediatas y sostenibles. Por estas razones, Cirtec Medical Costa Rica representa un contexto real y relevante para la aplicación de metodologías de ingeniería industrial orientadas a la mejora de procesos logísticos y de la cadena de suministro.

Figura 2. Interfaz de la herramienta Lean DNA.



Fuente: Página web principal Lean DNA

1.2.1. Descripción general de la organización

La organización en la cual se desarrolla el presente estudio es Cirtec Medical Costa Rica, una empresa multinacional con 11 sedes en total distribuidas en diferentes estados de Estados Unidos, Alemania y Costa Rica, perteneciente al sector de manufactura de dispositivos médicos. La compañía se caracteriza por operar en un entorno altamente regulado, con estrictos estándares de calidad, trazabilidad y control de procesos, propios de la industria médica. Cirtec Medical forma parte de una corporación global con operaciones en distintos países, lo que le permite atender mercados internacionales mediante una red productiva integrada y especializada.

La planta ubicada en Costa Rica cumple un rol estratégico dentro de la organización, concentrando procesos de manufactura avanzada, ensamblaje y servicios complementarios para dispositivos médicos de alta complejidad. Debido a la naturaleza de sus productos y a los requisitos regulatorios que rigen la industria, la empresa requiere una gestión eficiente de sus recursos, especialmente en lo relacionado con la planificación de materiales, el control de inventarios y la continuidad operativa de las líneas de producción.

1.2.1.1. Misión y visión

Al momento de la realización de este proyecto, la organización cuenta con lineamientos estratégicos definidos a nivel corporativo. Para efectos del presente trabajo académico, y en concordancia con la información institucional disponible, así como en coordinación con el contacto de la organización, se establecen las siguientes definiciones de misión y visión:

Misión: Diseñar, desarrollar y fabricar dispositivos médicos de alta calidad, cumpliendo con los requisitos regulatorios nacionales e internacionales, mediante procesos eficientes y controlados que generen valor para los clientes y contribuyan a la mejora de la salud y calidad de vida de los pacientes.

Visión: Ser reconocida a nivel global como una empresa líder en la manufactura de dispositivos médicos complejos, destacándose por su excelencia operacional,

innovación continua y compromiso con la mejora de sus procesos y sistemas productivos.

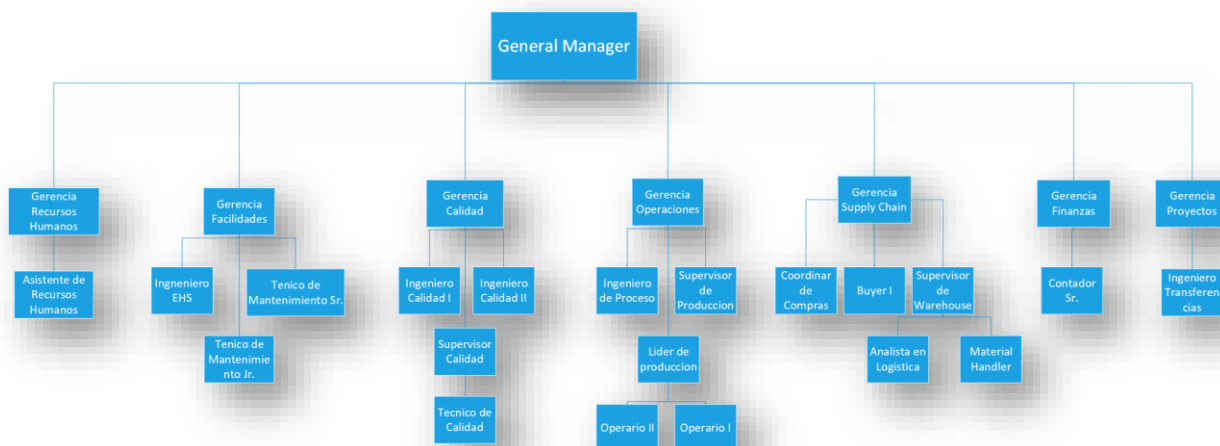
1.2.1.2. Estructura organizativa

La estructura organizativa de Cirtec Medical Costa Rica se encuentra diseñada para soportar un entorno productivo altamente técnico y regulado. La empresa se organiza en áreas funcionales claramente definidas, las cuales trabajan de manera coordinada para asegurar el cumplimiento de los objetivos operativos, de calidad y estratégicos.

Entre las principales áreas de la organización se encuentran:

- Producción
- Supply Chain (Compras, planeación, importación y exportación)
- Ingeniería
- Calidad
- Mantenimiento y Salud Ocupacional
- Recursos Humanos
- Finanzas
- Proyectos (nuevo departamento)

Figura 3. Organigrama de Cirtec Medical Costa Rica.



Fuente: Departamento de Recursos Humanos de Cirtec Medical Costa Rica.

El presente proyecto se desarrolla específicamente en el área de Supply Chain de Cirtec Medical Costa Rica, con énfasis en la planificación de materiales, la cual es responsable de asegurar la disponibilidad oportuna de insumos para las líneas de producción. Esta área integra y coordina diversas funciones operativas clave, entre ellas el proceso de compras y abastecimiento de materiales, la planificación de requerimientos de materiales en conjunto con producción, la recepción de órdenes de compra de los clientes y la creación de las correspondientes SO (sales orders - orden de venta), así como la gestión de procesos logísticos internacionales de importación y exportación. Adicionalmente, el área supervisa la verificación del arribo de los materiales a bodega, asegurando su correcta recepción y disponibilidad para el proceso productivo.

Debido a la naturaleza integral de estas funciones, Supply Chain mantiene una interacción constante con producción, bodega, calidad, clientes y proveedores externos, coordinando el flujo de información y materiales desde la demanda hasta la disponibilidad física del inventario. En consecuencia, su desempeño impacta directamente la continuidad operativa, la estabilidad del flujo de producción y el cumplimiento de los planes de manufactura establecidos.

1.2.1.3. Número de empleados y tipos de puestos

Cirtec Medical Costa Rica cuenta con una planilla de 130 colaboradores, distribuidos entre personal operativo, técnico, administrativo y profesional. La mayor concentración de empleados se encuentra en el área de producción, debido a la naturaleza intensiva en mano de obra especializada que caracteriza la manufactura de dispositivos médicos.

De manera general, los principales tipos de puestos por área incluyen:

- Producción: operadores de manufactura, técnicos de procesos, supervisores de línea.
- Supply Chain: compradores.
- Calidad: inspectores de calidad, ingenieros de calidad, especialistas en cumplimiento regulatorio.
- Ingeniería: ingenieros de manufactura.

- Almacén y logística: encargados de inventarios y supervisor de warehouse.
- Proyectos: Ingenieros de transferencias.

Esta distribución de puestos evidencia la necesidad de una coordinación efectiva entre las diferentes áreas, particularmente en lo relacionado con la gestión de materiales y el abastecimiento de las líneas de producción.

1.2.1.4. Productos y servicios

La organización se dedica a la manufactura de dispositivos médicos y componentes de alta precisión, tales como catéteres, sistemas implantables, microcomponentes y ensamblajes médicos complejos. Estos productos se caracterizan por requerir procesos altamente controlados, trazabilidad completa de los materiales y cumplimiento estricto de normativas internacionales, debido a su aplicación directa en procedimientos clínicos.

Figura 4. Productos realizados en Cirtec Medical.



Fuente: Pagina web de Cirtec Medical.

1.2.1.5. Descripción general del proceso productivo

El proceso productivo inicia con la planificación de la demanda y la programación de la producción, actividades que dependen directamente de la correcta gestión de inventarios y de la disponibilidad de materiales. Posteriormente, los materiales son recibidos, inspeccionados y almacenados bajo condiciones controladas, garantizando su conformidad con los requisitos de calidad establecidos.

Una vez liberados, los materiales son suministrados a las diferentes líneas de producción, donde se llevan a cabo procesos de manufactura y ensamblaje en ambientes controlados en cuarto limpio. A lo largo del proceso se realizan inspecciones y controles de calidad en distintas etapas, con el fin de asegurar que los productos cumplan con las especificaciones técnicas y regulatorias.

Finalmente, los productos terminados pasan por procesos de empaquetado estéril. Durante todo el proceso productivo, la gestión eficiente de materiales resulta crítica para evitar interrupciones en la operación, retrasos en las entregas y riesgos de incumplimiento normativo, lo que refuerza la relevancia del presente estudio dentro de la organización.

1.2.2. Antecedentes del contexto de la empresa o institución

Cirtec Medical es una empresa con más de dos décadas de trayectoria en el sector de dispositivos médicos, caracterizada por ofrecer soluciones integrales que abarcan desde el diseño y desarrollo hasta la manufactura y el ensamblaje de productos médicos de alta complejidad. Desde sus inicios, la organización ha orientado su crecimiento a atender a fabricantes de equipos médicos (OEMs) que demandan altos niveles de especialización técnica, control de calidad y estricto cumplimiento regulatorio, particularmente en dispositivos médicos de Clase II y III.

A lo largo de su evolución, Cirtec Medical ha ampliado de manera progresiva su portafolio de productos y servicios, incorporando capacidades avanzadas en la fabricación de componentes críticos, ensamblajes complejos y sistemas médicos implantables. Este crecimiento ha sido impulsado tanto por la expansión orgánica de sus operaciones como por la integración de nuevas tecnologías y conocimientos especializados, lo que le ha permitido responder eficazmente a las exigencias de un mercado altamente competitivo y regulado.

Un hito relevante en la evolución de la empresa ha sido la ampliación de su red global de manufactura, mediante la cual Cirtec consolidó operaciones en distintas ubicaciones estratégicas a nivel internacional. Esta expansión ha permitido distribuir la producción de acuerdo con las capacidades técnicas de cada planta, optimizar costos operativos y mejorar los tiempos de respuesta hacia los clientes. En este

contexto, la instalación de operaciones en Costa Rica representó un paso estratégico para fortalecer su presencia en América Latina, aprovechar el talento humano calificado del país y consolidar su posicionamiento dentro del clúster de dispositivos médicos de la región.

La operación en Costa Rica inició con una planta de menor escala, orientada principalmente a procesos de ensamblaje y manufactura de componentes médicos. Con el paso del tiempo, la empresa incrementó su capacidad instalada mediante la incorporación de nuevas líneas de producción, la ampliación de áreas de cuarto limpio y el fortalecimiento de sus sistemas de control de calidad. Esta evolución ha permitido diversificar los productos manufacturados localmente y asumir procesos de mayor complejidad técnica, alineados con las demandas de clientes internacionales.

Actualmente, Cirtec Medical Costa Rica manufactura doce tipos de productos diferentes, lo que evidencia la diversidad y complejidad de su operación productiva. Adicionalmente, durante el período 2025–2026, la planta se encuentra en proceso de incorporación de tres nuevos proyectos de gran envergadura, los cuales incrementarán de manera significativa el volumen de producción y la variedad de materiales gestionados. Entre estos proyectos destaca una colaboración estratégica con la empresa Abbott, lo que refuerza la relevancia de la planta costarricense dentro de la red global de manufactura y aumenta las exigencias en términos de planificación, abastecimiento y control de inventarios.

En términos de producción, Cirtec Medical Costa Rica ha experimentado un crecimiento sostenido tanto en volumen como en variedad de productos, impulsado por la creciente demanda global de dispositivos médicos y por la confianza de sus clientes en la calidad, confiabilidad y cumplimiento regulatorio de sus procesos. La empresa ha integrado servicios adicionales como el empaquetado estéril, lo que ha incrementado el valor agregado de sus operaciones y ha fortalecido su enfoque de integración vertical dentro de la cadena de suministro.

La evolución de la empresa también se ha reflejado en el fortalecimiento de sus sistemas de gestión y en la adopción de herramientas tecnológicas orientadas a apoyar la planificación, el control de inventarios y la toma de decisiones. No obstante, el crecimiento acelerado de la operación y la incorporación de nuevos proyectos han incrementado la complejidad en la gestión de materiales, generando retos importantes en términos de disponibilidad de inventarios, coordinación entre áreas y continuidad operativa. Este contexto evidencia la necesidad de mejorar y estructurar los procesos de planificación y control de materiales, lo cual da sustento y relevancia al desarrollo del presente proyecto académico.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Definición y medición del problema

En la operación de Cirtec Medical Costa Rica, específicamente en la línea de producción de catéter, se ha identificado una situación recurrente de quiebres de stock en materiales críticos que afecta de forma directa el desempeño operativo, económico y comercial de la organización. Esta problemática impacta principalmente la continuidad del proceso productivo, ya que dificulta el cumplimiento del plan de producción establecido y pone en riesgo los compromisos de entrega adquiridos con los clientes.

Cuando se presentan quiebres de stock, la línea de producción debe detenerse de forma no planificada debido a la falta de materia prima o materiales de empaque indispensables para la fabricación de los dispositivos médicos. Estas interrupciones obligan a suspender temporalmente las operaciones, generando periodos de inactividad en los que el personal asignado a la línea no puede ejecutar sus funciones productivas. Sin embargo, durante estos tiempos improductivos la empresa continúa asumiendo costos asociados a mano de obra ociosa.

En la operación de Cirtec Medical Costa Rica, los quiebres de stock en la línea de producción de catéter no solo generan interrupciones operativas, sino también un incremento significativo en los costos de mano de obra asociados al proceso productivo. Uno de los principales impactos económicos se relaciona con los gastos de transporte urgente, ya que la falta de materiales obliga a gestionar envíos de alta prioridad para reabastecer la línea en el menor tiempo posible. Este tipo de flete tiene un costo considerablemente mayor que el transporte planificado regular, lo que incrementa de forma directa los gastos logísticos.

Adicionalmente, los paros de línea provocados por la indisponibilidad de materiales generan horas de mano de obra improductivas que deben ser asumidas económicamente por la empresa. Durante estos periodos, la producción se detiene, pero el personal operativo y de supervisión continúa en su jornada laboral, lo que implica el pago de salarios, sin generación de valor productivo. Estas horas de inactividad representan un costo directo por mano de obra improductiva, así como una pérdida de eficiencia en el uso de los recursos humanos y de la capacidad instalada.

Asimismo, las interrupciones en la producción pueden generar consecuencias adicionales en el cumplimiento de los compromisos comerciales previamente establecidos con los clientes. Cuando los quiebres de stock provocan retrasos en la fabricación de los productos, existe el riesgo de no cumplir con los tiempos de entrega acordados en los contratos. Esta situación puede derivar en penalizaciones económicas o multas contractuales, dependiendo de las condiciones negociadas con el cliente. De igual manera, los incumplimientos reiterados pueden afectar la imagen y confiabilidad de la empresa frente a sus socios comerciales, lo que eventualmente podría traducirse en la pérdida de oportunidades de negocio o incluso en la disminución de la cartera de clientes. En este sentido, los quiebres de stock no solo generan un impacto operativo interno, sino también un riesgo financiero y reputacional para la organización.

En conjunto, estos factores evidencian que los quiebres de stock no solo afectan la continuidad de la producción, sino que también incrementan los costos logísticos y laborales, impactando de manera directa la rentabilidad y el desempeño económico

de la operación. Otro efecto relevante asociado a los quiebres de stock es el aumento de la gestión reactiva de compras, caracterizada por la emisión de órdenes de compra (PO) urgentes para reabastecer materiales críticos. Estas compras suelen implicar costos adicionales, tales como fletes exprés, sobre costos por pedidos fuera de planificación y mayor carga administrativa para el área de Supply Chain. La situación se ve agravada por el hecho de que, en el caso de la materia prima utilizada en la línea de catéter, la empresa depende de un único proveedor, lo cual limita la flexibilidad de respuesta ante atrasos, variaciones en la demanda o incidencias en la cadena de suministro. Esta condición coloca a la organización en una posición de desventaja, incrementando el riesgo de desabastecimiento y la exposición a paros productivos.

Si bien Cirtec Medical cuenta con herramientas digitales orientadas a la planificación y análisis predictivo de inventarios, la gestión actual de los materiales en la línea de catéter no ha logrado prevenir de manera efectiva estos eventos, lo que evidencia la existencia de brechas en los mecanismos de planificación, control y estandarización de la gestión de inventarios. Es importante señalar que los quiebres de stock, los paros de línea y las compras urgentes no constituyen el problema en sí mismos, sino manifestaciones visibles de una gestión de inventarios que no logra anticipar oportunamente las necesidades reales de producción.

El problema se desarrolla principalmente dentro del proceso de planificación y abastecimiento de materiales para la línea de Catéter, y se presenta en los momentos en que la demanda productiva supera la disponibilidad de inventario o cuando ocurren variaciones no previstas en el suministro. Los departamentos

directamente involucrados son Supply Chain, Producción y Finanzas, debido a los efectos transversales que genera la falta de materiales sobre la operación y los costos.

Para dimensionar el problema y establecer una base objetiva de análisis, el presente proyecto se enfocará en la medición de variables representativas asociadas exclusivamente a la línea de catéter, las cuales permiten evaluar tanto el impacto operativo como económico de la situación actual. Las variables seleccionadas son: la frecuencia de quiebres de stock, las horas de paro de línea por falta de materia y el costo de mano de obra estimado del mismo. Estas métricas permitirán analizar la magnitud y tendencia del problema, así como evaluar la efectividad de las mejoras propuestas a lo largo del desarrollo del proyecto.

La resolución de este problema constituye el disparador y la razón de ser del presente proyecto, ya que su abordaje permitirá reducir las interrupciones productivas, optimizar el uso de los recursos económicos y humanos, y fortalecer la confiabilidad operativa de la línea de catéter, todo dentro de un alcance y nivel de complejidad acorde con el periodo de desarrollo establecido para la tesina universitaria.

Para dimensionar objetivamente la magnitud del problema y evaluar su comportamiento en el tiempo, se han definido indicadores cuantitativos que permitirán evidenciar tanto su origen como sus consecuencias operativas y económicas. En primer lugar, se medirá la cantidad de quiebres de stock en materiales críticos, el cual reflejará la frecuencia con la que el sistema de

abastecimiento no logra garantizar la disponibilidad de insumos necesarios para la producción. En segundo lugar, se analizarán las horas de paro de línea asociadas a faltantes de material, indicador que evidencia el impacto directo del desabastecimiento sobre la continuidad del proceso productivo. Finalmente, se estimará el costo de la mano de obra improductiva durante los paros de producción, lo cual permitirá cuantificar económicamente el efecto de estas interrupciones sobre la eficiencia operativa de la organización.

En conjunto, estos indicadores permiten medir de forma integral el impacto del problema, desde su manifestación inicial en la gestión de inventarios hasta sus efectos sobre la operación productiva y los resultados financieros. Asimismo, facilitan analizar su evolución temporal, identificar tendencias y establecer una línea base objetiva que permita comparar la situación actual con la condición posterior a la implementación de la propuesta de mejora, o bien estimar su proyección de mejora dentro del periodo de análisis de la tesina.

1.3.2. Justificación del proyecto

La realización del presente proyecto se justifica, en primer lugar, por los perjuicios económicos que enfrenta la organización como consecuencia de la situación actual en la gestión de inventarios de la línea de producción de catéter. Los quiebres de stock generan paros no planificados que detienen la operación, provocando costos directos asociados al pago de mano de obra que permanece inactiva, uso de

instalaciones sin aprovechamiento productivo y consumo de recursos que no se transforman en valor agregado.

En este contexto, el proyecto resulta pertinente porque aporta una solución estructurada y basada en datos a un problema operativo que impacta directamente el desempeño económico de la empresa. Su utilidad radica en el diseño de un enfoque que permite identificar, medir y analizar los factores críticos asociados a la disponibilidad de materiales, con el fin de reducir la ocurrencia de quiebres de stock y minimizar sus efectos. Como parte de este enfoque, el proyecto contempla la creación de una herramienta de control estandarizada, diseñada para consolidar información clave sobre inventarios, consumo según demanda y materiales en tránsito, facilitando la visualización de riesgos y la toma de decisiones oportunas. Esta herramienta actúa como un mecanismo operativo inmediato que permite mantener el control del proceso mientras se fortalecen soluciones de mayor alcance.

Los beneficios del proyecto se extienden a múltiples actores dentro de la organización. Las áreas de Producción y Finanzas se verán favorecidas al contar con una mayor estabilidad operativa, lo que facilita el cumplimiento del plan maestro de producción y reduce la necesidad de reprogramaciones constantes.

El área de Supply Chain se beneficiará al disponer de información confiable que permita planificar el abastecimiento con mayor anticipación, disminuir la dependencia de compras urgentes fuera de lead time y gestionar de forma más eficiente la relación con proveedores, especialmente considerando la condición de proveedor único para la materia prima. Asimismo, el área Financiera obtendrá una

mayor visibilidad del impacto económico asociado a la gestión de inventarios, lo que contribuye a un mejor control de costos de mano de obra y a la evaluación de la rentabilidad de la línea de Catheter. De manera indirecta, los clientes también resultan beneficiados al recibir productos de forma más oportuna y consistente, fortaleciendo la relación comercial y la imagen de confiabilidad de la empresa.

Como parte del respaldo cuantitativo de la relevancia del problema, se cuenta con información operativa proporcionada por la supervisión de la línea de catéter, según la cual durante el año 2025 se registró un total acumulado de 205 horas de detención de la producción debido a la falta de materiales.

Considerando que la jornada laboral diaria contempla 9 horas totales, de las cuales 1 hora corresponde a tiempos de alimentación (30 minutos de desayuno y 30 minutos de almuerzo), el tiempo efectivo de producción equivale a 8 horas productivas por día. Bajo esta condición, las 205 horas de paro registradas representan aproximadamente 25,6 días completos de producción detenida, es decir, cerca de 26 días laborales efectivos sin producción a lo largo del año.

Este nivel de interrupción operativa resulta altamente significativo, ya que implica prácticamente un mes completo de capacidad productiva perdida únicamente por problemas asociados a la disponibilidad de materiales. La magnitud del impacto evidencia que la situación no corresponde a eventos aislados, sino a una condición estructural que afecta de manera directa la continuidad operativa, la eficiencia productiva y los costos de mano de obra de la organización.

En este contexto, la iniciativa de desarrollar el presente proyecto en Cirtec Medical Costa Rica responde a una necesidad real y urgente de mejorar la planificación, el control y la gestión de inventarios en la línea de catéter, con el fin de reducir los quiebres de stock y evitar la recurrencia de paros productivos de esta magnitud. Este dato cuantitativo constituye, por tanto, un elemento clave que justifica la pertinencia y relevancia del estudio.

Por lo anterior, el proyecto contribuye de manera concreta a resolver un problema claramente identificado, al atacar las deficiencias existentes en la planificación y control de materiales que afectan la continuidad productiva. A través del análisis sistemático de indicadores como los quiebres de stock, las horas de paro y los costos de mano de obra por improductividad, se busca corregir prácticas no estandarizadas y reducir la variabilidad en la gestión del inventario. En este sentido, la herramienta de control desarrollada dentro del proyecto permite homogeneizar criterios de seguimiento y análisis, reduciendo la dependencia del conocimiento individual y facilitando la continuidad operativa aun ante cambios en el personal responsable del proceso.

Desde una perspectiva académica, la investigación aporta conocimiento aplicado al abordar un caso real de gestión de inventarios en una industria altamente regulada, permitiendo analizar cómo las herramientas de mejora continua y los enfoques de gestión basados en datos pueden contribuir a la eficiencia operativa. Los resultados obtenidos tienen el potencial de ser generalizados a otras líneas de producción dentro de la misma organización o a empresas con características similares, llenando vacíos de conocimiento relacionados con la gestión de inventarios en

contextos de alta complejidad y dependencia de proveedores únicos. Asimismo, el proyecto apoya y refuerza conceptos teóricos propios de la Ingeniería Industrial, como la optimización de procesos, la gestión de la cadena de suministro y la reducción de desperdicios.

Adicionalmente, el desarrollo del proyecto implica la creación y formalización de instrumentos para la recolección y análisis de datos, tales como indicadores económicos y operativos que permiten evaluar el desempeño del sistema de inventarios de manera objetiva. Estos instrumentos se complementan con el uso progresivo de LeanDNA como herramienta analítica, cuya implementación gradual permite integrar capacidades predictivas y de análisis avanzado conforme la organización madura en su adopción. De esta forma, el proyecto no sustituye las iniciativas corporativas existentes, sino que las refuerza y las prepara para una adopción más efectiva y sostenible.

El proyecto también se justifica desde el punto de vista del cumplimiento normativo y organizacional, ya que la estabilidad de los procesos productivos es un requisito fundamental en la industria de dispositivos médicos. La reducción de interrupciones no planificadas contribuye a mantener la trazabilidad, el control de procesos y el cumplimiento de las regulaciones aplicables, alineándose con las expectativas de los entes reguladores y de la alta dirección de la empresa. La estandarización de controles y el uso complementario de herramientas digitales fortalecen la gobernanza del proceso de inventarios y reducen riesgos operativos.

Finalmente, la ejecución de este proyecto representa una oportunidad estratégica para Cirtec Medical Costa Rica, al fortalecer la sostenibilidad operativa de la línea de catéter, proteger su relación con clientes clave y mejorar su competitividad en el mercado. Al mismo tiempo, el proyecto genera un impacto relevante para la carrera de Ingeniería Industrial, al demostrar la aplicación práctica de metodologías de mejora continua, la creación de herramientas de control y la implementación progresiva de soluciones digitales como LeanDNA en un entorno industrial real, aportando valor tanto a la organización como al ámbito académico y profesional de la disciplina.

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una mejora en la gestión de inventarios de la línea de producción de catéter en Cirtec Medical Costa Rica, mediante la creación de una herramienta de control estandarizada y la implementación de fase dos de LeanDNA, con el fin de reducir los paros de la línea y su costo de mano de obra asociado de enero al de marzo del año 2026.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir el alcance del problema de gestión de inventarios en la línea de catéter en Cirtec Medical Costa Rica, con el fin de establecer la base del proyecto.
- Medir el desempeño actual de la gestión de inventarios en la línea de catéter, mediante recopilando las horas de paro por falta de material y su costo de mano de obra asociado.
- Analizar las causas raíz de los quiebres de stock y paros de línea en la línea de catéter, con el fin de identificar los factores que afectan el proceso.
- Diseñar una propuesta de mejora para el control de cortos de material en la línea de catéter, con el objetivo de reducir los cortos y su impacto económico.
- Establecer mecanismos de seguimiento para sostener las mejoras en la gestión de cortos de la línea de catéter, con el fin de asegurar la estabilidad del proceso.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

El presente proyecto se desarrolla en el área de Supply Chain, específicamente en el proceso de planificación y control de inventarios de la línea de producción de Cateter en Cirtec Medical Costa Rica, ubicada en la Zona Franca Coyol, Alajuela. El alcance geográfico del estudio se limita a esta instalación, considerando únicamente los procesos internos que influyen de manera directa en la disponibilidad de materiales para dicha línea de producción.

Desde el punto de vista temporal, el proyecto se lleva a cabo desde enero 2026 hasta marzo 2026, abarcando las etapas de definición del problema, medición de la situación actual, análisis de causas, diseño de la propuesta de mejora y establecimiento de mecanismos de control, de acuerdo con la metodología DMAIC.

El alcance del proyecto contempla la identificación, medición y análisis de variables clave relacionadas con la gestión de inventarios en la línea de Catéter. Entre estas variables se incluyen el porcentaje de quiebres de stock, las horas de paro de línea por falta de material y el costo de mano de obra estimado por improductividad. Estas variables se utilizan como indicadores representativos del problema, permitiendo evaluar la magnitud del impacto operativo y económico asociado a la falta de materiales.

Como parte de los entregables del proyecto, se considera la construcción de una herramienta de control estandarizada en Excel por la línea de producción, y el diseño de una propuesta de mejora que incorpore la implementación progresiva de las fases iniciales de la herramienta LeanDNA como soporte para el análisis predictivo y la toma de decisiones. Asimismo, se incluye la definición de indicadores, responsables y rutinas de seguimiento que permitan sostener las mejoras propuestas en el tiempo.

El proyecto se enfoca exclusivamente en el proceso de planificación de materiales y control de inventarios, por lo que no abarca modificaciones a los procesos de manufactura, ingeniería de producto, calidad, logística externa ni negociación contractual con proveedores. De igual forma, no se incluyen cambios en políticas

corporativas globales, configuraciones avanzadas de LeanDNA que requieran licencias adicionales, ni decisiones estratégicas fuera del alcance local de la planta de Costa Rica.

Dentro del alcance también se consideran condiciones relevantes del contexto operativo, tales como la dependencia de un único proveedor para la materia prima, la rotación del personal del área de Compras y la diversidad de materiales utilizados en la línea de catéter, las cuales influyen directamente en la gestión de inventarios y en la continuidad productiva. Estos elementos son documentados y analizados como parte del entorno real en el que se desarrolla el proyecto, sin pretender modificarlos estructuralmente.

Los principales beneficiarios del proyecto son el equipo de Supply Chain, el área de Producción y la organización en general, al contar con un modelo de gestión más estructurado que permita reducir paros de línea, mejorar la estabilidad operativa y disminuir el impacto económico asociado a la improductividad. De manera indirecta, los clientes de Cirtec Medical se benefician mediante una mayor confiabilidad en los tiempos de entrega y el cumplimiento de los compromisos comerciales.

1.5.2. Limitaciones

El desarrollo del presente proyecto se encuentra condicionado por una serie de limitaciones operativas, técnicas y organizacionales propias del contexto en el que se lleva a cabo la gestión de inventarios en Cirtec Medical Costa Rica. Estas limitaciones no impiden la ejecución del estudio ni la formulación de una propuesta

de mejora, pero sí establecen límites claros sobre el alcance, la profundidad del análisis y el tipo de acciones que pueden ser consideradas dentro del proyecto.

Una de las principales limitaciones identificadas corresponde a la disponibilidad y calidad de la información histórica relacionada con los quiebres de stock y paros de línea de producción de catéter. Si bien existen registros operativos y transaccionales, estos no se encuentran consolidados bajo un sistema único de indicadores estandarizados, lo que obliga a construir la línea base a partir de datos dispersos provenientes de distintas fuentes internas. Esta condición limita el análisis comparativo a períodos específicos y reduce la posibilidad de evaluar tendencias de largo plazo.

Es importante aclarar que la fase formal de recopilación y análisis de datos del proyecto se desarrolló durante el periodo comprendido entre enero y marzo, ya que fue en ese intervalo cuando se contó con la autorización oficial para acceder y trabajar con información interna para fines académicos. En consecuencia, los análisis detallados, construcción de indicadores y evaluación del comportamiento del sistema de inventarios se realizaron con base en los datos disponibles dentro de ese rango temporal.

No obstante, como complemento al análisis, se logró obtener (a través de una entrevista, por medio de un supervisor del área de Producción) el dato consolidado del total de horas de paro registradas durante el año 2025 cuya causa fue la falta de material. Esta información permitió dimensionar el impacto anual del problema y contextualizar la magnitud real de los quiebres de stock en la operación.

Sin embargo, es importante señalar que este dato corresponde a un valor agregado anual y no a un registro detallado desglosado por mes, material o causa específica. Por lo tanto, aunque permite comprender la dimensión general del impacto operativo, no fue posible realizar un análisis técnico profundo sobre todo el año 2025 con el mismo nivel de detalle aplicado al periodo enero–marzo.

Esta situación constituye una limitación metodológica en términos de profundidad histórica del análisis, pero al mismo tiempo fortalece la justificación del proyecto, al evidenciar de manera cuantitativa el impacto acumulado que la falta de material ha generado en la operación productiva.

Asimismo, la empresa mantiene estrictas políticas de confidencialidad y control de información, propias de la industria de dispositivos médicos y de su modelo de operación como fabricante para terceros. En consecuencia, los datos utilizados en el proyecto corresponden a información autorizada y disponible dentro de los límites establecidos por la organización, lo que implica que ciertos valores han debido ser tratados de forma agregada, referencial o estimada. Por ello, aunque los datos permiten representar adecuadamente las tendencias operativas y económicas del problema, no necesariamente reflejan con precisión absoluta la totalidad de la operación real.

Adicionalmente, se identifica como limitación el proceso actual de implementación de la herramienta LeanDNA en la planta de Costa Rica. Esta herramienta no se encuentra completamente implementada ni configurada en su totalidad, ya que su adopción se está realizando de manera gradual. Paralelamente, se continúa

utilizando un archivo de control en Excel como herramienta de apoyo para la gestión inmediata de los inventarios. Esta implementación simultánea implica que, durante un periodo de transición, coexistirán ambos sistemas de control.

En este momento no es posible definir un porcentaje exacto de avance en la implementación de LeanDNA, debido a que el proceso se encuentra en fase de capacitación y aprendizaje. El entrenamiento técnico depende directamente de la disponibilidad de tiempo del personal especializado ubicado en el site corporativo de Estados Unidos, quienes brindan el acompañamiento necesario para comprender la configuración, interpretación de reportes y uso adecuado de la herramienta. Esta dependencia representa una limitación, ya que el ritmo de avance no depende exclusivamente de la operación local, sino también de la agenda y disponibilidad de colaboradores externos.

Asimismo, al tratarse de una herramienta nueva para el equipo local, existe una curva de aprendizaje que puede afectar temporalmente la velocidad de adopción, la correcta interpretación de datos y la estandarización de criterios de análisis. Durante este periodo, pueden surgir dudas operativas, ajustes en parámetros o reconfiguraciones que retrasen la consolidación definitiva del sistema.

Por otra parte, la urgencia operativa por reducir los quiebres de stock y evitar paros de línea ha obligado a implementar soluciones inmediatas, específicamente mediante el desarrollo y uso de un archivo en Excel que permita dar seguimiento diario a los materiales críticos. Si bien esta herramienta ofrece una respuesta rápida ante la problemática actual, también genera una carga operativa adicional, ya que

requiere actualización manual, validación constante de datos y seguimiento continuo. Además, el manejo paralelo de Excel y LeanDNA puede generar duplicidad de información, posibles diferencias entre registros y mayor dependencia del control humano mientras se consolida la herramienta principal.

Otra limitación importante está relacionada con los tiempos de entrega (lead times) de los proveedores de materia prima. Actualmente, los plazos de abastecimiento pueden variar entre uno y tres meses, dependiendo del material. Esto significa que cualquier ajuste en los parámetros de planificación, niveles de inventario o estrategias de reposición no tendrá un impacto inmediato en los resultados operativos.

En consecuencia, las mejoras implementadas podrían reflejarse de manera visible únicamente después de completar al menos un ciclo completo de reposición, lo cual puede tomar entre uno y tres meses. Esta condición limita la posibilidad de evaluar resultados a corto plazo dentro del tiempo establecido para la tesina, ya que los indicadores podrían tardar en mostrar una mejora significativa aun cuando las acciones correctivas ya se encuentren aplicadas.

Además, factores externos como retrasos logísticos, variaciones en la demanda, cambios en los programas de producción o ajustes corporativos pueden influir en los resultados durante el periodo de evaluación, lo cual dificulta aislar completamente el impacto exclusivo de las mejoras propuestas.

Asimismo, el proyecto se desarrolla en un entorno caracterizado por la dependencia de un único proveedor para la materia prima utilizada en la línea de catéter, situación que constituye una condición estructural de la cadena de suministro y que no puede ser modificada dentro del alcance del estudio. Esta dependencia limita las alternativas de abastecimiento y condiciona las estrategias de mitigación de riesgo que pueden proponerse, enfocando el análisis en la planificación y el control interno más que en la diversificación de proveedores.

Otra limitación identificada corresponde a la rotación del personal del área de Compras, la cual ha generado variabilidad en los criterios de gestión y en los controles aplicados al proceso de abastecimiento. Si bien este factor es analizado como parte del contexto del problema, el proyecto no contempla cambios en la estructura organizacional ni en las políticas de contratación de la empresa, por lo que las propuestas se orientan a la estandarización de herramientas y procesos, independientemente de las personas que ocupen los puestos.

Adicionalmente, el alcance del proyecto se limita exclusivamente a la línea de producción de catéter, por lo que los resultados obtenidos no se extrapolan de manera directa a otras líneas de producción o plantas de Cirtec Medical Costa Rica. Esta delimitación responde no solo a la necesidad de asegurar un análisis profundo y viable dentro del período establecido para la tesina, sino también a las condiciones de acceso a la información definidas por la organización.

La línea de producción de catéter constituye la única área para la cual se cuenta con autorización formal para acceder, analizar y utilizar datos operativos internos

con fines académicos, debido a las políticas corporativas de confidencialidad y control de la información propias de la industria de dispositivos médicos. Estas restricciones limitan el acceso a indicadores detallados, registros históricos y documentación técnica en otras líneas de producción, impidiendo su inclusión dentro del estudio.

En consecuencia, el análisis se concentra en el contexto operativo específico de la línea de catéter, donde existe disponibilidad de información suficiente, trazable y validada para desarrollar el diagnóstico, la medición del desempeño y la formulación de propuestas de mejora. Esta condición garantiza la viabilidad metodológica del proyecto y la confiabilidad de los resultados obtenidos, aunque restringe la generalización inmediata de los hallazgos a otros entornos productivos dentro de la organización.

Finalmente, el proyecto se desarrolla dentro del marco regulatorio de la industria de dispositivos médicos, el cual impone requisitos estrictos de trazabilidad, documentación y control de cambios. Estas regulaciones constituyen una limitación inherente, ya que cualquier propuesta de mejora debe ajustarse a los procedimientos y estándares vigentes, sin posibilidad de flexibilizar o modificar dichos requerimientos. No obstante, esta condición no impide la ejecución del proyecto, sino que orienta las soluciones hacia enfoques compatibles con el cumplimiento normativo.

Estas limitaciones reflejan que el proyecto se desarrolla en un entorno real, con restricciones de tiempo, dependencia de recursos externos, herramientas en

proceso de adopción y condiciones estructurales propias de la cadena de suministro. Aunque estas condiciones no impiden el desarrollo del estudio ni la formulación de propuestas de mejora, sí condicionan la velocidad de implementación, la medición de resultados y el alcance temporal del impacto esperado.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual general relativo a la carrera

La Ingeniería Industrial se enfoca en el análisis, diseño, mejora e implementación de sistemas integrados que involucran personas, materiales, información, equipos y energía, con el objetivo de optimizar el desempeño organizacional en términos de eficiencia, productividad, calidad y costos. Desde esta perspectiva, la gestión de inventarios y la planificación de materiales constituyen áreas críticas, ya que impactan directamente la continuidad operativa, el cumplimiento de la demanda y los resultados económicos de la organización (Heizer, Render & Munson, 2020).

En entornos industriales altamente regulados, como la manufactura de dispositivos médicos, la Ingeniería Industrial adquiere un rol estratégico, debido a la necesidad de equilibrar eficiencia operativa con cumplimiento normativo, trazabilidad y control de riesgos. La interrupción de un proceso productivo por falta de materiales no solo representa una pérdida de productividad, sino también un riesgo financiero, reputacional y regulatorio (FDA, 2023).

Desde esta disciplina, la toma de decisiones basada en datos, el uso de indicadores de desempeño y la aplicación de metodologías estructuradas de mejora continua que permiten abordar problemas complejos de manera sistemática, reduciendo la variabilidad y fortaleciendo la estabilidad de los procesos. En este contexto, el presente proyecto se fundamenta en principios de la Ingeniería Industrial relacionados con la optimización de procesos, el control de inventarios, el análisis

económico de la improductividad y la integración progresiva de herramientas tecnológicas para apoyar la toma de decisiones en la cadena de suministro.

Para el desarrollo del presente proyecto, se utilizaron diversas herramientas de análisis que permitieron comprender la situación actual del proceso, identificar causas raíz y priorizar acciones de mejora. A continuación, se describen teóricamente:

2.1.2. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es una herramienta que sirve para mostrar de forma gráfica cómo funciona un proceso paso a paso. Utiliza símbolos sencillos (como flechas, cuadros y rombos) para representar actividades, decisiones y el orden en que ocurren. Esto ayuda a que cualquier persona pueda entender fácilmente cómo se realiza un trabajo, incluso si no conoce el proceso en detalle.

Su principal utilidad es que permite ver todo el proceso de manera clara, lo que facilita detectar errores, pasos innecesarios o partes que se pueden mejorar. También es muy útil para explicar procedimientos a otras personas o para capacitar nuevos empleados. De acuerdo con la American Society for Quality, los diagramas de flujo se utilizan para analizar, diseñar y mejorar procesos, ya que permiten visualizar claramente cómo fluye la información o los materiales dentro de una organización (ASQ, 2022).

Esta herramienta se realiza de la siguiente manera:

- Definir el proceso que se quiere analizar.
- Identificar todos los pasos involucrados (inicio, actividades, decisiones y fin).
- Ordenar los pasos en la secuencia correcta.
- Seleccionar los símbolos adecuados:
- Óvalo: inicio/fin
- Rectángulo: actividad
- Rombo: decisión
- Flechas: dirección del flujo
- Dibujar el diagrama conectando los pasos con flechas.
- Revisar el flujo para verificar que sea claro y correcto.

2.1.3. Análisis de Ishikawa (Diagrama causa-efecto)

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de causa-efecto o “espina de pescado”, es una herramienta que ayuda a encontrar las posibles causas de un problema. Se llama así porque su forma se parece al esqueleto de un pez, donde el problema principal está en la “cabeza” y las causas se distribuyen en las “espinas”.

Esta herramienta permite ordenar las ideas y analizar un problema de forma más completa, ya que agrupa las causas en diferentes categorías, como personas, procesos, materiales, maquinaria, entre otros. De esta manera, es más fácil identificar qué está originando realmente el problema y no quedarse solo con lo que se observa a simple vista. Según la American Society for Quality, este diagrama

ayuda a organizar el análisis de problemas, facilitando una mejor comprensión de todas las posibles causas (ASQ, 2022).

Esta herramienta se desarrolla de la siguiente manera:

- Definir el problema principal (se coloca en la “cabeza del pez”).
- Dibujar una línea horizontal que representa la “espina central”.
- Agregar categorías de causas (por ejemplo: personas, procesos, maquinaria, materiales).
- Identificar posibles causas dentro de cada categoría.
- Analizar y profundizar en las causas (preguntas como “¿por qué?”).
- Identificar las causas raíz más probables.

2.1.4. Gemba Walk

El Gemba Walk es una herramienta de la filosofía Lean que consiste en ir directamente al lugar donde ocurre el trabajo (por ejemplo, una fábrica, una oficina o un área de servicio) para observar cómo se realizan las actividades en la realidad.

La idea principal es que los líderes o responsables no se queden solo con reportes o datos, sino que vean con sus propios ojos lo que está pasando. Esto permite entender mejor los procesos, detectar problemas que no son visibles en los informes

y encontrar oportunidades de mejora. Además, el Gemba Walk también fomenta la comunicación con los trabajadores, ya que permite escuchar sus opiniones y conocer sus dificultades. Según el Lean Enterprise Institute, esta herramienta ayuda a identificar desperdicios y promover la mejora continua mediante la observación directa (Lean Enterprise Institute, 2021).

Esta herramienta se desarrolla de la siguiente manera

- Definir el objetivo de la observación (qué se quiere mejorar o analizar).
- Ir al lugar de trabajo real (el “gemba”).
- Observar directamente los procesos sin intervenir al inicio.
- Tomar notas sobre lo que ocurre (problemas, tiempos, errores, desperdicios).
- Hablar con los trabajadores para conocer su perspectiva.
- Analizar lo observado e identificar oportunidades de mejora.
- Proponer acciones basadas en evidencia real.

2.1.5. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto es una herramienta que se basa en la idea de que no todos los problemas tienen el mismo impacto. Según el principio 80/20, aproximadamente el 80% de los problemas provienen de solo el 20% de las causas.

Esto significa que, en lugar de intentar resolver todo al mismo tiempo, es mejor enfocarse primero en las causas más importantes, que son las que generan mayor

impacto. Para esto, se suele utilizar un gráfico de barras que muestra cuáles son los problemas más frecuentes o más graves. Según la American Society for Quality, el análisis de Pareto permite priorizar esfuerzos y concentrarse en lo que realmente aporta mejores resultados en la mejora de procesos (ASQ, 2022).

Esta herramienta se desarrolla de la siguiente manera:

- Identificar los problemas o causas que se quieren analizar
- Recolectar datos (frecuencia, impacto, costos, etc.).
- Ordenar los datos de mayor a menor importancia.
- Construir un gráfico de barras con esos datos.
- Calcular el porcentaje acumulado.
- Identificar el 20% de causas principales que generan el mayor impacto (80%).
- Priorizar acciones sobre esas causas clave.

2.1.6. Análisis de correlación

El análisis de correlación es una técnica que se utiliza para saber si existe una relación entre dos variables. Por ejemplo, se puede analizar si cuando aumenta una variable, la otra también aumenta, disminuye o no cambia.

Este tipo de análisis es muy útil para entender comportamientos y tomar decisiones basadas en datos. Por ejemplo, una empresa puede analizar si existe relación entre el tiempo de atención y la satisfacción del cliente. Según Investopedia, la correlación

ayuda a comprender cómo se relacionan dos variables, lo que es clave para el análisis de datos y la toma de decisiones (Hayes, 2023).

Esta herramienta se desarrolla de la siguiente manera:

- Definir las dos variables que se quieren analizar.
- Recolectar datos de ambas variables.
- Organizar los datos en una tabla.
- Crear un gráfico de dispersión (puntos en un plano).
- Analizar la relación:
 - Positiva: ambas variables aumentan.
 - Negativa: una sube y la otra baja.
 - Nula: no hay relación
- Calcular el coeficiente de correlación.
- Interpretar los resultados para tomar decisiones.

2.1.7. Análisis de los 5 por qué

El análisis de los 5 por qué es una herramienta sencilla que sirve para encontrar la causa raíz de un problema. Consiste en hacer la pregunta “¿por qué?” varias veces seguidas hasta llegar al origen real de la situación.

Muchas veces, los problemas que se ven son solo síntomas, no la causa principal. Por eso, al preguntar “por qué” repetidamente (generalmente cinco veces, aunque

pueden ser más o menos), se va profundizando en el problema hasta descubrir qué lo está generando realmente.

Por ejemplo, si una máquina se detiene, se pregunta por qué ocurrió, y luego se vuelve a preguntar sobre la respuesta obtenida, y así sucesivamente. Esto ayuda a evitar soluciones superficiales y permite aplicar mejoras más efectivas. De acuerdo con el Lean Enterprise Institute, esta técnica es muy utilizada en metodologías de mejora continua, ya que permite identificar causas raíz de forma clara y estructurada (Lean Enterprise Institute, 2021).

Esta herramienta se desarrolla de la siguiente manera:

- Definir claramente el problema.
- Preguntar “¿por qué?” ocurrió el problema.
- Tomar la respuesta y volver a preguntar “¿por qué?”.
- Repetir el proceso aproximadamente cinco veces.
- Identificar la causa raíz (la última respuesta relevante).
- Proponer una solución que ataque esa causa raíz.

2.1.8. Gestión de inventarios en la cadena de suministro

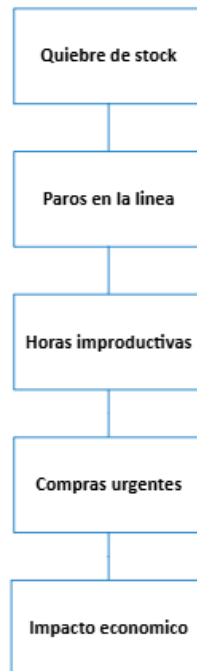
De acuerdo con Chopra & Melendi (2021) la gestión de inventarios es una función clave dentro de la cadena de suministro, cuyo objetivo principal es garantizar la disponibilidad de materiales en la cantidad correcta, en el momento oportuno y al menor costo posible, sin comprometer la continuidad operativa ni el nivel de servicio al cliente. Un inventario mal gestionado puede derivar en dos escenarios igualmente

perjudiciales: exceso de inventario, que incrementa costos de almacenamiento y obsolescencia, o quiebres de stock, que provocan interrupciones en la producción, retrasos en entregas y pérdida de confianza del cliente.

En industrias como la de dispositivos médicos, los quiebres de stock adquieren una gravedad adicional, debido a la imposibilidad de sustituir rápidamente materiales críticos y a la dependencia de proveedores únicos para materias primas especializadas (McKinsey & Company, 2023). El quiebre de stock no debe entenderse como un evento aislado, sino como la manifestación visible de deficiencias en los procesos de planificación, control y toma de decisiones. Estudios recientes indican que las organizaciones que gestionan inventarios de forma reactiva presentan mayores costos operativos y menor estabilidad productiva que aquellas que implementan modelos preventivos basados en análisis de datos (Gartner, 2024).

En líneas productivas como la de catéter, donde los materiales suelen ser específicos, regulados y de alto valor, la falta de inventario impacta directamente en la capacidad de cumplir con los objetivos de producción y ventas, generando costos asociados a paros de línea.

Figura 5. Cadena de consecuencias de quiebres de stock.



Fuente: Creación propia.

2.1.9. Lean Supply Chain y mejora continua

El enfoque Lean aplicado a la cadena de suministro (Lean Supply Chain) busca eliminar desperdicios, reducir variabilidad y asegurar un flujo continuo de materiales e información a lo largo del proceso productivo. Desde esta filosofía, los quiebres de stock representan una forma de desperdicio, ya que generan tiempos muertos, reprocesos, reprogramaciones y utilización ineficiente de los recursos (Womack & Jones, 2020).

Lean promueve la estandarización de procesos como base para la estabilidad operativa. Cuando los controles de inventario dependen excesivamente del criterio individual de las personas (como ocurre en contextos de alta rotación de compradores) se incrementa la variabilidad y se debilita la capacidad del sistema para anticipar riesgos. La estandarización permite que los procesos sean reproducibles, medibles y sostenibles en el tiempo.

La mejora continua, como principio central de Lean, se apoya en la identificación sistemática de problemas, el análisis de causas raíz y la implementación de soluciones estructuradas (ASQ, 2022). En este sentido, la metodología DMAIC proporciona un marco lógico que permite abordar problemas de inventario desde una perspectiva integral, alineando diagnóstico, análisis, mejora y control

2.1.10. Control de inventarios y dependencia del factor humano

El control de inventarios tradicionalmente ha dependido de sistemas ERP, hojas de cálculo y controles manuales. Si bien estas herramientas pueden ser efectivas, su desempeño se ve comprometido cuando no existen estándares claros, roles definidos y continuidad en los criterios de gestión. La literatura señala que la alta rotación de personal en áreas clave de Supply Chain incrementa el riesgo de inconsistencias en los controles y pérdida de conocimiento operativo (Deloitte, 2023).

La ausencia de controles estandarizados provoca que cada nuevo responsable implemente métodos distintos de seguimiento, priorización y toma de decisiones, generando fragmentación del proceso. Esto se traduce en una gestión reactiva, donde los problemas se atienden una vez que el quiebre de stock ya ha ocurrido, en lugar de prevenirlos (APICS, 2021).

En este contexto, el uso de herramientas de control estructuradas (como modelos en Excel diseñados específicamente para visualizar inventario disponible, consumo según demanda y compras en tránsito) puede funcionar como un mecanismo de estabilización operativa, especialmente durante etapas de transición o adopción progresiva de sistemas más avanzados.

2.1.11. Analítica predictiva aplicada a la gestión de inventarios

La analítica predictiva se ha consolidado como un componente clave en la gestión moderna de inventarios, al permitir anticipar comportamientos futuros a partir del análisis de datos históricos y variables operativas. Su aplicación facilita la identificación temprana de riesgos de quiebre de stock, la evaluación de escenarios y la priorización de acciones preventivas (IBM, 2023).

En la industria manufacturera, el uso de indicadores como porcentaje de quiebres de stock, horas de paro por falta de material y costo de improductividad permite cuantificar el impacto económico de una gestión deficiente de inventarios. Estos

indicadores transforman el problema operativo en información financiera relevante para la toma de decisiones estratégicas (PwC, 2024).

La analítica predictiva no requiere necesariamente sistemas complejos en una primera etapa. Herramientas como Excel, cuando están correctamente estructuradas, pueden apoyar el análisis de tendencias, la simulación de escenarios y la visualización de riesgos, sirviendo como base para la evolución hacia plataformas más avanzadas.

2.1.12. Herramientas digitales para la gestión de inventarios: LeanDNA

LeanDNA es una herramienta digital diseñada para apoyar la gestión de inventarios mediante análisis predictivo, identificación de riesgos y generación de alertas que facilitan una toma de decisiones proactiva en la cadena de suministro. Su enfoque se basa en priorizar materiales críticos, anticipar quiebres y reducir la dependencia de controles reactivos (LeanDNA, 2024).

No obstante, diversos estudios señalan que la implementación de herramientas digitales avanzadas requiere procesos de capacitación, estandarización y madurez organizacional para lograr su aprovechamiento pleno. Durante las etapas iniciales de adopción, es común que las organizaciones enfrenten una brecha entre la funcionalidad de la herramienta y su uso efectivo en la operación diaria (McKinsey & Company, 2023).

Por esta razón, la implementación progresiva de LeanDNA, complementada con herramientas de control transitorias como modelos estructurados en Excel, permite asegurar continuidad operativa mientras se fortalece la adopción tecnológica. Este enfoque híbrido reduce el riesgo de quiebres de stock y facilita la transición hacia una gestión más predictiva y estandarizada.

2.1.13. La Metodología DMAIC

La metodología DMAIC constituye uno de los modelos estructurados de mejora continua más reconocidos y utilizados en el ámbito de la ingeniería industrial, la gestión de operaciones y el control de calidad. Este modelo forma parte del enfoque Six Sigma y se orienta a mejorar el desempeño de los procesos mediante el análisis sistemático de datos, la identificación de causas raíz de los problemas y la implementación de soluciones sostenibles que reduzcan la variabilidad y los defectos. Su principal característica es la aplicación disciplinada de una secuencia lógica de etapas que permiten comprender el proceso, intervenirlo y mantener los resultados obtenidos en el tiempo (Pyzdek, Thomas & Keller, Paul A., 2018).

El nombre DMAIC corresponde al acrónimo de cinco fases que estructuran el proceso de mejora: Definir (Define), Medir (Measure), Analizar (Analyze), Mejorar (Improve) y Controlar (Control). Cada una de estas etapas cumple una función específica dentro del ciclo de mejora continua, permitiendo abordar problemas organizacionales de forma ordenada, objetiva y basada en evidencia cuantitativa.

La primera fase, Definir, consiste en delimitar claramente el problema que se desea resolver, identificar los objetivos del proyecto y establecer el alcance del proceso que será intervenido. En esta etapa se busca comprender el impacto del problema sobre la organización, determinar quiénes son los clientes del proceso y definir los indicadores que permitirán evaluar la mejora. La correcta formulación del problema es fundamental, ya que orienta todas las decisiones posteriores del proyecto y permite enfocar los esfuerzos de mejora en aspectos verdaderamente críticos del desempeño organizacional (George, Michael L., 2003).

La segunda fase, Medir, se centra en recopilar datos confiables sobre el desempeño actual del proceso. Su propósito es establecer una línea base cuantitativa que permita comprender cómo funciona el proceso antes de implementar cualquier cambio. En esta etapa se diseñan sistemas de medición, se validan los datos disponibles y se cuantifican indicadores clave de desempeño. La medición rigurosa del proceso es esencial para garantizar que las decisiones posteriores se fundamenten en evidencia objetiva y no en percepciones o suposiciones (Montgomery, Douglas C., 2020).

La tercera fase, Analizar, tiene como objetivo identificar las causas raíz del problema. A partir de los datos recolectados, se aplican herramientas estadísticas y técnicas de análisis para comprender las relaciones entre variables y determinar los factores que generan la variabilidad del proceso. Esta etapa permite distinguir entre

síntomas y causas reales, evitando que las soluciones se enfoquen únicamente en efectos superficiales sin resolver el origen del problema.

Posteriormente, en la fase de Mejorar, se diseñan e implementan soluciones orientadas a eliminar o reducir las causas raíz identificadas. Estas soluciones deben ser evaluadas previamente para asegurar su viabilidad técnica y su impacto real en el desempeño del proceso. La implementación de mejoras se basa en evidencia cuantitativa y en la validación de resultados, lo que permite garantizar que los cambios introducidos generen beneficios medibles en términos de eficiencia, calidad o reducción de costos.

Finalmente, la fase de Controlar busca asegurar que las mejoras logradas se mantengan en el tiempo. Para ello se establecen mecanismos de monitoreo, estandarización de procedimientos y seguimiento de indicadores que permitan detectar desviaciones futuras. Esta etapa es fundamental para evitar que el proceso vuelva a su estado inicial y para consolidar la mejora como parte del funcionamiento normal de la organización.

Desde una perspectiva organizacional más amplia, DMAIC no solo representa una herramienta técnica de resolución de problemas, sino también un marco de gestión orientado a la mejora continua del desempeño. Su aplicación permite reducir desperdicios, optimizar el uso de recursos, aumentar la confiabilidad de los procesos y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. Debido a estas

características, se ha convertido en uno de los enfoques metodológicos más utilizados en entornos industriales, logísticos y de servicios donde la eficiencia operativa y la calidad del proceso son factores críticos (American Society for Quality, 2023).

Asimismo, el carácter estructurado, replicable y medible del DMAIC lo convierte en una herramienta especialmente adecuada para proyectos de mejora que requieren análisis riguroso del desempeño organizacional. Su orientación al control estadístico de procesos y a la identificación sistemática de causas raíz permite abordar problemas complejos con un enfoque científico, garantizando que las soluciones implementadas generen resultados sostenibles y verificables.

En el contexto de la gestión de inventarios y la mejora de procesos logísticos, el DMAIC proporciona un marco metodológico que permite identificar fallas en la planificación, cuantificar su impacto operativo, analizar sus causas estructurales e implementar mecanismos de control que prevengan su recurrencia. Por esta razón, su aplicación resulta especialmente pertinente en proyectos orientados a mejorar la confiabilidad del abastecimiento, reducir interrupciones productivas y optimizar el uso de los recursos organizacionales.

2.2. Marco conceptual atinente a la gestión del proyecto

La gestión de proyectos en el ámbito de la Ingeniería Industrial constituye un eje fundamental para garantizar que las iniciativas de mejora de procesos se desarrollen de forma estructurada, controlada y alineada con los objetivos estratégicos de la organización. En este contexto, la gestión del proyecto no se limita únicamente a la ejecución de actividades técnicas, sino que integra procesos de planificación, coordinación, seguimiento, control y evaluación que permiten asegurar la generación de valor sostenible a lo largo del tiempo (Project Management Institute [PMI], 2021).

Desde una perspectiva ingenieril, la gestión del proyecto se concibe como un sistema dinámico que articula recursos humanos, tecnológicos y organizacionales para transformar una situación problemática inicial en un estado futuro mejorado, mediante el uso de metodologías formalizadas y herramientas de control. En proyectos orientados a la optimización de procesos logísticos y operativos —como el que se plantea en este estudio— resulta especialmente relevante la adopción de enfoques que integren la mejora continua, la toma de decisiones basada en datos y el control sistemático del desempeño (Kerzner, 2022).

2.2.1. Fases de la gestión del proyecto

La gestión del proyecto se estructura en cinco fases fundamentales: planeación, desarrollo, implementación, control y evaluación, las cuales no deben entenderse como etapas rígidas e independientes, sino como componentes interrelacionados que permiten una retroalimentación constante durante el ciclo de vida del proyecto.

La fase de planeación establece las bases conceptuales y operativas del proyecto. En esta etapa se definen el alcance, los objetivos, los indicadores de desempeño y los entregables esperados, así como las restricciones existentes del entorno organizacional. Desde el enfoque de la Ingeniería Industrial, la planeación adquiere especial importancia debido a la necesidad de comprender el sistema productivo como un todo, identificar variables críticas del proceso y establecer métricas claras que permitan evaluar el impacto de las mejoras propuestas (PMI, 2021). Asimismo, en esta fase se sientan las bases para la futura creación de una herramienta de control que permita dar seguimiento al comportamiento del proceso y a la implementación progresiva de las mejoras.

La fase de desarrollo se centra en el análisis detallado del estado actual del proceso. En proyectos de mejora operativa, esta etapa suele apoyarse en técnicas como el mapeo de procesos, el análisis de flujos, la identificación de desperdicios y la recopilación sistemática de datos. Desde una perspectiva Lean, esta fase permite visibilizar actividades que no agregan valor y comprender las causas raíz de las ineficiencias presentes en el sistema (Womack & Jones, 2023). El desarrollo del proyecto también implica el diseño conceptual de soluciones, entre ellas la estructuración inicial de herramientas de control que faciliten la estandarización y la medición del desempeño.

La fase de implementación corresponde a la puesta en marcha de las soluciones diseñadas. En el contexto del presente proyecto, esta etapa se vincula directamente con la implementación de una herramienta de control mediante hojas de cálculo en Excel, así como la implementación progresiva de fases iniciales de Lean DNA. A diferencia de implementaciones abruptas, la adopción progresiva permite una mejor adaptación del personal, reduce la resistencia al cambio y facilita la consolidación de prácticas estandarizadas apoyadas en herramientas visuales y sistemas de control (Liker & Convis, 2021). Durante esta fase, la herramienta de control adquiere un rol central como medio para monitorear el cumplimiento de los nuevos estándares y detectar desviaciones en tiempo real.

La fase de control constituye uno de los pilares de la gestión del proyecto desde la óptica de la Ingeniería Industrial. El control no se limita a la supervisión del avance del proyecto, sino que se orienta a la medición continua del desempeño del proceso intervenido. En este sentido, la creación de una herramienta de control operativa permite consolidar información clave, facilitar la toma de decisiones basada en datos y asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas. De acuerdo con Slack et al. (2022), los sistemas de control efectivos permiten transformar datos operativos en información accionable, fortaleciendo la disciplina operativa y el enfoque de mejora continua.

Finalmente, la fase de evaluación permite analizar los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados inicialmente. Esta evaluación no solo

considera indicadores cuantitativos, como tiempos de ciclo o niveles de eficiencia, sino también aspectos cualitativos asociados a la adopción de nuevas prácticas, el nivel de estandarización alcanzado (Antony et al., 2023).

2.2.2. Metodologías de gestión aplicadas a proyectos de Ingeniería Industrial

En proyectos de mejora de procesos, la utilización de metodologías estructuradas resulta indispensable para garantizar un abordaje sistemático del problema. Entre las metodologías más utilizadas en la Ingeniería Industrial se encuentra DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), propia del enfoque Six Sigma, la cual se adapta de forma efectiva a proyectos orientados a la reducción de variabilidad y optimización del desempeño (Antony et al., 2023).

El fundamento teórico de DMAIC radica en la aplicación del método científico a la mejora de procesos, promoviendo decisiones basadas en datos y análisis estadístico. Su integración con la filosofía Lean permite potenciar los resultados, combinando la eliminación de desperdicios con el control de la variabilidad del proceso. En este marco, la fase de Control de DMAIC adquiere especial relevancia, ya que se alinea directamente con la creación e implementación de herramientas de control que aseguren la permanencia de las mejoras logradas.

De manera complementaria, el PMBOK (Project Management Body of Knowledge) propuesto por el Project Management Institute proporciona un marco de referencia para la gestión integral del proyecto, abordando áreas como la gestión del alcance,

el tiempo, los costos, la calidad y los riesgos (PMI, 2021). Si bien el PMBOK no es una metodología de mejora de procesos en sí misma, su aplicación permite estructurar el proyecto desde una perspectiva organizacional, asegurando la alineación con los objetivos estratégicos y facilitando la comunicación entre los actores involucrados.

2.3. Marco conceptual referente al impacto del proyecto

El análisis del impacto de un proyecto de graduación en Ingeniería Industrial permite trascender la solución inmediata del problema operativo, para visualizar los efectos sostenibles que la intervención genera en la organización a nivel económico, operativo, estratégico y organizacional. En este sentido, el impacto del presente proyecto se fundamenta teóricamente en metodologías de mejora continua, gestión por indicadores y planificación estratégica, las cuales permiten explicar de manera lógica y estructurada los beneficios que se esperan obtener en el corto, mediano y largo plazo.

Desde una perspectiva teórica, los impactos del proyecto se comprenden como el resultado de la aplicación sistemática de metodologías como DMAIC, Lean Management y sistemas de control de desempeño, las cuales establecen una relación directa entre la identificación de un problema, la implementación de mejoras y la generación de valor medible para la organización (Antony et al., 2023). Estas

metodologías no solo buscan corregir desviaciones operativas, sino también crear condiciones para la estabilidad del proceso, la toma de decisiones basada en datos y la mejora sostenida en el tiempo.

2.3.1. Impacto en el corto plazo

En el corto plazo, el impacto del proyecto se manifiesta principalmente a nivel operativo y económico. La aplicación de herramientas de análisis propias de la fase Definir y Medir del enfoque DMAIC permite visibilizar el comportamiento real de variables críticas como el porcentaje de quiebres de stock, las horas de paro de línea por falta de material y su costo asociado. De acuerdo con la literatura, la simple estandarización de indicadores y la creación de mecanismos de control generan mejoras inmediatas en la gestión operativa, al reducir la variabilidad no controlada y mejorar la coordinación entre áreas (Slack et al., 2022).

En este horizonte temporal, la creación de una herramienta de control específica para la línea de catéter actúa como un catalizador del impacto inicial, ya que permite monitorear el desempeño del proceso en tiempo casi real y facilita la detección temprana de desviaciones. Desde el enfoque Lean, este tipo de herramientas se asocia con los sistemas de gestión visual, los cuales fortalecen la disciplina operativa y reducen el desperdicio asociado a tiempos muertos, reprocesos y paros no planificados (Liker & Convis, 2021). En términos económicos, la reducción de horas de paro se traduce en una disminución inmediata de costos operativos y en una mejor utilización del recurso humano disponible.

2.3.2. Impacto en el mediano plazo

En el mediano plazo, el impacto del proyecto trasciende la corrección puntual del problema y se orienta hacia la consolidación de una gestión más estructurada y preventiva del abastecimiento y la producción. La fase Analizar y Mejorar del enfoque DMAIC permite identificar patrones, tendencias y relaciones causales entre los quiebres de stock y las decisiones de planificación, compras y gestión de proveedores. Teóricamente, este tipo de análisis contribuye a una mejor alineación entre la demanda, el inventario y la capacidad productiva, reduciendo la dependencia de acciones reactivas que generan sobrecostos (Christopher, 2022).

Asimismo, la implementación progresiva de Lean DNA cobra especial relevancia en este horizonte temporal. La literatura señala que la adopción gradual de principios Lean (más allá de la aplicación aislada de herramientas) favorece la internalización de una cultura orientada a la mejora continua y a la eliminación sistemática de desperdicios (Womack & Jones, 2023). En este contexto, el proyecto impacta en la forma en que la organización gestiona sus procesos, promoviendo prácticas más estables, predecibles y alineadas con los objetivos estratégicos.

Desde el punto de vista de la gestión estratégica, el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) vinculados a costos, paros de línea y nivel de servicio al cliente permite integrar los resultados del proyecto en esquemas de planificación como el Cuadro de Mando Integral (CMI). Según Kaplan y Norton (2021), esta integración

facilita la conexión entre las mejoras operativas y los objetivos financieros, de clientes y de procesos internos, fortaleciendo la toma de decisiones a nivel gerencial.

2.3.3. Impacto en el largo plazo

En el largo plazo, el impacto del proyecto se refleja en la sostenibilidad de las mejoras y en la capacidad de la organización para anticiparse a riesgos operativos y económicos. La estabilización de los procesos productivos y de abastecimiento reduce la probabilidad de paros de línea, mejora el cumplimiento con el cliente y fortalece la posición competitiva de la empresa en su mercado. Desde la teoría de la gestión de operaciones, la confiabilidad del proceso es un factor clave para la rentabilidad y la reputación organizacional (Heizer et al., 2023).

Adicionalmente, el proyecto genera un impacto estructural al dejar instalada una herramienta de control y un enfoque metodológico replicable, lo cual permite que la organización continúe aplicando el ciclo de mejora continua más allá del alcance temporal del estudio. Este aspecto se alinea con los modelos de Gestión por Resultados de Desarrollo (GpRD), los cuales destacan la importancia de medir no solo las actividades ejecutadas, sino los resultados y efectos sostenidos en el tiempo (OECD, 2022).

Desde una perspectiva tecnocientífica y académica, el impacto del proyecto también se manifiesta en la generación de conocimiento aplicado, al adaptar metodologías

reconocidas como DMAIC, Lean y control de indicadores a un contexto productivo específico. Este aporte contribuye a cerrar brechas entre la teoría y la práctica, reforzando la pertinencia de la Ingeniería Industrial como disciplina orientada a la solución de problemas reales con base en evidencia y análisis sistemático.

En conjunto, el impacto del proyecto puede entenderse como una progresión lógica y fundamentada: en el corto plazo se corrigen desviaciones críticas y se reducen costos visibles; en el mediano plazo se fortalecen los procesos y la toma de decisiones basada en datos; y en el largo plazo se consolida una cultura de mejora continua y gestión estratégica sustentada en indicadores. Esta progresión encuentra respaldo teórico en las metodologías y modelos analizados, demostrando que los beneficios del proyecto no son circunstanciales, sino el resultado esperado de una intervención ingenieril estructurada y alineada con las mejores prácticas contemporáneas.

Tabla 1. Impacto del proyecto a corto plazo.

Impacto	Área	Descripción del impacto
Corto plazo	Operativo	Disminución de los quiebres de stock en la línea de catéter mediante la visibilización de materiales críticos y el monitoreo sistemático del inventario. Se reduce la ocurrencia de paros de línea no planificados por falta de

Impacto	Área	Descripción del impacto
	Económico	materia prima o material de empaque (Liker & Convis, 2021).
		Reducción de costos asociados a improductividad, derivados del pago de mano de obra ociosa por falta de materiales durante paros de línea y del incumplimiento del plan de producción (Heizer et al., 2023).

Fuente: Liker & Convis, 2021 y Heizer et al., 2023.

Tabla 2. Impacto del proyecto a mediano plazo.

Impacto	Área	Descripción del impacto
Mediano plazo	Operativo	Estandarización del proceso de control de inventarios en la línea de catéter, reduciendo la dependencia de controles manuales no homogéneos asociados a la rotación del personal comprador (Antony et al., 2023).
	Económico	Disminución progresiva de compras urgentes fuera de lead time, las cuales generan sobrecostos por fletes expeditos, penalizaciones comerciales y gestión administrativa adicional (Christopher, 2022).

Fuente: Antony et al., 2023 y Christopher, 2022.

Tabla 3. Impacto del proyecto a largo plazo.

Impacto	Área	Descripción del impacto
Largo plazo	Económico	Mejora sostenida en la rentabilidad de la línea de catéter, al reducir costos por improductividad, urgencias y pérdidas asociadas a incumplimientos con el cliente (Slack et al., 2022).
	Estratégico	Fortalecimiento de la confiabilidad operativa frente al cliente, mejorando el nivel de servicio y reduciendo el riesgo reputacional asociado a incumplimientos de entrega (Heizer et al., 2023)

Fuente: Slack et al., 2022 y Heizer et al., 2023.

2.4. Antecedentes de proyectos o experiencias semejantes

2.4.1. Simulación y optimización de inventarios

El Estado del Arte del presente proyecto se centra en las investigaciones más recientes relacionadas con la gestión y optimización de inventarios mediante simulación y técnicas avanzadas de optimización, particularmente aquellas orientadas a contextos de demanda incierta y entornos logísticos complejos. En este

sentido, uno de los aportes más relevantes dentro del periodo de análisis corresponde al estudio desarrollado por Maitra en el año 2024, el cual se enmarca dentro de las tendencias actuales de integración entre simulación, analítica avanzada y toma de decisiones en ingeniería industrial.

En el año 2024, Maitra publicó el estudio titulado *“A System-Dynamic Based Simulation and Bayesian Optimization for Inventory Management”*, en el cual se analiza el uso de modelos de simulación basados en dinámica de sistemas combinados con optimización bayesiana, con el objetivo de mejorar las políticas de control de inventarios bajo condiciones de alta variabilidad en la demanda (Maitra, 2024). Este trabajo se considera de vanguardia debido a que integra herramientas computacionales avanzadas para abordar un problema clásico de la ingeniería industrial desde una perspectiva moderna y predictiva.

Desde el punto de vista teórico, el estudio de Maitra se sustenta en los principios de la dinámica de sistemas, la cual permite modelar el comportamiento de los inventarios a lo largo del tiempo considerando interacciones entre variables como demanda, niveles de stock, tiempos de reposición y políticas de pedido. Asimismo, se apoya en la optimización bayesiana, una técnica matemática utilizada para encontrar soluciones óptimas en sistemas complejos donde las relaciones entre variables no son lineales ni fácilmente predecibles. Estas teorías respaldan el proyecto de graduación al demostrar que la toma de decisiones basada en modelos

dinámicos y datos históricos mejora significativamente la eficiencia del control de inventarios.

En cuanto a las conclusiones alcanzadas por el autor, Maitra determina que la aplicación conjunta de simulación y optimización bayesiana permite reducir costos operativos, mejorar la disponibilidad de productos y aumentar la rentabilidad del sistema de inventarios, en comparación con métodos tradicionales de control. El estudio evidencia que las políticas de inventario ajustadas mediante simulación responden de forma más efectiva a escenarios de incertidumbre, lo cual resulta especialmente relevante para entornos logísticos donde las variaciones en la demanda son frecuentes.

El estudio de Maitra se inserta dentro de una línea de investigación internacional que busca modernizar la gestión de inventarios mediante herramientas de simulación y análisis predictivo, siendo un referente para otros autores que exploran la aplicación de inteligencia computacional en la cadena de suministro. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que este tipo de enfoques supera en desempeño a los modelos determinísticos tradicionales, especialmente en contextos de alta variabilidad.

Entre los resultados más importantes que se conocen actualmente y que son relevantes para el presente proyecto, destaca la demostración de que la simulación dinámica no solo permite analizar el comportamiento del inventario, sino también

evaluar escenarios futuros antes de implementar cambios reales, reduciendo el riesgo asociado a la toma de decisiones. Este hallazgo es de particular interés para proyectos orientados a la mejora de procesos logísticos, ya que permite validar soluciones de manera virtual antes de su implementación.

En el ámbito internacional, el estudio de Maitra constituye una referencia significativa sobre cómo se está abordando la problemática de la gestión de inventarios en países con acceso a tecnologías avanzadas, evidenciando una tendencia hacia el uso de modelos híbridos que combinan simulación, optimización y análisis de datos. Aunque el estudio no se desarrolla específicamente en Costa Rica, sus fundamentos teóricos y metodológicos son plenamente aplicables a contextos nacionales y locales, especialmente en organizaciones que enfrentan problemas de variabilidad en la demanda y requieren mejorar sus procesos de control de inventarios.

2.4.2. Optimización y cadena financiera

Dentro de las investigaciones más recientes orientadas a la optimización integral de la cadena de suministro, destaca el estudio desarrollado por Wang, Tang y colaboradores en el año 2025, el cual amplía el enfoque tradicional de la gestión logística al integrar de manera explícita la cadena de suministro financiera con la gestión operativa de inventarios. Este trabajo se considera parte del conocimiento de vanguardia debido a su enfoque interdisciplinario, que combina economía, ingeniería industrial y aprendizaje automático.

En el año 2025, Wang et al. publicaron la investigación titulada “*A Machine Learning-Based Study on the Synergistic Optimization of Supply Chain Management and Financial Supply Chains from an Economic Perspective*”, en la cual proponen un modelo de optimización basado en machine learning para analizar simultáneamente el desempeño operativo de la cadena de suministro y los costos asociados al financiamiento del inventario (Wang et al., 2025). El estudio parte de la premisa de que una gestión ineficiente del inventario no solo genera quiebres de stock o exceso de inventario, sino también altos costos financieros derivados del capital inmovilizado.

Desde el punto de vista teórico, la investigación se apoya en los fundamentos de la gestión de la cadena de suministro (SCM), la gestión financiera de inventarios y el aprendizaje automático aplicado a sistemas económicos. Los autores utilizan modelos de análisis económico para evaluar el impacto del inventario sobre el flujo de caja y el costo del capital, complementando este análisis con algoritmos de machine learning que permiten identificar patrones ocultos entre variables operativas y financieras. Este enfoque respalda teóricamente el proyecto de graduación al demostrar que el control del inventario debe analizarse como un sistema integral y no únicamente desde una perspectiva operativa.

En cuanto a las conclusiones del estudio, Wang *et al.* determinan que la optimización conjunta de la cadena de suministro y la cadena financiera genera

mejoras significativas en la rotación de inventario y reducciones sustanciales en los costos de financiamiento, alcanzando disminuciones estimadas entre un 18 % y un 22 %. Estos resultados evidencian que una mejor planificación del inventario no solo impacta la eficiencia logística, sino que también fortalece la sostenibilidad financiera de las organizaciones.

Respecto a los investigadores que trabajan en problemas similares, el estudio de Wang *et al.* se inserta en una corriente internacional que busca integrar la analítica avanzada y la inteligencia artificial en la toma de decisiones logísticas y financieras. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que los modelos basados en aprendizaje automático superan a los métodos tradicionales de análisis estático, especialmente en entornos donde existen múltiples variables interrelacionadas y restricciones financieras.

Entre los resultados más relevantes que se conocen actualmente y que son dignos de mención para el presente proyecto, destaca la evidencia de que la reducción de inventarios innecesarios contribuye directamente a disminuir los costos financieros, sin afectar negativamente el nivel de servicio. Este hallazgo resulta especialmente pertinente para proyectos de mejora logística que buscan justificar sus beneficios no solo en términos operativos, sino también económicos y estratégicos.

En el contexto internacional, la investigación de Wang *et al.* demuestra cómo diferentes países están abordando la problemática del inventario desde una

perspectiva integral, incorporando herramientas de machine learning para mejorar la coordinación entre operaciones y finanzas. Si bien el estudio no se desarrolla específicamente en Costa Rica, sus aportes teóricos y metodológicos son transferibles a organizaciones nacionales que enfrentan problemas de altos costos financieros asociados al manejo del inventario.

2.4.3. Resiliencia mediante aprendizaje-estocástico

Dentro de las investigaciones más recientes orientadas al fortalecimiento de la resiliencia de las cadenas de suministro, se destaca el estudio desarrollado por Shahnawaz y Safder en el año 2025, el cual aborda de manera directa la problemática de la incertidumbre en la demanda y la oferta, uno de los principales factores que afectan la estabilidad operativa y financiera de los sistemas productivos modernos.

En el año 2025, Shahnawaz y Safder publicaron el artículo titulado *“Bridging Theory and Practice: A Stochastic Learning-Optimization Model for Resilient Automotive Supply Chains”*, en el cual proponen un modelo integrado de aprendizaje estocástico y optimización diseñado para mejorar la capacidad de respuesta de las cadenas de suministro ante perturbaciones externas e internas (Shahnawaz & Safder, 2025). El estudio se centra en el sector automotriz; sin embargo, sus aportes teóricos y metodológicos son aplicables a otros entornos industriales caracterizados por alta regulación y dependencia de proveedores críticos.

Desde el punto de vista teórico, la investigación se fundamenta en los principios de la teoría de la resiliencia en la cadena de suministro, la optimización estocástica y los modelos de aprendizaje adaptativo. Los autores argumentan que los enfoques tradicionales de planificación de inventarios, basados en supuestos determinísticos, resultan insuficientes para entornos donde la variabilidad y la incertidumbre son constantes. En respuesta a esta limitación, el modelo propuesto incorpora aprendizaje continuo a partir de datos históricos y eventos disruptivos, permitiendo ajustar las decisiones de inventario de manera dinámica.

En cuanto a los resultados y conclusiones, Shahnawaz y Safder demuestran que la implementación de su modelo permite reducciones significativas en los costos totales de la cadena de suministro, al mismo tiempo que incrementa la capacidad de recuperación ante interrupciones, tales como retrasos de proveedores, fallos logísticos o cambios abruptos en la demanda. Los autores concluyen que las organizaciones que adoptan modelos de aprendizaje estocástico logran un equilibrio más robusto entre nivel de servicio, costos y continuidad operativa.

Respecto a los investigadores que trabajan en problemáticas similares, este estudio se alinea con una tendencia internacional que busca integrar modelos predictivos y adaptativos para enfrentar la volatilidad en las cadenas de suministro globales. Los resultados obtenidos hasta la fecha indican que los enfoques basados en aprendizaje y optimización superan a los métodos tradicionales de control estático, especialmente en escenarios con alta dependencia de proveedores únicos o con restricciones de abastecimiento.

Entre los resultados más relevantes conocidos actualmente y que son pertinentes para el presente proyecto, destaca la evidencia de que la resiliencia operativa puede ser gestionada y medida, y no solo asumida como una capacidad intangible. El estudio muestra que la reducción de quiebres de stock y la mejora en la continuidad del suministro se traducen directamente en menores costos operativos y financieros, reforzando la relación entre gestión de inventarios y desempeño económico.

En el ámbito internacional, la investigación de Shahnawaz y Safder refleja cómo diversas industrias están adoptando modelos avanzados para mitigar los riesgos asociados a la incertidumbre en la cadena de suministro. Aunque el estudio se desarrolla en el sector automotriz, sus conclusiones son transferibles a industrias como la de dispositivos médicos, donde la dependencia de proveedores únicos y el cumplimiento normativo incrementan la vulnerabilidad ante interrupciones.

2.4.4. Optimización estocástica de inventarios

Dentro de los aportes más recientes en el campo de la optimización de inventarios bajo incertidumbre, se encuentra el estudio desarrollado por Jin y colaboradores en el año 2025, el cual aborda directamente la problemática de la gestión de inventarios en cadenas de suministro de gran escala, caracterizadas por alta variabilidad en la demanda y elevados costos asociados al sobreinventario y a los quiebres de stock. En el año 2025, Jin et al. presentaron el artículo titulado *“Stochastic Optimization of Inventory at Large-scale Supply Chains”*, donde proponen un modelo de optimización estocástica orientado a minimizar los niveles de inventario y los costos

totales asociados, considerando explícitamente la incertidumbre de la demanda y las restricciones operativas propias de cadenas de suministro complejas (Jin et al., 2025).

Desde la perspectiva teórica, la investigación se sustenta en la teoría de inventarios, la optimización bajo incertidumbre y los principios de eficiencia económica en la cadena de suministro. Los autores plantean que los modelos deterministas tradicionales tienden a generar decisiones conservadoras que incrementan el inventario promedio sin garantizar la reducción de quiebres de stock. En contraste, el enfoque estocástico permite balancear de forma más precisa el riesgo de desabastecimiento frente al costo de mantener inventarios elevados.

En términos de resultados, Jin y colaboradores demuestran que la aplicación de su modelo conduce a reducciones de inventario que oscilan entre un 10 % y un 35 %, dependiendo del nivel de variabilidad de la demanda y de la estructura de la cadena de suministro analizada. Estas reducciones se traducen en beneficios económicos sustanciales, tales como disminución de costos de almacenamiento, menor capital de trabajo inmovilizado y una mejora en la eficiencia operativa global.

Las conclusiones del estudio indican que la optimización estocástica no solo permite reducir inventarios, sino que también contribuye a una mejor coordinación entre los distintos eslabones de la cadena, reduciendo la probabilidad de quiebres de stock y mejorando el nivel de servicio al cliente. Asimismo, los autores resaltan que este

tipo de modelos resulta especialmente relevante en contextos donde existen restricciones de abastecimiento, dependencia de proveedores críticos o tiempos de reposición elevados.

En relación con otros investigadores que abordan problemáticas similares, el trabajo de Jin et al. se alinea con una corriente de investigación internacional que busca integrar enfoques cuantitativos avanzados para mejorar la toma de decisiones en cadenas de suministro complejas. Los resultados obtenidos refuerzan la evidencia de que los modelos estocásticos superan a los enfoques tradicionales en términos de desempeño económico y operativo.

Entre los resultados más importantes conocidos actualmente y que son pertinentes para el presente proyecto, destaca la demostración empírica de que la reducción de inventarios puede lograrse sin comprometer la continuidad operativa, siempre que las decisiones se fundamenten en modelos que incorporen explícitamente la incertidumbre. Este hallazgo es especialmente relevante para industrias altamente reguladas, como la de dispositivos médicos, donde los quiebres de stock tienen impactos económicos, operativos y reputacionales significativos.

Desde una perspectiva internacional, este estudio evidencia cómo las organizaciones están avanzando hacia modelos más sofisticados de planificación y control de inventarios para enfrentar la volatilidad del mercado global. A nivel nacional y local, no se identifican investigaciones publicadas que apliquen modelos

de optimización estocástica a gran escala en el contexto costarricense, lo que refuerza la pertinencia del proyecto de graduación al adaptar estos enfoques teóricos a una realidad industrial específica.

2.4.5. Gestión de inventarios y tecnologías emergentes

Dentro del cuerpo de investigaciones recientes que analizan la evolución de la gestión de inventarios en la cadena de suministro, destaca el estudio desarrollado por Cabezas Oviedo y Molina Díaz en el año 2025, el cual ofrece una visión integral que conecta los modelos clásicos de inventarios con las tecnologías emergentes actualmente utilizadas en entornos industriales complejos.

En el año 2025, Cabezas Oviedo y Molina Díaz publicaron en la *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo* el artículo titulado “*Gestión de inventarios en la cadena de suministro: análisis de modelos clásicos, avances tecnológicos y aplicaciones prácticas*”, donde realizan una revisión exhaustiva de los principales enfoques teóricos y prácticos utilizados en la planificación y control de inventarios (Cabezas Oviedo & Molina Díaz, 2025). El estudio analiza tanto modelos tradicionales como el Modelo de Cantidad Económica de Pedido, los sistemas de revisión continua y revisión periódica, como las nuevas herramientas basadas en inteligencia artificial (IA) y Big Data.

Desde el punto de vista teórico, los autores destacan que los modelos clásicos continúan siendo relevantes como base conceptual para la toma de decisiones, especialmente en contextos donde la demanda presenta patrones relativamente estables. No obstante, señalan que dichos modelos presentan limitaciones importantes en entornos caracterizados por alta variabilidad de la demanda, dependencia de proveedores únicos y tiempos de reposición prolongados, condiciones comunes en cadenas de suministro modernas y altamente reguladas.

El estudio resalta que las tecnologías emergentes, particularmente los sistemas de análisis predictivo-basados en Inteligencia artificial y Big Data, permiten superar estas limitaciones al incorporar grandes volúmenes de datos históricos y en tiempo real, mejorando la capacidad de anticipar quiebres de stock y optimizar los niveles de inventario. Según los autores, estas herramientas facilitan una transición desde esquemas de control reactivos hacia modelos de gestión proactiva, donde las decisiones se fundamentan en pronósticos más precisos y análisis de riesgo.

En términos de resultados y conclusiones, Cabezas Oviedo y Molina Díaz indican que las organizaciones que combinan modelos clásicos con tecnologías avanzadas logran mejoras significativas en la rotación de inventarios, reducción de costos operativos y una mayor estabilidad en la continuidad productiva. Asimismo, el estudio subraya que la estandarización de los controles de inventario, apoyada por herramientas digitales, contribuye a disminuir la dependencia del criterio individual

de los responsables del proceso, reduciendo la variabilidad en la gestión ante cambios de personal.

En relación con otras investigaciones similares, este trabajo se posiciona como un puente entre la teoría tradicional y las prácticas contemporáneas, aportando una visión práctica aplicable a industrias con altos requerimientos de trazabilidad y cumplimiento normativo. Los autores coinciden con otros estudios recientes en que la adopción progresiva de herramientas tecnológicas debe ir acompañada de procesos estructurados y estandarizados para maximizar su impacto.

Desde una perspectiva internacional, el artículo evidencia una tendencia clara hacia la digitalización de la gestión de inventarios como respuesta a la complejidad creciente de las cadenas de suministro. A nivel nacional y regional, el estudio constituye un referente relevante al contextualizar estos avances en entornos latinoamericanos, donde muchas organizaciones aún dependen de controles manuales o herramientas parcialmente integradas.

Para el presente proyecto de graduación, este estudio resulta particularmente pertinente, ya que respalda teóricamente la creación de una herramienta estructurada de control de inventarios como etapa intermedia, así como la implementación progresiva de sistemas avanzados de análisis, alineándose con el enfoque planteado para la gestión de materiales en la línea de catéteres.

2.4.6. Gestión inteligente de inventarios

En el marco de las investigaciones más recientes orientadas a la transformación digital de la gestión de inventarios, se destaca el estudio desarrollado por Nilo Israel Cabezas Oviedo en el año 2026, el cual profundiza en el uso de tecnologías inteligentes como eje central para la evolución de las cadenas de suministro modernas.

En el año 2026, Cabezas Oviedo publicó en la *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo* el artículo titulado “*Gestión inteligente de inventarios: innovaciones y aplicaciones en la cadena de suministro*”, donde analiza de forma integral la convergencia entre inteligencia artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), machine learning (ML) y analítica avanzada como habilitadores de una gestión de inventarios más ágil, predictiva y orientada a la toma de decisiones estratégicas (Cabezas Oviedo, 2026).

Desde el punto de vista teórico, el autor fundamenta su análisis en los principios de la logística inteligente y la cadena de suministro digital, señalando que los modelos tradicionales de control de inventarios presentan limitaciones estructurales frente a entornos caracterizados por alta volatilidad, complejidad operativa y dependencia crítica de proveedores. En este contexto, la incorporación de tecnologías inteligentes permite capturar y procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real,

transformando la gestión de inventarios desde un enfoque reactivo hacia uno proactivo y predictivo.

El estudio describe cómo la integración de sensores facilita la visibilidad continua del inventario, mientras que los algoritmos de aprendizaje automático permiten identificar patrones de consumo, anticipar variaciones en la demanda y detectar riesgos de quiebres de stock con mayor precisión. Asimismo, la analítica avanzada se presenta como un componente clave para evaluar escenarios, priorizar materiales críticos y apoyar decisiones tácticas y estratégicas en la cadena de suministro.

En términos de resultados y conclusiones, Cabezas Oviedo señala que las organizaciones que adoptan esquemas de gestión inteligente de inventarios logran mejoras significativas en la eficiencia operativa, reducción de tiempos de respuesta y mayor agilidad logística. El autor destaca que estos beneficios se reflejan directamente en la continuidad productiva, la disminución de paros de línea y la optimización del capital de trabajo, elementos críticos en industrias de alta exigencia regulatoria.

En relación con otros autores e investigaciones similares, este estudio refuerza la tendencia identificada en la literatura reciente hacia la digitalización avanzada de la cadena de suministro. Los hallazgos coinciden con trabajos previos que evidencian que la combinación de tecnologías inteligentes no solo mejora el desempeño

operativo, sino que también fortalece la resiliencia de la cadena ante eventos imprevistos y restricciones de abastecimiento.

Desde una perspectiva internacional, el artículo se alinea con las prácticas de vanguardia implementadas en sectores industriales avanzados, mientras que, a nivel regional, aporta un marco conceptual aplicable a organizaciones latinoamericanas que buscan modernizar sus sistemas de planificación y control de inventarios. A nivel local, el estudio contribuye a llenar un vacío teórico al documentar de manera estructurada el impacto de estas tecnologías en contextos productivos reales.

Para el presente proyecto de graduación, este antecedente resulta especialmente relevante, ya que respalda teóricamente la transición progresiva desde controles manuales hacia herramientas inteligentes de apoyo a la toma de decisiones, alineándose con el enfoque planteado para fortalecer la gestión de inventarios y reducir quiebres de stock en una línea de producción crítica.

2.4.7. Lean para PYME

Dentro de las investigaciones recientes que exploran la integración de metodologías Lean con técnicas avanzadas de análisis de datos, destaca el estudio desarrollado por Ochoa-González, Mendoza-Quintanilla y Quiroz-Flores en el año 2025, el cual se enfoca en la gestión de inventarios en pequeñas y medianas empresas (PYME)

del sector industrial, caracterizadas por recursos limitados y alta presión por mejorar su desempeño operativo.

En el año 2025, Ochoa-González et al. publicaron en el *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* el artículo titulado “*An Integrated Lean and Machine Learning Approach to Inventory Management in Automotive Accessories SMEs*”, donde proponen un enfoque integrado que combina principios Lean, técnicas clásicas de inventarios y machine learning para mejorar la planificación y el control de materiales (Ochoa-González et al., 2025).

Desde el punto de vista teórico, el estudio se fundamenta en los principios de eliminación de desperdicios, flujo ~~continuo~~ y mejora continua, propios del pensamiento Lean, complementados con herramientas tradicionales como la clasificación ABC y el modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ). A estos enfoques se suma el uso de algoritmos de aprendizaje automático para el pronóstico de la demanda, lo que permite mejorar la precisión de las decisiones relacionadas con el reabastecimiento y los niveles de inventario.

Los autores argumentan que, si bien las herramientas Lean permiten identificar ineficiencias y desperdicios en la gestión de inventarios, su impacto se ve limitado cuando no se cuenta con mecanismos robustos de predicción de la demanda. En este sentido, la incorporación de modelos de machine learning permite anticipar

patrones de consumo y variaciones en la demanda, fortaleciendo la toma de decisiones y reduciendo la dependencia de supuestos estáticos.

En cuanto a los resultados, el estudio evidencia mejoras operativas significativas, incluyendo una reducción de los costos logísticos, una mayor rotación de inventarios y una disminución de quiebres de stock. Los autores destacan que la combinación de enfoques Lean con tecnologías de análisis predictivo resulta especialmente efectiva en organizaciones con recursos limitados, ya que permite maximizar el impacto de herramientas relativamente sencillas mediante el uso estratégico de datos.

Las conclusiones del estudio indican que la integración de Lean y machine learning no solo contribuye a la eficiencia operativa, sino que también facilita la estandarización de los procesos de control de inventarios, reduciendo la variabilidad en la gestión y fortaleciendo la continuidad operativa. Asimismo, se resalta que este enfoque es escalable y adaptable a distintos contextos industriales, más allá del sector automotriz analizado.

En relación con otros trabajos incluidos en el Estado del Arte, esta investigación refuerza la tendencia hacia enfoques híbridos, donde las metodologías de mejora continua se complementan con tecnologías analíticas avanzadas. Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos que señalan que la digitalización

progresiva, alineada con principios Lean, permite transitar de una gestión reactiva a una gestión más predictiva y estructurada.

Desde una perspectiva internacional, el estudio aporta evidencia empírica sobre la aplicabilidad de estas metodologías en contextos reales de PYME industriales. A nivel nacional y local, investigaciones con un enfoque similar son limitadas, lo que resalta la relevancia de adaptar estos aportes teóricos a industrias con mayores niveles de complejidad y exigencia regulatoria. Para el presente proyecto de graduación, este antecedente resulta particularmente relevante, ya que respalda conceptualmente la implementación progresiva de herramientas Lean combinadas con análisis de datos, así como la creación de mecanismos estructurados de control que permitan reducir quiebres de stock, mejorar la continuidad operativa y mitigar impactos económicos derivados de la falta de materiales.

2.4.8. IA para predicción de demanda

En el ámbito de la aplicación de la inteligencia artificial para la predicción de la demanda y la optimización de inventarios, se encuentra el estudio desarrollado por Riascos-Guerrero y colaboradores en el año 2024, el cual analiza el impacto de los algoritmos avanzados en la mejora de la toma de decisiones dentro de la cadena de suministro. En el año 2024, Riascos-Guerrero et al. publicaron en la *Revista Tecnología en Marcha* el artículo titulado “*Estrategias basadas en inteligencia artificial para la gestión de inventarios en la cadena de suministro*”, donde se

examinan diversas técnicas de inteligencia artificial (IA) aplicadas al pronóstico de la demanda y al control de inventarios en entornos productivos complejos (Riascos-Guerrero et al., 2024).

Desde el punto de vista teórico, el estudio se fundamenta en los principios de la analítica predictiva, el aprendizaje automático y la optimización de decisiones bajo incertidumbre. Los autores señalan que los métodos tradicionales de pronóstico, basados en promedios históricos o modelos lineales, presentan limitaciones importantes cuando la demanda es volátil o está influenciada por múltiples factores internos y externos. En este contexto, los algoritmos de IA permiten capturar relaciones no lineales y patrones complejos que mejoran significativamente la precisión de las predicciones.

El artículo describe el uso de modelos como redes neuronales, árboles de decisión y algoritmos de aprendizaje supervisado para anticipar las necesidades de inventario, reduciendo tanto el exceso de stock como los quiebres de inventario. Los autores destacan que estas estrategias permiten ajustar los niveles de inventario de forma dinámica, en función de cambios en la demanda, tiempos de reposición y condiciones del mercado.

En cuanto a los resultados y conclusiones, Riascos-Guerrero et al. evidencian que la implementación de herramientas basadas en IA contribuye a una mejor sincronización entre la demanda y el abastecimiento, lo que se traduce en mejoras en la rotación de inventarios, reducción de costos de almacenamiento y una mayor

continuidad operativa. Asimismo, el estudio señala que estas tecnologías fortalecen la capacidad de respuesta de las organizaciones ante eventos imprevistos, disminuyendo la necesidad de compras urgentes y decisiones reactivas.

En relación con otros estudios incluidos en el Estado del Arte, esta investigación refuerza la tendencia hacia el uso de tecnologías predictivas como complemento de los enfoques tradicionales y de mejora continua. Los hallazgos coinciden con trabajos previos que demuestran que la integración de inteligencia artificial en la gestión de inventarios permite transitar hacia modelos de control más robustos y orientados a la prevención de riesgos operativos.

Desde una perspectiva nacional, este estudio resulta especialmente relevante, ya que fue desarrollado y publicado en el contexto costarricense, aportando evidencia local sobre la aplicabilidad de la inteligencia artificial en la gestión de inventarios. A nivel internacional, sus conclusiones se alinean con investigaciones similares que destacan el rol estratégico de la IA en la modernización de la cadena de suministro. Para el presente proyecto de graduación, este antecedente aporta un respaldo teórico sólido a la utilización de herramientas analíticas avanzadas como soporte para la planificación de materiales, reforzando el enfoque hacia una gestión predictiva del inventario que permita reducir quiebres de stock y mitigar los impactos económicos asociados.

2.4.9. Efectos del COVID-19 en SCM

Un antecedente clave para comprender la importancia estratégica de la gestión de inventarios en contextos de alta incertidumbre es el estudio desarrollado por Hasbum y colaboradores en el año 2022, el cual analiza los efectos de la pandemia del COVID-19 sobre la cadena de suministro y las respuestas organizacionales ante interrupciones severas. En el año 2022, Hasbum et al. publicaron en la *Revista Tecnología en Marcha* el artículo titulado “*Impacto del COVID-19 en la cadena de suministros*”, donde se examinan las principales disrupciones provocadas por la pandemia en los flujos logísticos, el abastecimiento de materiales y la disponibilidad de inventarios a nivel global (Hasbum et al., 2022).

Desde un enfoque metodológico, los autores realizan un análisis documental y comparativo de distintas estrategias adoptadas por las organizaciones para enfrentar escenarios de escasez, retrasos en proveedores y variabilidad extrema de la demanda. El estudio pone de manifiesto que la pandemia evidenció las debilidades de los modelos tradicionales de gestión de inventarios, especialmente aquellos con baja visibilidad y escasa capacidad de respuesta ante eventos inesperados.

Uno de los principales aportes del artículo es la identificación de la digitalización del control de inventarios como una respuesta clave frente a los riesgos crecientes en la cadena de suministro. Hasbum et al. destacan que las empresas que contaban con sistemas digitales, monitoreo en tiempo real y herramientas analíticas lograron

una mejor adaptación a las interrupciones, reduciendo quiebres de stock y mejorando la coordinación con proveedores y clientes.

Asimismo, el estudio resalta la importancia de integrar tecnologías de información para fortalecer la resiliencia de la cadena de suministro, permitiendo una toma de decisiones más informada y oportuna. Entre las estrategias más relevantes se mencionan la automatización de procesos logísticos, el uso de plataformas digitales para el seguimiento de inventarios y la adopción de modelos de planificación más flexibles.

En términos de resultados, los autores concluyen que la crisis sanitaria aceleró la transformación digital en la gestión de inventarios, convirtiendo el control digital y la analítica de datos en elementos esenciales para la continuidad operativa. Además, señalan que las organizaciones que mantuvieron esquemas rígidos y manuales enfrentaron mayores pérdidas económicas y dificultades para sostener sus operaciones.

En relación con los estudios previamente analizados en este Estado del Arte, la investigación de Hasbum et al. complementa los enfoques basados en inteligencia artificial, optimización y aprendizaje automático, al evidenciar que la necesidad de modernizar la gestión de inventarios no es únicamente una ventaja competitiva, sino un requisito para la supervivencia organizacional en contextos de crisis. Este estudio aporta un marco contextual que justifica la adopción de herramientas tecnológicas avanzadas como respuesta a entornos volátiles e inciertos.

Para el presente proyecto de graduación, este antecedente resulta especialmente relevante, ya que refuerza la importancia de diseñar sistemas de gestión de inventarios más robustos, digitales y adaptativos, capaces de mitigar riesgos operativos y garantizar la continuidad del servicio ante eventos disruptivos, alineándose con los objetivos de mejora de procesos logísticos en almacenes fiscales.

2.4.10. Planificación SCM e inventario

Otro antecedente relevante para el análisis de la gestión de inventarios y la planificación de la cadena de suministro es el estudio desarrollado por Rodríguez y Palallos en el año 2024, el cual aborda la importancia de la planificación estratégica como eje central para el desempeño integral de la cadena de suministro.

En el año 2024, Rodríguez y Palallos publicaron en el *International Journal of Science Engineering and Technology* el artículo titulado “*An Analysis of Supply Chain Management: Crafting a Plan for Supply Chain and Inventory Management*”, donde se presenta un estudio de carácter descriptivo orientado a analizar los principales componentes que influyen en una gestión eficiente del inventario dentro de la cadena de suministro (Rodríguez & Palallos, 2024).

Desde el punto de vista metodológico, los autores realizan una revisión estructurada de prácticas comunes de Supply Chain Management (SCM), enfocándose en la planificación, el pronóstico de la demanda y la coordinación entre los diferentes

eslabones de la cadena. El estudio destaca que una planificación deficiente y la falta de integración entre áreas generan ineficiencias operativas, incrementos en costos y frecuentes quiebres de stock.

Uno de los principales hallazgos del artículo es la relevancia de contar con pronósticos de demanda precisos, apoyados en información histórica confiable y en mecanismos de retroalimentación continua. Rodríguez y Palallos señalan que los errores en la estimación de la demanda impactan directamente en la disponibilidad de inventarios, afectando tanto el nivel de servicio al cliente como el desempeño financiero de las organizaciones.

Asimismo, el estudio enfatiza la necesidad de establecer canales de comunicación eficientes entre proveedores, áreas internas y clientes finales, con el fin de mejorar la sincronización de flujos de información y materiales. Los autores concluyen que una cadena de suministro bien planificada permite reducir tiempos de respuesta, minimizar inventarios innecesarios y mejorar la visibilidad de las operaciones.

En términos de resultados, la investigación evidencia que las organizaciones que adoptan planes formales de gestión de la cadena de suministro y del inventario presentan un mejor desempeño global, reflejado en mayor eficiencia operativa, reducción de quiebres de stock y una mejor utilización de los recursos disponibles. En relación con los antecedentes previamente analizados, este estudio complementa los enfoques tecnológicos y analíticos al resaltar que la planificación

estratégica constituye la base sobre la cual pueden integrarse herramientas avanzadas como simulación, optimización e inteligencia artificial.

Para el presente proyecto de graduación, el aporte de Rodríguez y Palallos resulta fundamental, ya que refuerza la necesidad de estructurar un modelo de gestión de inventarios alineado con la planificación de la cadena de suministro, permitiendo que las mejoras propuestas sean sostenibles y coherentes a nivel organizacional.

2.4.11. AI y SCM en Industria 4.0

Un aporte clave dentro del Estado del Arte en gestión de inventarios y cadena de suministro es el estudio publicado por MDPI en el año 2023, el cual se enmarca en el contexto de la Industria 4.0 y la incorporación de tecnologías digitales avanzadas con un enfoque sostenible. En el año 2023, la editorial científica MDPI publicó el artículo titulado *“Trends in Sustainable Inventory Management Practices in Industry 4.0”*, donde se realiza una revisión exhaustiva de las principales tendencias en la gestión de inventarios bajo los principios de la Industria 4.0, integrando inteligencia artificial (IA), machine learning (ML) y prácticas de sostenibilidad (MDPI, 2023).

Desde el punto de vista teórico, el estudio se apoya en los fundamentos de la transformación digital y la gestión sostenible de la cadena de suministro, destacando que la evolución de los sistemas productivos ha generado la necesidad de modelos de inventario más flexibles, precisos y alineados con criterios ambientales, sociales y económicos. Los autores argumentan que la gestión tradicional de inventarios

resulta insuficiente frente a la variabilidad de la demanda, la complejidad de los mercados y las exigencias de sostenibilidad actuales.

Metodológicamente, el artículo presenta una revisión sistemática de literatura, analizando investigaciones recientes que aplican algoritmos de IA y ML para el pronóstico de la demanda, la optimización de niveles de stock y la reducción de desperdicios. Los resultados muestran que estas tecnologías permiten mejorar significativamente la precisión de los pronósticos, optimizar el uso de recursos y reducir tanto el exceso como la obsolescencia de inventarios. Un hallazgo relevante del estudio es la vinculación directa entre la gestión inteligente de inventarios y la sostenibilidad operativa. La investigación evidencia que el uso de analítica avanzada no solo mejora indicadores económicos, sino que también contribuye a disminuir impactos ambientales mediante una mejor planificación de compras, transporte y almacenamiento.

Asimismo, el artículo resalta que la adopción de tecnologías de Industria 4.0 facilita una mayor visibilidad y trazabilidad de los inventarios a lo largo de la cadena de suministro, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones más informadas y oportunas. Esto se traduce en mejoras en la eficiencia operativa, reducción de costos y fortalecimiento de la resiliencia ante perturbaciones externas.

En relación con los estudios previamente analizados, este trabajo complementa los enfoques de simulación, optimización y aprendizaje automático, aportando una

visión integral que incorpora la sostenibilidad como eje estratégico de la gestión de inventarios. Para el presente proyecto de graduación, el estudio de MDPI resulta especialmente relevante, ya que respalda teóricamente la integración de tecnologías digitales avanzadas como medio para optimizar inventarios, mejorar el desempeño logístico y alinear la gestión operativa con los principios de la Industria 4.0.

En síntesis, la revisión de dichos estudios demuestra que la gestión moderna de inventarios y de la cadena de suministro requiere enfoques sistemáticos capaces de abordar la incertidumbre, la variabilidad de la demanda y la complejidad operativa mediante herramientas analíticas avanzadas. Los estudios analizados coinciden en que metodologías basadas en simulación, optimización, aprendizaje automático e integración de principios de mejora continua permiten obtener beneficios medibles en términos de eficiencia, reducción de costos y resiliencia operativa.

Este cuerpo teórico no solo respalda la relevancia del problema abordado, sino que también orienta la selección de las metodologías ingenieriles empleadas en el presente proyecto. A partir de estos fundamentos conceptuales, el Capítulo III desarrolla la metodología aplicada, describiendo de manera estructurada las fases, técnicas y herramientas utilizadas para analizar la situación actual, modelar el sistema, evaluar escenarios y proponer mejoras sustentadas en criterios técnicos y cuantificables.

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE TRABAJO

Diseño metodológico general del proyecto

El desarrollo del proyecto se estructuró bajo el enfoque metodológico DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar), ampliamente utilizado en la mejora de procesos dentro del ámbito de la Ingeniería Industrial. Este enfoque permitió abordar de manera sistemática el problema de los quiebres de stock y los paros de línea por falta de material en la línea de producción de catéter de Cirtec Medical Costa Rica.

La metodología se aplicó de forma secuencial, iniciando con la validación de la existencia y magnitud del problema mediante evidencia histórica, seguida de la medición objetiva de su impacto operativo y económico, el análisis de causas raíz, el diseño e implementación de acciones de mejora y, finalmente, el establecimiento de mecanismos de control para asegurar la sostenibilidad de los resultados.

Cada fase metodológica se desarrolló mediante herramientas propias de la Ingeniería Industrial, seleccionadas en función de su capacidad para generar información confiable, estructurar el análisis y apoyar la toma de decisiones basada en datos.

El estudio se llevó a cabo específicamente en la línea de producción de catéter, dentro del área de manufactura de dispositivos médicos. La selección de esta línea respondió a su relevancia operativa dentro del proceso productivo y a la recurrencia de eventos de interrupción asociados a la indisponibilidad de materiales críticos.

Cabe destacar que la información utilizada en el estudio se obtuvo a partir de reportes internos de control de materiales y documentación asociada a eventos de interrupción de línea. Estos registros permitieron identificar la frecuencia, duración y causa declarada de los paros productivos vinculados a la falta de material.

La recopilación de la información se realizó mediante revisión documental, extracción de datos relevantes, gembu walk y consolidación de la información. El proceso incluyó la verificación de consistencia entre distintas fuentes internas con el fin de garantizar la confiabilidad de la información utilizada para el análisis.

Para la sistematización de la información se diseñó una herramienta de registro en hoja de cálculo (ver anexo 2), estructurada para capturar de manera ordenada los eventos de quiebre de stock y sus consecuencias operativas. Esta herramienta permitió registrar variables como cantidad de materiales faltantes, horas de paro por falta de material y la causa del faltante. La estructura del instrumento facilitó la estandarización del registro, la trazabilidad de los eventos y la posterior explotación analítica.

La información utilizada en el estudio fue tratada bajo criterios de confidencialidad y uso exclusivo para fines académicos y de mejora de procesos. Los registros fueron almacenados en bases de datos protegidas y de acceso restringido, garantizando la integridad de la información y el cumplimiento de las disposiciones internas de la organización respecto al manejo de datos operativos.

En ningún caso se divulgó información sensible relacionada con procesos productivos específicos, proveedores o configuraciones internas del sistema de

abastecimiento. El análisis de la información se realizó de manera progresiva, iniciando con la cuantificación de la magnitud del problema mediante indicadores de frecuencia y duración de los paros de línea. Posteriormente, se estimó el impacto económico asociado a la improductividad generada durante los períodos de detención.

Una vez caracterizado el problema, se procedió a la identificación y clasificación de las causas de quiebres de stock, seguida de la evaluación de su contribución relativa al problema total. Finalmente, se analizaron relaciones entre variables operativas con el fin de identificar patrones de comportamiento que explicaran la ocurrencia de los eventos. Este proceso analítico sirvió como base para la priorización de acciones de mejora y el diseño del sistema de control del proceso.

Cada fase del estudio se diseñó en función de los objetivos específicos del proyecto, asegurando coherencia entre lo que se pretendía demostrar, las variables analizadas y los instrumentos utilizados para la recolección de información. Las variables operativas asociadas a la disponibilidad de materiales, duración de paros productivos y frecuencia de quiebres de stock fueron registradas mediante la herramienta de control desarrollada para el proyecto, lo que permitió generar información cuantificable y comparable en el tiempo.

A continuación, se presenta la estructura detallada de cada fase del proyecto de acuerdo con la metodología DMAIC.

3.1 Metodología para la definición del problema

La definición del problema se desarrolló mediante un proceso metodológico estructurado, orientado exclusivamente a delimitar y describir de manera objetiva la existencia del problema asociado a los quiebres de stock que generan paros de línea en la producción de catéter en Cirtec Medical Costa Rica. Esta etapa correspondió a la fase Definir del enfoque DMAIC y tuvo como propósito establecer con claridad qué está ocurriendo, dónde ocurre, a quién impacta y por qué es relevante abordarlo.

En esta fase no se buscó aún medir en profundidad ni proponer soluciones, sino comprender el contexto del problema y establecer su alcance dentro del sistema productivo. El proceso metodológico inició con la observación directa del entorno operativo, lo cual permitió identificar de manera preliminar la recurrencia de interrupciones productivas asociadas a la falta de materiales. Esta observación facilitó comprender cómo se manifestaba el problema en la operación diaria y cuáles eran sus efectos inmediatos sobre la continuidad de la línea de producción.

Posteriormente, se elaboró un diagrama de flujo del proceso de planificación y abastecimiento de materiales. Esta herramienta permitió representar gráficamente la secuencia de actividades desde la planificación hasta el consumo en línea, identificando los puntos del proceso donde la disponibilidad oportuna de inventario resulta crítica. El diagrama facilitó delimitar el alcance del proyecto exclusivamente

a la línea de catéter, asegurando que el análisis se concentrara en el segmento donde el problema tenía mayor impacto operativo.

Como parte de la definición estructurada del problema, se aplicó el análisis de Ishikawa y la técnica de los 5 porqué con un enfoque exploratorio. El objetivo en esta etapa no fue profundizar exhaustivamente en todas las causas raíz, sino organizar de manera preliminar los factores que podrían estar influyendo en la generación de quiebres de stock. Esta clasificación permitió distinguir entre factores relacionados con proveedores, planificación, rotación de personal, herramientas tecnológicas y controles internos, contribuyendo a una comprensión integral del fenómeno.

Adicionalmente, se realizó una revisión general de registros operativos que evidenciaban la ocurrencia de paros de línea por falta de material, con el fin de confirmar que el problema no correspondía a un evento aislado. Esta revisión permitió validar la recurrencia del fenómeno y sustentar la necesidad de abordarlo desde una perspectiva metodológica estructurada. El respaldo metodológico de la fase Definir se fundamentó en la integración de evidencia cualitativa y documental. La combinación de observación directa, representación gráfica del proceso y organización preliminar de posibles causas permitió construir una definición clara, delimitada y sustentada del problema, sin entrar aún en su cuantificación detallada.

La selección de estas herramientas se basó en su capacidad para describir el sistema antes de intervenirlo, asegurando que el proyecto partiera de una comprensión objetiva del contexto operativo. En coherencia con el enfoque DMAIC, esta etapa permitió establecer con precisión el problema, su alcance organizacional y su relevancia estratégica, creando así una base sólida para las fases posteriores de medición y análisis.

Tabla 4. *Objetivo #1 correspondiente a la fase Definir de la metodología DMAIC.*

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Definir el alcance del problema de gestión de inventarios en la línea de catéter en Cirtec Medical Costa Rica, con el fin de establecer la base del proyecto	Identificar el proceso de planificación de materiales. Delimitar la línea de producción analizada.	Revisión documental	Se revisaron procedimientos y reportes internos del área de Supply Chain para comprender el comportamiento de los inventarios, estatus de órdenes de compra y los eventos de quiebres de stock.	Enero	Ejecutor del proyecto / Gerencia Supply Chain
	Identificar el flujo del proceso de planificación y compras.	Diagrama de flujo del proceso de compras	Se elaboró y documentó el flujo del proceso de planificación y abastecimiento de materiales, identificando puntos críticos donde se generaban interrupciones productivas.	Enero	Ejecutor del proyecto / Gerencia Supply Chain

Fuente: Procedimientos y documentación de Cirtec Medical.

3.2 Metodología para la medición y respaldo cualitativo de proyecto

La medición del problema se desarrolló con el propósito de caracterizar de manera cuantitativa el desempeño del sistema de gestión de inventarios y su impacto sobre la continuidad operativa de la línea de producción de catéter en Cirtec Medical Costa Rica. Esta etapa correspondió a la fase Medir del enfoque DMAIC y permitió establecer la base estadística del problema, así como cuantificar su magnitud real en términos operativos y económicos.

El abordaje metodológico se orientó a transformar el fenómeno previamente identificado en variables medibles, comparables y analizables en el tiempo. Para ello, se definió un sistema de medición estructurado que permitió recopilar, depurar, organizar y analizar información cuantitativa proveniente del monitoreo sistemático del proceso.

La recopilación de datos se realizó mediante una herramienta de control estandarizada en Excel para registrar de forma sistemática los eventos de quiebre de stock, sus causas y sus efectos operativos. Esta herramienta permitió organizar la información en una base estructurada que facilitó su análisis posterior.

El procesamiento de datos incluyó actividades de depuración, validación y clasificación de la información, con el fin de asegurar consistencia en los registros, eliminar duplicidades y estandarizar criterios de medición. El análisis cuantitativo se desarrolló mediante técnicas de análisis de frecuencia, análisis de tendencia y cuantificación del impacto económico derivado de los tiempos improductivos.

3.2.1. Variables del sistema de medición

El sistema de medición se diseñó para evaluar tres variables principales:

- Cantidad de quiebres de stock, como indicador de disponibilidad de materiales.
- Clasificación de causas de quiebres de stock.
- Horas improductivas por paro de línea, como medida del impacto operativo directo.
- Impacto económico de las horas improductivas.

Estas variables permitieron caracterizar el problema desde una perspectiva operacional y económica, facilitando su evaluación objetiva y la identificación de brechas de desempeño.

La base de datos se estructuró en función de los eventos de paro registrados, integrando información sobre duración, causa reportada y mes de ocurrencia.

3.2.2. Técnicas estadísticas y herramientas de medición

Para la caracterización del problema se emplearon herramientas de análisis propias del enfoque Six Sigma y de la ingeniería industrial orientadas a la descripción y exploración de datos. Entre ellas:

- Estadística descriptiva para resumir el comportamiento de las variables.
- Análisis de frecuencia para identificar recurrencia de eventos.
- Revisión histórica para establecer tendencias operativas.
- Clasificación de eventos para su posterior análisis causal.

Estas herramientas permitieron construir una base cuantitativa sólida que respaldó el análisis posterior de causas y relaciones entre variables.

3.2.3. Definición operativa del defecto

Para efectos del sistema de medición, se definió como defecto cualquier interrupción de la producción atribuible a la indisponibilidad de materiales requeridos para la operación normal de la línea. Se consideró como condición operativa deseada la continuidad productiva sin detenciones asociadas a faltantes de inventario.

3.2.4. Control de variabilidad y confiabilidad de la medición

Para asegurar la consistencia del sistema de medición, se establecieron criterios uniformes para el registro de eventos, clasificación de causas y cuantificación de tiempos de paro. La estandarización del registro permitió reducir variabilidad derivada de interpretaciones individuales y mejorar la precisión de la información recopilada. Asimismo, la depuración y validación de datos históricos contribuyó a fortalecer la confiabilidad de la base estadística del estudio.

3.2.5. Plan de recolección de datos

El plan de recolección contempló dos fuentes principales:

1. Registros de operación, utilizados para la identificación inicial del problema.
2. Registro sistemático en herramienta de control, utilizado para el monitoreo durante el desarrollo del proyecto. La información se recopiló en el área de operación productiva, en el momento en que ocurrían los eventos de paro.

Tabla 5. *Objetivo #2 correspondiente a la fase Medir de la metodología DMAIC.*

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Medir el desempeño actual de la gestión de inventarios en la línea de catéter, mediante la recopilación y análisis de indicadores clave	Clasificar eventos de quiebre de stock y agrupar causas de paro	Análisis descriptivo	Se organizaron y clasificaron los eventos según su causa, permitiendo estructurar la información para su posterior cuantificación.	Enero-Marzo	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
como el porcentaje de quiebres de stock, las horas de paro por falta de material y su costo de mano de obra asociado	Cuantificar horas improductivas y estimar impacto económico	Hoja de cálculo Excel	Se consolidaron los datos en una herramienta estandarizada en Excel, donde se registraron los paros y los costos de mano de obra asociados.	Enero-Marzo	Ejecutor del proyecto

Fuente: Bases de datos Cirtec Medical.

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

La propuesta de mejora del presente proyecto se desarrolló a partir de la fase Analizar del enfoque DMAIC, mediante la identificación estructurada de las causas que originan los quiebres de stock en la línea de producción de catéter y el diseño de una solución orientada al control preventivo del abastecimiento de materiales. El resultado de este proceso fue la construcción de una herramienta de control en Excel destinada al registro de eventos de faltantes de material y a la proyección anticipada de posibles quiebres de stock.

El desarrollo metodológico de la propuesta se fundamentó en el análisis cuantitativo del comportamiento del proceso y en la identificación de causas raíz que afectan la disponibilidad de materiales. Para ello se utilizaron herramientas de análisis causal que permitieron comprender el origen del problema y orientar el diseño de la solución hacia la prevención y el monitoreo continuo.

Inicialmente se realizó la identificación estructurada de causas mediante el uso del diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 porqué, lo que permitió descomponer el problema en factores asociados a planificación, control y abastecimiento. Este análisis permitió evidenciar que uno de los principales factores que contribuyen a la ocurrencia de quiebres de stock es la ausencia de un sistema estandarizado que permita registrar, consolidar y analizar de forma sistemática los eventos de faltantes de material y su impacto operativo.

Posteriormente se aplicó un análisis de priorización de causas mediante el principio de Pareto, con el objetivo de identificar los factores que generan mayor impacto en la continuidad productiva. Esta priorización permitió enfocar la propuesta de mejora en el control operativo del proceso de abastecimiento y en la generación de información estructurada para la toma de decisiones.

Como complemento del análisis causal, se evaluó la relación entre variables operativas mediante análisis de correlación, con el fin de determinar la asociación entre la frecuencia de quiebres de stock, las horas de paro de línea y el impacto económico derivado de la improductividad. Este análisis permitió confirmar la necesidad de una herramienta que no solo registre eventos, sino que también permita visualizar tendencias y anticipar comportamientos futuros del proceso.

Con base en los resultados del análisis, la propuesta de mejora se orientó al diseño de un nuevo mecanismo de control del proceso, materializado en un archivo en Excel estructurado como herramienta operativa de monitoreo, análisis y proyección de quiebres de stock. El diseño de esta herramienta respondió al

principio de mejora continua, permitiendo intervenir el proceso sin requerir modificaciones estructurales en los sistemas corporativos existentes.

Desde el punto de vista metodológico, el diseño de la herramienta se desarrolló siguiendo la lógica del ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar, integrando los resultados del análisis en una solución funcional orientada al control del proceso.

En la fase de planificación se definieron las necesidades de información y los indicadores a controlar. En la fase de desarrollo se estructuró el archivo con campos de registro estandarizados, fórmulas de cálculo automático y mecanismos de visualización de resultados. Posteriormente se contempló la verificación de su funcionalidad mediante pruebas de uso operativo, y finalmente su integración al proceso como instrumento permanente de control.

Tabla 6. *Objetivo #3 correspondiente a la fase Analizar de la metodología DMAIC.*

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Analizar las causas raíz de los quiebres de stock y paros de línea en la línea de catéter, con el fin de identificar los factores que afectan el proceso	Clasificar causas del problema y organizarlas por categorías	Diagrama de Ishikawa / Gemba walk	Se estructuraron las posibles causas en facilitando la visualización integral del problema.	1 semana	Ejecutor del proyecto / Supervisor de línea / Gerente Supply Chain
	Profundizar en las causas identificadas	Técnica de los 5 ¿Por qué?	Se realizó un análisis secuencial para identificar la causa raíz de los principales quiebres de stock.	2 semanas	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
	Identificar patrones de ocurrencia y priorizar causas críticas	Análisis de Pareto 80/20	Se determinaron las causas con mayor impacto en los paros de línea, enfocando el análisis en los factores más relevantes.	1 semana	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain
	Analizar relación entre variables operativas	Análisis de correlación	Se evaluó la relación entre variables como frecuencia de quiebres, horas improductivas y su costo asociado para comprender su influencia en el desempeño del proceso.	1 semana	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain

Fuente: Toma de datos durante la ejecución del proyecto.

3.4 Metodología para la implementación del proyecto

La metodología para la implementación de la propuesta se estructuró a partir de la fase Implementar del enfoque DMAIC, con el propósito de trasladar la solución diseñada a su aplicación práctica dentro del entorno operativo de Cirtec Medical Costa Rica. La solución desarrollada consistió en la creación e incorporación de un archivo en Excel para el control sistemático de los quiebres de stock y la proyección preventiva de posibles faltantes de material en la línea de producción de catéter.

La implementación se diseñó bajo un enfoque práctico, progresivo y controlado, asegurando que la herramienta pudiera integrarse al flujo normal de trabajo del área de planificación de materiales sin generar interrupciones en la operación ni requerir modificaciones estructurales en los sistemas corporativos existentes.

Desde el punto de vista metodológico, la implementación se organizó en etapas secuenciales que permitieron asegurar la correcta incorporación de la herramienta al proceso operativo.

En una primera etapa se realizó la preparación operativa de la implementación. Esto incluyó la validación de la estructura del archivo en Excel, la definición de los campos de registro necesarios para el control de quiebres de stock y la estandarización de los criterios de captura de información. Asimismo, se definieron los lineamientos de uso de la herramienta, incluyendo la frecuencia de actualización de datos, los responsables del registro y los indicadores que debían generarse automáticamente a partir de la información ingresada.

En una segunda etapa se llevó a cabo la configuración funcional del archivo de control. En esta fase se establecieron las fórmulas de cálculo, los mecanismos de consolidación de información y los elementos de visualización que permiten identificar tendencias, cuantificar el impacto operativo de los cortos de material y generar alertas tempranas de posibles quiebres de stock. La herramienta fue diseñada para permitir tanto el registro histórico de eventos como el análisis prospectivo del comportamiento del inventario.

Posteriormente se desarrolló una etapa de aplicación piloto, en la cual el archivo fue utilizado dentro del proceso operativo para registrar eventos reales de quiebres de stock y horas de paro asociadas. Esta fase permitió verificar la funcionalidad del sistema, validar la claridad de los registros, identificar oportunidades de mejora en la estructura del archivo y asegurar su aplicabilidad en condiciones reales de trabajo.

Una vez validada su funcionalidad, se procedió a la integración formal de la herramienta dentro del proceso de gestión de inventarios de la línea de catéter. Para ello se establecieron responsabilidades específicas de uso, se definieron rutinas de actualización periódica y se incorporó el archivo como instrumento de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la planificación de materiales.

Desde la perspectiva organizacional, la implementación consideró la asignación de roles claros para la operación de la herramienta. Se definieron responsables del registro de eventos de quiebre de stock, responsables del análisis de la información generada y responsables del seguimiento de los indicadores operativos derivados del sistema de control. Esta estructura permitió asegurar la continuidad del uso de la herramienta una vez implementada.

En términos de recursos necesarios, la implementación requirió acceso a registros operativos históricos, disponibilidad del software Excel como plataforma de gestión de datos, coordinación con el área de planificación de materiales y establecimiento

de lineamientos para el manejo confidencial de la información registrada, en cumplimiento de las políticas internas de la organización.

Desde el enfoque metodológico de la ingeniería industrial, la implementación se apoyó en principios de estandarización operativa, control del proceso, registro sistemático de información y monitoreo continuo del desempeño, asegurando que la herramienta no solo cumpliera una función de registro histórico, sino también de análisis preventivo y soporte a la toma de decisiones.

En conjunto, la metodología de implementación permitió introducir de manera estructurada el archivo en Excel como herramienta formal de control y proyección de quiebres de stock, integrándolo al proceso de gestión de inventarios de la línea de producción de catéter y estableciendo las condiciones necesarias para su uso sostenido como mecanismo de monitoreo y mejora operativa continua.

Tabla 7. *Objetivo #4 correspondiente a la fase Implementar de la metodología DMAIC.*

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
Diseñar una propuesta de mejora para el control de cortos de material en la línea de catéter, con el objetivo de reducir los cortos y su impacto económico	Diseñar herramienta de control y definir criterios de registro	Herramienta de control en Excel	Se diseñó una herramienta estructurada en Excel por la línea de producción, definiendo campos estandarizados para el registro de quiebres de stock, horas de paro, compras urgentes y materiales críticos.	2–4 semanas	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain / Buyers

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
	Establecer rutinas de monitoreo y seguimiento	Monitoreo de indicadores	Se definieron criterios claros de actualización, responsables, frecuencia de revisión y métricas clave, con el fin de asegurar el seguimiento y facilitar la toma de decisiones oportunas.	2–4 semanas	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain / Buyers
	Integrar soporte analítico del Sistema de planificación	Implementación de fases 1 y 2 de LeanDNA	Se inició la adopción las fases iniciales (1 y 2) de LeanDNA como herramienta de soporte analítico, identificando qué insumos generados en Excel pueden alinearse o migrarse al sistema, fortaleciendo la planificación y reduciendo la dependencia del control manual en el mediano plazo.	2–4 semanas	Ejecutor del proyecto

Fuente: Datos recopilados durante la ejecución del proyecto.

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

La fase Control dentro de la metodología DMAIC tiene como propósito garantizar que las mejoras implementadas en la gestión de inventarios de la línea de catéter se mantengan en el tiempo y no regresen a su estado inicial. En esta sección se establece la metodología que permitirá verificar los resultados obtenidos, asegurar su sostenibilidad y dar seguimiento continuo al desempeño del proceso.

3.5.1 Proceso de verificación de entregables y resultados

El proceso de verificación consiste en validar que cada uno de los entregables del proyecto cumpla con los criterios definidos durante la fase de implementación.

Los principales entregables sujetos a verificación son:

- Herramienta de control en Excel por la línea de producción.
- Definición y cálculo de indicadores clave (KPI).
- Rutinas de monitoreo periódico.
- Integración de fases iniciales (1 y 2) de LeanDNA como soporte analítico.

La verificación se realiza mediante:

- Revisión técnica de la estructura de la herramienta.
- Validación de fórmulas y consistencia de datos.
- Confirmación del cálculo correcto de indicadores.

- Pruebas piloto de uso operativo.

Esta revisión es ejecutada por el responsable del proyecto, con validación de la Gerencia de Supply Chain y supervisión del área de Producción cuando corresponda.

3.5.2 Respaldo metodológico e instrumentos de control

Para garantizar la sostenibilidad de la propuesta, se utilizarán los siguientes instrumentos metodológicos:

a) Indicadores de desempeño (KPI)

- Cantidad de quiebres de stock
- Horas de paro por falta de material
- Costo de mano de obra estimado por improductividad

Estos indicadores permitirán medir de forma objetiva el comportamiento del sistema de inventarios.

b) Cuadros de control

Se implementarán gráficos de control y tableros visuales en Excel para:

- Monitorear tendencias.
- Detectar desviaciones.
- Identificar variaciones fuera de control.

c) Instructivo operativo (Ver Anexo 2)

Se desarrollará un documento guía que incluya:

- Procedimiento de actualización de la herramienta.
- Frecuencia de revisión.
- Interpretación de indicadores.
- Acciones correctivas ante desviaciones.

3.5.3 Organización del proceso de control

El proceso de control se organiza de la siguiente manera:

- Monitoreo semanal: se realizará una revisión de materiales críticos y posibles riesgos de quiebre.
- Revisión mensual: se realizará un análisis consolidado de indicadores y tendencias.
- Revisión trimestral: se realizará una evaluación del impacto económico y ajustes estratégicos.

3.5.4 Sistema de seguimiento de resultados

El sistema de seguimiento consiste en:

1. Registro continuo de eventos en la herramienta Excel.
2. Comparación de indicadores contra la línea base establecida en la fase Medir.
3. Identificación de desviaciones.

4. Aplicación de acciones correctivas.
5. Documentación de ajustes realizados.

El objetivo es pasar de un modelo reactivo (resolver el corto cuando ocurre) a un modelo preventivo basado en proyección y análisis.

3.5.5 Indicadores para asegurar sostenibilidad

Se propone monitorear los siguientes indicadores clave:

- Reducción de quiebres de stock.
- Reducción de horas de paro.
- Reducción de costos por horas de mano de obra ociosas asociadas a falta de material para producir.
- Cumplimiento de rutinas de revisión.

El comportamiento sostenido de estos indicadores en un periodo mínimo de uno a tres meses (considerando el lead times) permitirá validar la efectividad del sistema.

3.5.6 Riesgos identificados y medidas de mitigación

Entre los principales riesgos que podrían afectar la sostenibilidad de la propuesta se encuentran:

1. Rotación del personal del área de Compras.
- Mitigación: instructivo documentado y estandarización del proceso.

2. Dependencia de un único proveedor.

- Mitigación: monitoreo anticipado basado en proyección de demanda.

3. Implementación parcial de LeanDNA.

- Mitigación: mantener Excel como respaldo hasta consolidar la herramienta.

4. Falta de disciplina en la actualización del sistema.

- Mitigación: definición clara de responsables y seguimiento mensual.

5. Variaciones en la demanda productiva.

- Mitigación: revisión periódica de parámetros de planificación.

3.5.7 Consolidación de la solución en el tiempo

Se espera que la solución se consolide mediante:

- Estandarización del registro de información.
- Integración progresiva inicial con LeanDNA.
- Cultura de análisis preventivo.
- Uso sistemático de indicadores.

El enfoque no es únicamente reducir los quiebres de stock en el corto plazo, sino transformar la gestión de inventarios hacia un modelo estructurado, medible y controlado.

3.5.8 Prevención del retroceso a la situación inicial

Para evitar que el proceso vuelva a su estado anterior, se establecen las siguientes medidas:

- Capacitación interna básica sobre el uso de la herramienta.
- Revisión periódica obligatoria.
- Reporte de indicadores en reuniones operativas.
- Integración gradual al sistema corporativo (LeanDNA).

Tabla 8. *Objetivo #5 correspondiente a la fase Controlar de la metodología DMAIC.*

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
	Definir indicadores de desempeño	KPI operativos	Se establecieron indicadores clave como porcentaje de quiebres de stock, horas de paro por falta de material, y su costo asociado.	1 semana	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain / Buyers
Establecer mecanismos de seguimiento para sostener las mejoras en la gestión de cortos de la línea de catéter, con el fin de asegurar la estabilidad del proceso	Diseñar sistema de monitoreo periódico	Monitoreo continuo	Se definieron frecuencias de revisión, responsables y mecanismos de seguimiento para garantizar la evaluación constante del desempeño del inventario.	1 semana	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain / Buyers
	Documentar lineamientos de uso y seguimiento	Instructivo operativo	Se elaboró un instructivo que detalla el uso de la herramienta de Excel, la interpretación de indicadores y las rutinas de revisión, asegurando la	2 semanas	Ejecutor del proyecto / Gerente Supply Chain / Buyers

Objetivo específico	Actividades	Herramienta	Descripción	Plazos	Responsables
---------------------	-------------	-------------	-------------	--------	--------------

			sostenibilidad de las mejoras en el tiempo.		
--	--	--	---	--	--

Fuente: Datos recopilados durante la ejecución del proyecto.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE CAUSAS RAÍZ

Con el fin de comprender las causas que generan los quiebres de stock y los paros en las líneas de producción, se realizó un análisis de causa raíz. Este análisis permite identificar los factores que originan el problema y no únicamente sus efectos, lo que facilita la definición de soluciones más efectivas y sostenibles. A partir de la información recopilada durante el diagnóstico del proceso, se evaluaron diferentes aspectos relacionados con la planificación del abastecimiento, el control de inventarios y el seguimiento de los materiales utilizados en producción. El objetivo de este análisis es determinar las causas principales que están afectando la continuidad del proceso productivo y que deben ser abordadas mediante las propuestas de mejora presentadas en este proyecto.

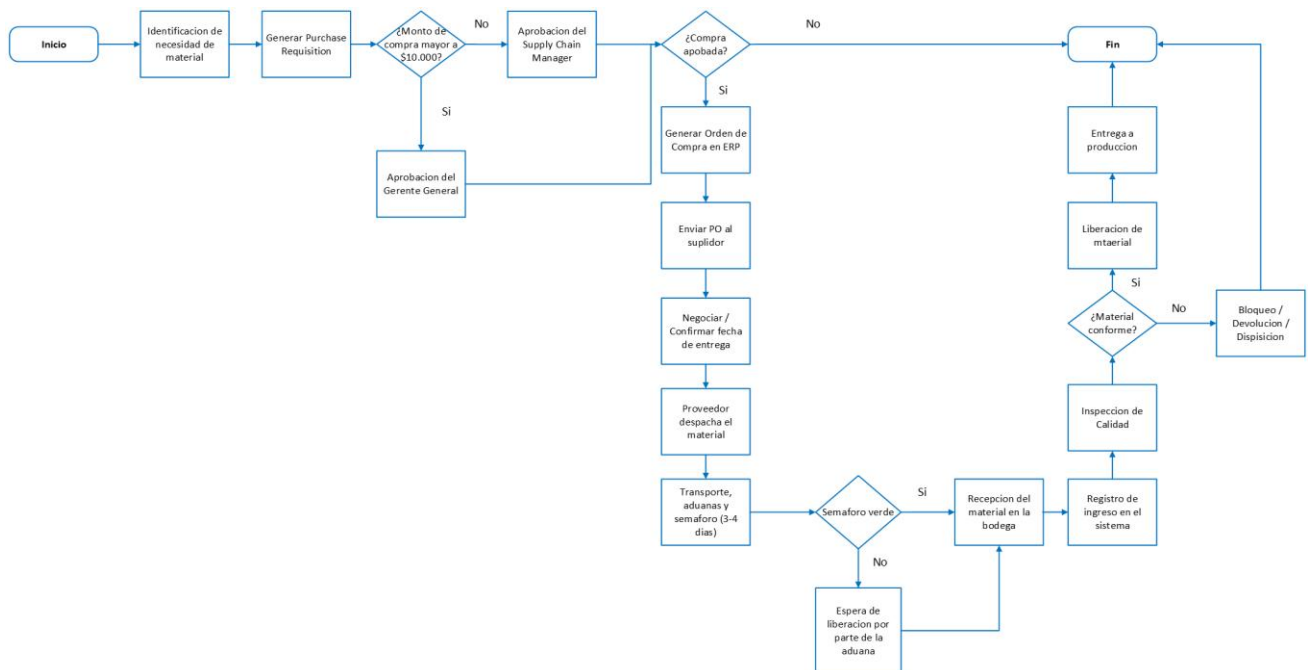
4.1. Diagrama de Flujo

Con el fin de comprender de manera integral el funcionamiento del proceso de abastecimiento de materiales, se elaboró un diagrama de flujo que representa de forma secuencial y estructurada cada una de las etapas involucradas en la gestión de compras, desde la identificación de la necesidad hasta la liberación del material para su uso en producción. Este diagrama permite visualizar la interacción entre las áreas responsables, los puntos de decisión, los controles establecidos y las actividades críticas que influyen en la disponibilidad oportuna de los insumos.

La representación gráfica del proceso facilita la identificación de posibles cuellos de botella, tiempos de espera, riesgos operativos y puntos de control que pueden incidir en la ocurrencia de quiebres de stock. De esta manera, el diagrama constituye una herramienta fundamental para el análisis del proceso actual y sirve como base metodológica para la identificación de oportunidades de mejora dentro de la gestión de abastecimiento en Cirtec Medical Costa Rica.

A continuación, en la figura 6 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al proceso de compras y recepción de materiales.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de compras del departamento de Supply Chain Cirtec Medical CR.



Fuente: Proceso de compras de Cirtec Medical Costa Rica.

El proceso de abastecimiento de materiales inicia cuando se identifica una necesidad de insumos para la operación productiva. Esta necesidad se origina a partir de los requerimientos del plan de producción, niveles de inventario, proyecciones de consumo o solicitudes específicas de las áreas operativas. Una vez detectada la necesidad, se genera formalmente una requisición de compra, documento mediante el cual se solicita la adquisición del material requerido.

Posteriormente, la requisición pasa por un proceso de aprobación que depende del monto de la compra. Si el valor es igual o menor a \$10.000, la autorización corresponde al Supply Chain Manager; si el monto supera este valor, se requiere la aprobación del Gerente General. Este control permite asegurar la validación presupuestaria y la correcta toma de decisiones en compras de mayor impacto económico.

Una vez generada la orden de compra en el sistema ERP, inicia el conteo del lead time del proveedor. Durante este periodo, el proveedor realiza las actividades necesarias para preparar el pedido. Al finalizar el lead time, el proveedor procede con el envío de la carga. En el caso de Cirtec Medical, los materiales son transportados vía aérea, lo que implica un tiempo de tránsito aproximado de entre tres y cuatro días. Una vez que la carga llega al país, esta ingresa al proceso aduanero, donde se debe tramitar la Declaración Única Aduanera (DUA).

Posteriormente, la carga puede ser asignada a un canal de revisión aduanera, ya sea aforo verde o aforo rojo. En caso de aforo verde, la carga es liberada de forma

inmediata y el operador logístico procede con la entrega en las instalaciones de la empresa. Por el contrario, si la carga es asignada a aforo rojo, se debe esperar a que la autoridad aduanera realice la inspección correspondiente antes de autorizar su liberación.

Una vez liberada la carga, el operador logístico, en este caso FedEx, realiza la entrega final en las instalaciones de Cirtec Medical. Al llegar a la instalación, el material es recibido en la bodega, donde se verifica su correspondencia con la orden de compra y se registran los datos de recepción. Posteriormente, los insumos son sometidos a un proceso de inspección por parte del área de calidad, que valida el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos establecidos. Únicamente después de ser liberado por calidad, el material queda disponible para su entrega a producción, donde puede ser utilizado en el proceso de fabricación.

En conjunto, este proceso integra actividades de planificación, control administrativo, coordinación logística, recepción física e inspección técnica, involucrando la interacción de múltiples áreas funcionales. Su correcta ejecución es fundamental para garantizar la disponibilidad oportuna de materiales y la continuidad de la operación productiva en Cirtec Medical Costa Rica.

Es importante destacar que la correcta planificación de materiales y la proyección anticipada de posibles cortos no deben basarse únicamente en el lead time del proveedor. El tiempo total necesario para disponer efectivamente del material en producción incluye varias etapas adicionales que también influyen de manera significativa en la disponibilidad real del insumo. Entre estas se encuentran el tiempo

de tránsito internacional o local, el proceso de recepción física en bodega, la verificación documental y, especialmente, la inspección y liberación por parte del área de calidad.

En conjunto, estas actividades pueden extender el tiempo total desde la generación de la necesidad de compra hasta la disponibilidad del material para uso productivo, llegando en algunos casos a representar hasta dos semanas adicionales al plazo de entrega del proveedor. Es importante considerar que los atrasos no solo pueden originarse durante el transporte o el proceso aduanero, sino también desde etapas previas, como la liberación de la requisición de compra o la generación de la orden en el sistema, lo que retrasa el inicio del lead time del proveedor. Asimismo, pueden presentarse demoras durante la preparación del pedido por parte del proveedor, el tránsito internacional, la gestión aduanera (especialmente en casos de aforo rojo) y la entrega final en planta.

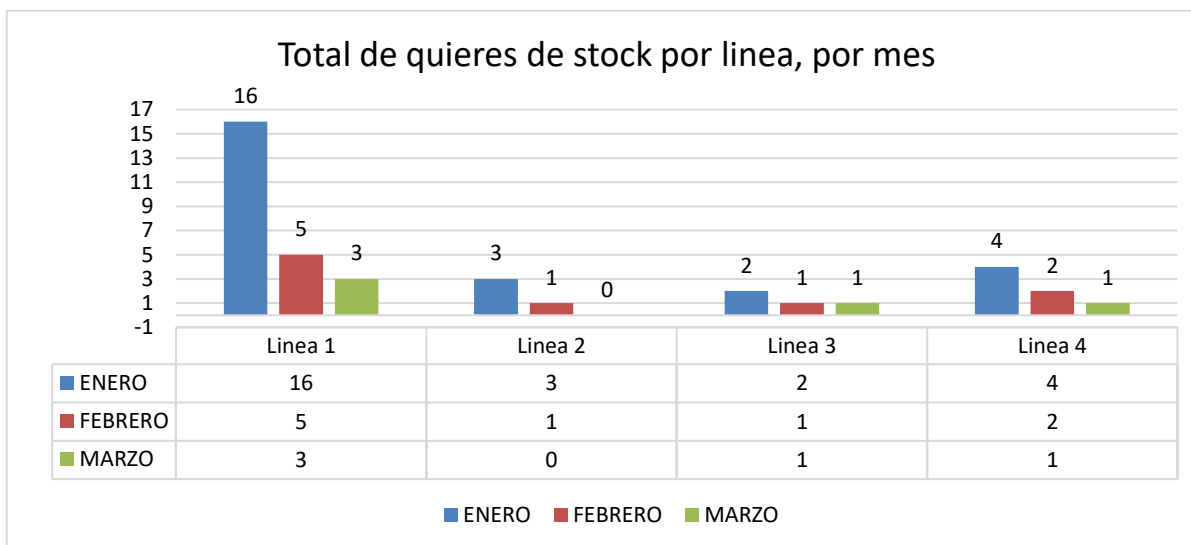
Por esta razón, una planificación inadecuada o una compra realizada sin suficiente anticipación puede generar quiebres de stock aun cuando el proveedor haya cumplido con los tiempos acordados. En consecuencia, resulta fundamental anticipar las necesidades reales de la operación y considerar el tiempo completo del proceso logístico, tanto externo como interno, para asegurar la continuidad productiva en Cirtec Medical Costa Rica. Comprar con la debida anticipación no solo reduce el riesgo de paros de línea, sino que también permite mantener la estabilidad operativa y evitar costos innecesarios asociados a urgencias logísticas y tiempos improductivos.

4.2. Análisis de Quiebres de Stock

Con el objetivo de comprender la magnitud del problema de abastecimiento dentro del sistema productivo, se realizó un análisis de los quiebres de stock registrados durante el período de estudio. Para ello, se recopiló los eventos en los cuales la línea de producción experimenta interrupciones únicamente debido a la falta de materiales necesarios para continuar con el proceso productivo. La información fue organizada considerando variables como el mes de ocurrencia, el material afectado y la línea de producción impactada. Este registro permite identificar patrones en la ocurrencia de los faltantes de inventario y evidenciar que los quiebres de stock no corresponden a situaciones aisladas, sino a eventos recurrentes que afectan distintas líneas de producción. A partir de esta recopilación de datos, se busca dimensionar la frecuencia con la que se presentan estas situaciones y generar una base objetiva que permita analizar sus causas, evaluar su impacto operativo y económico, y orientar el desarrollo de acciones de mejora dentro del proceso de gestión de inventarios y abastecimiento.

A continuación, en la figura 7. se puede observar la cantidad de cortos ocurridos en los meses de enero a marzo del 2026 para las diferentes líneas de catéter.

Figura 7. Total, de cortos de materia prima por la línea de producción de catéter por mes.



Fuente: Recopilación de datos durante el proyecto en la planta de Cirtec Medical CR.

El gráfico presentado muestra la cantidad de quiebres de stock registrados en cada línea de producción de catéter durante los meses de enero, febrero y marzo, lo cual permite visualizar cómo se comportó el problema a lo largo del tiempo y qué líneas fueron más afectadas. Este tipo de análisis es importante porque los quiebres de inventario pueden provocar interrupciones en la producción, retrasos en los procesos y aumento de costos de mano de obra, por lo que identificar dónde se concentran ayuda a orientar las acciones de mejora.

En primer lugar, se observa que la línea 1 presenta la mayor cantidad de quiebres de stock, especialmente durante el mes de enero, donde se registraron 16 eventos. Esta cantidad es significativamente mayor en comparación con las demás líneas, lo que indica que durante ese mes existieron problemas importantes en la planificación

o gestión del inventario de los materiales asociados a esta línea. Los quiebres en la línea 1 representan la mayor parte del problema total observado en el período analizado. Sin embargo, también se aprecia una tendencia de mejora en los meses posteriores, ya que en febrero la cantidad de quiebres disminuye a 5, y en marzo se reduce aún más a 3. Esta disminución sugiere que posiblemente dado que la herramienta de control se comenzó a generar gradualmente, se logró mejorar el seguimiento de órdenes de compra y la planificación del abastecimiento.

En el caso de la línea 2, la cantidad de quiebres es considerablemente menor en comparación con la línea 1. Durante el mes de enero se registraron 3 quiebres, en febrero se presentó 1 evento, y en marzo no se registraron quiebres. Este comportamiento muestra una tendencia positiva, ya que el problema desaparece completamente en el tercer mes del análisis. Esto podría indicar que las causas de los quiebres fueron identificadas y corregidas rápidamente.

Por otra parte, la línea 3 presenta una incidencia baja pero constante de quiebres de stock. En enero se registraron 2 quiebres, mientras que en febrero y marzo se reportó 1 evento en cada mes. Aunque la frecuencia es menor en comparación con otras líneas, el hecho de que el problema se mantenga presente durante los tres meses indica que existen factores que todavía no han sido completamente solucionados, como posibles retrasos en órdenes de compra, seguimiento insuficiente a proveedores o errores en la planificación de inventarios.

Finalmente, la línea 4 muestra un comportamiento intermedio, con 4 quiebres en enero, 2 en febrero y 1 en marzo. Al igual que en el caso de la línea 1, se puede

observar una reducción progresiva en el número de eventos, lo que sugiere una mejora gradual en la gestión del inventario y en la coordinación del abastecimiento de materiales. No obstante, el hecho de que los quiebres sigan apareciendo en marzo indica que todavía existen oportunidades de mejora para lograr una mayor estabilidad en el suministro de materiales.

En términos generales, el gráfico evidencia dos aspectos importantes. Primero, la mayor concentración del problema se presentó en el mes de enero, donde se registró el mayor número de quiebres de stock en todas las líneas (25 quiebres). Esto podría estar relacionado con problemas de planificación inicial del año, ajustes en pronósticos de demanda o retrasos acumulados en órdenes de compra.

Segundo, se observa una tendencia de disminución de los quiebres de stock conforme avanzan los meses (Febrero 9 quiebres, Marzo 5 quiebres), lo que sugiere una mejora progresiva en la gestión del abastecimiento (de tener 25 quiebres de stock, en marzo fueron solo 5). Esta tendencia puede estar influenciada por acciones operativas tomadas durante el periodo de análisis para atender la urgencia del problema, lo que permitió mejorar la visibilidad del estado de los materiales y la toma de decisiones en el corto plazo

En conclusión, el análisis del comportamiento de los quiebres de stock por línea y por mes permite identificar que la línea 1 es la más crítica dentro del sistema, ya que concentra la mayor cantidad de incidencias, especialmente en el mes de enero. Asimismo, se evidencia una mejora progresiva en todas las líneas durante el

período analizado, específicamente hubo una reducción de cortos en un 80%, dado que:

$$\frac{(Valor\ inicial - Valor\ final)}{Valor\ inicial} * 100$$

$$\frac{(25 - 5)}{25} * 100 = 80\%$$

Esta mejora anteriormente evidenciada podría estar asociada a ajustes en la planificación de inventarios, seguimiento a proveedores o mejoras en la gestión de órdenes de compra., dado por la implementación progresiva de la herramienta Excel.

4.3. Análisis de Pareto

El análisis de la tabla de frecuencias permite comprender con claridad cómo se distribuyen los quiebres de stock según su causa y cuál es el peso relativo de cada una dentro del problema total (puede dirigirse a la fuente de datos en el Anexo 2). La información fue recopilada mediante la aplicación de un Gemba Walk, utilizando la observación directa de los procesos en el área de trabajo para identificar y registrar los eventos de quiebre de stock. En el período evaluado se registraron 39 eventos, los cuales se agrupan en siete causas principales (ver Tabla 9).

Tabla 9. Causas de quiebres de stock

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE	PORCENTAJE ACUMULADO
Retraso en la emisión de órdenes de compra	16	41%	41%
Mala priorización	7	18%	59%
Compra urgente reactiva	5	13%	72%
No consideración de tiempos de tránsito	3	8%	79%
Seguimiento insuficiente al proveedor	3	8%	87%
Error en pronóstico de demanda	1	3%	90%
Entregas tardías	4	10%	100%
TOTAL	39		

Fuente: Gemba walk, recopilación de datos durante el estudio por medio de observación directa.

La causa con mayor incidencia es “Retraso en la emisión de órdenes de compra”, con 16 eventos, lo que representa el 41% del total. Este porcentaje indica que prácticamente cuatro de cada diez quiebres se originan en demoras internas al momento de generar o liberar órdenes de compra. Este resultado es significativo porque evidencia que la principal fuente del problema está relacionada con la oportunidad y eficiencia del proceso de abastecimiento, más que con factores externos.

En segundo lugar, se encuentra “Mala priorización”, con 7 eventos (18%). Al sumar esta causa con la anterior, el porcentaje acumulado alcanza el 59%. Esto significa que más de la mitad de los quiebres registrados se explican únicamente por deficiencias en la gestión interna de planificación y priorización de materiales. La combinación de ambas causas sugiere que existen oportunidades de mejora en la

definición de criterios de criticidad, revisión de inventarios y toma de decisiones operativas.

La tercera causa es “Compra urgente reactiva”, con 5 eventos (13%), elevando el acumulado a 72%. Este dato refuerza la idea de que el sistema actual opera de manera reactiva en lugar de preventiva. La necesidad recurrente de compras urgentes indica que los mecanismos de anticipación no están funcionando adecuadamente, lo que deriva en acciones correctivas tardías y mayor riesgo de interrupción productiva.

Posteriormente, “No consideración de tiempos de tránsito” y “Seguimiento insuficiente al proveedor”, con 3 eventos cada una (8% respectivamente), incrementan el acumulado hasta 87%. Estas causas reflejan debilidades en la planificación logística y en el monitoreo del cumplimiento de proveedores. Aunque su impacto individual es menor en comparación con las tres primeras causas, continúan estando relacionadas con la gestión del abastecimiento y no con factores aleatorios.

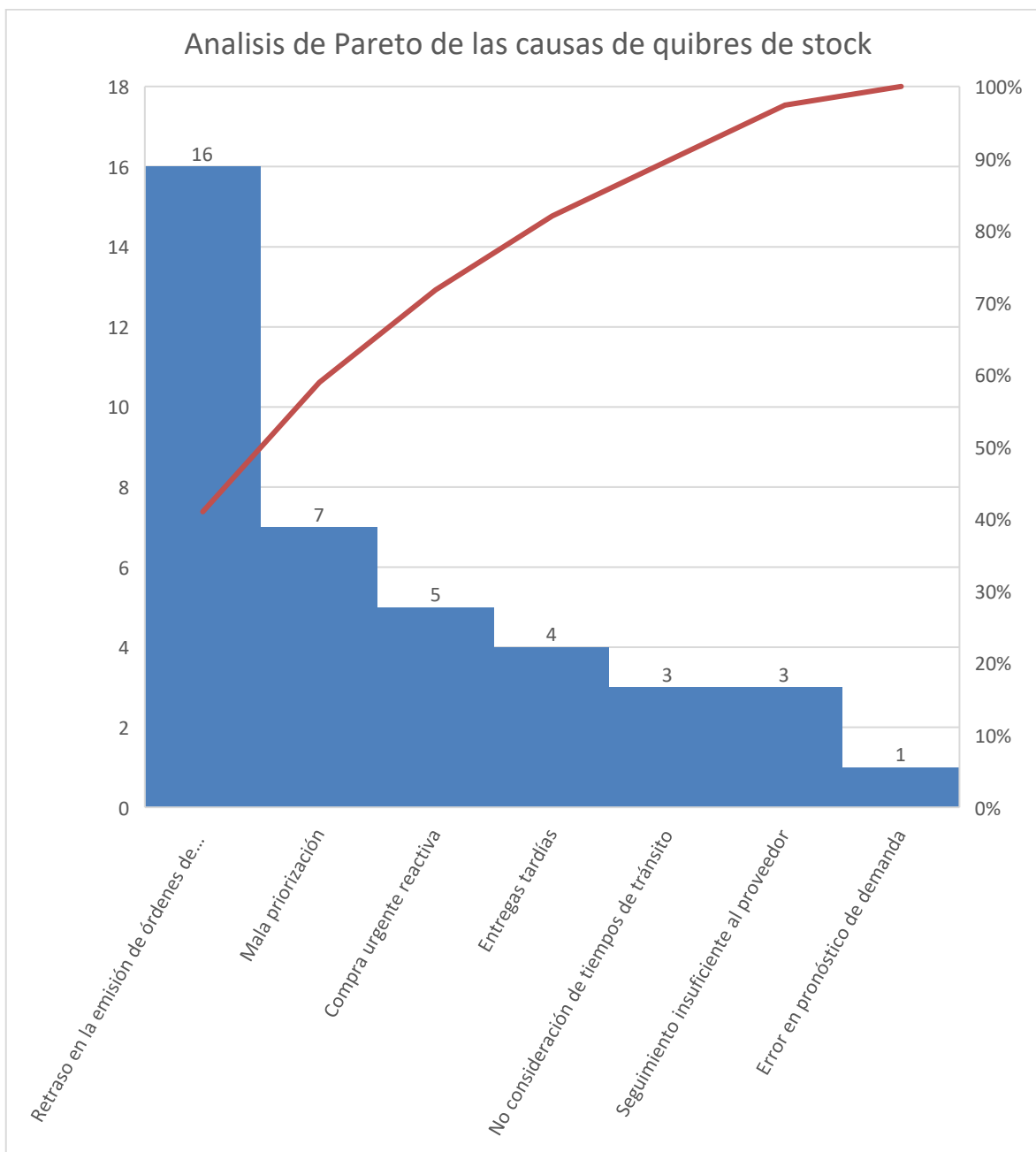
Finalmente, “Entregas tardías” (4 eventos, 10%) y “Error en pronóstico de demanda” (1 evento, 3%) completan el 100% de los casos. Si bien las entregas tardías presentan una frecuencia moderada, el error en el pronóstico de demanda tiene una incidencia baja, lo que indica que la variabilidad de la demanda no constituye el factor dominante del problema.

En conjunto, la tabla 9, anteriormente presentada, evidencia una concentración importante de los quiebres en causas vinculadas principalmente con la planificación,

priorización y ejecución del proceso de compras. La mayoría de los eventos no responden a factores externos incontrolables, sino a debilidades en la gestión interna del abastecimiento. Este comportamiento estructural confirma que el problema es recurrente y sistémico, lo cual justifica la necesidad de intervenir los procesos de planificación y control de inventarios como eje central del proyecto de mejora.

El análisis del diagrama de Pareto bajo el enfoque del principio 80/20 permite identificar el grado de concentración del problema de quiebres de stock y determinar cuáles causas generan el mayor impacto dentro del sistema. El principio 80/20 establece que, en muchos fenómenos organizacionales, aproximadamente el 80% de los efectos proviene de un porcentaje reducido de causas críticas. En este caso, el comportamiento observado en el gráfico a continuación (figura 8) confirma claramente esta lógica de concentración.

Figura 8. Análisis de Pareto de las causas de quiebres de stock.



Fuente: Recopilación de datos durante el proyecto en la planta de Cirtec Medical CR.

La primera causa, “Retraso en la emisión de órdenes de compra”, representa por sí sola el 41% del total de los quiebres. Esto significa que casi la mitad del problema se origina en una única fuente. Desde la perspectiva del 80/20, este nivel de concentración inicial ya es significativo, ya que una sola categoría explica una proporción considerable del efecto total.

Al incorporar la segunda causa, “Mala priorización” (18%), el porcentaje acumulado asciende a 59%. Es decir, únicamente dos causas explican más de la mitad de los eventos registrados. Esto demuestra que el problema no está distribuido de manera homogénea entre todas las categorías, sino que comienza a evidenciar una fuerte concentración en fallas específicas del proceso interno.

Cuando se añade la tercera causa, “Compra urgente reactiva” (13%), el acumulado alcanza el 72%. En este punto, solo tres causas (de un total de siete) explican casi tres cuartas partes de los quiebres. Esto refuerza la idea de que el sistema opera con debilidades estructurales en la planificación y ejecución del abastecimiento.

Finalmente, al incluir la cuarta causa, “No consideración de tiempos de tránsito” (8%), el porcentaje acumulado llega al 79%, aproximándose al umbral del 80% que establece el principio de Pareto. En términos prácticos, cuatro causas explican aproximadamente el 80% del problema total. Esto confirma que el fenómeno presenta una estructura típica del 80/20: un grupo reducido de factores críticos genera la mayor parte de los efectos negativos.

El análisis permite concluir que la mayoría de los quiebres no responden a causas dispersas o independientes, sino a un núcleo concentrado de fallas relacionadas

principalmente con la gestión interna del proceso de compras, la priorización y la planificación logística. Por el contrario, las causas restantes (seguimiento insuficiente al proveedor, entregas tardías y error en pronóstico de demanda) tienen una contribución menor y no determinan el comportamiento global del problema.

Desde una perspectiva estratégica, el enfoque 80/20 indica que intervenir de manera prioritaria las primeras cuatro causas podría impactar potencialmente cerca del 80% de los quiebres registrados. Esto permite orientar los esfuerzos del proyecto hacia acciones de alto impacto, evitando dispersar recursos en factores secundarios. En consecuencia, el análisis del Pareto bajo el principio 80/20 no solo describe la distribución de las causas, sino que establece una base objetiva para la priorización y delimitación del alcance del proyecto en la etapa Definir. (Nota: puede observar el detalle de la recolección de datos en el anexo 2.)

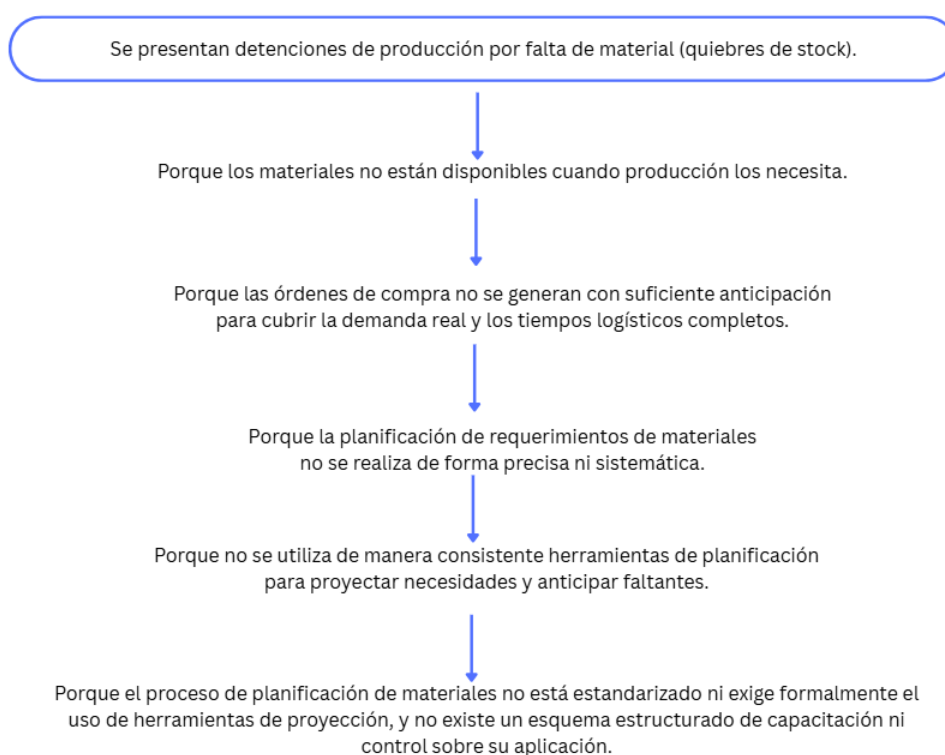
Por otra parte, con el propósito de profundizar en las causas que originan los quiebres de stock y las consecuentes detenciones de producción, se aplicó la herramienta de análisis de los cinco por qué. Esta metodología permite identificar de manera estructurada y progresiva los factores subyacentes que generan un problema, evitando enfocarse únicamente en sus manifestaciones superficiales.

A través de la formulación sucesiva de la pregunta “¿por qué ocurre esto?”, se exploran los distintos niveles del problema hasta llegar a su origen fundamental. Este enfoque facilita comprender no solo qué está fallando en el proceso, sino también por qué ocurre, lo cual resulta esencial para el diseño de soluciones efectivas y sostenibles en el tiempo.

En el contexto del presente proyecto, el análisis se orientó en identificar las causas que provocan la falta de disponibilidad de materiales en el momento requerido por producción, con el fin de establecer acciones correctivas dirigidas a la raíz del problema y no únicamente a sus efectos.

A continuación, en la figura 9 se presenta el análisis de los cinco por qué realizado.

Figura 9. Análisis de los cinco porqués



Fuente: Recopilación de datos durante el proyecto en la planta de Cirtec Medical CR.

La aplicación del análisis de los cinco por qué permitió evidenciar que los quiebres de stock no se originan únicamente por factores operativos inmediatos, sino por debilidades estructurales en la gestión de la planificación y el control del

abastecimiento de materiales. Aunque inicialmente el problema se manifiesta como una falta de disponibilidad de insumos en el momento requerido por producción, el análisis progresivo reveló que esta situación es consecuencia de deficiencias en el método de planificación y en la estandarización del proceso de seguimiento de inventarios críticos.

Uno de los hallazgos más relevantes es que el problema no radica exclusivamente en la gestión de compras ni en el desempeño del proveedor, sino en la ausencia de un sistema estandarizado y consistente para anticipar los quiebres de stock con suficiente antelación. Esto implica que la organización opera bajo un enfoque reactivo, donde las acciones correctivas se ejecutan una vez que el riesgo de desabastecimiento ya es inminente o se ha materializado, en lugar de prevenirlo mediante herramientas de control y proyección confiables.

Asimismo, el análisis evidenció que la falta de uso o adopción adecuada de herramientas de planificación existentes (como sistemas internos o metodologías de control) está asociada a deficiencias en la capacitación, estandarización y seguimiento del proceso. Esto confirma que la causa raíz se ubica principalmente en el componente metodológico del sistema de gestión, más que en factores técnicos, logísticos o humanos aislados.

Otro aspecto crítico identificado es la subestimación de los tiempos reales del proceso de abastecimiento. La planificación del suministro no considera de manera integral todos los componentes del lead time total, incluyendo tiempos de tránsito, recepción, inspección de calidad y liberación del material. Esta visión parcial del

tiempo necesario para disponer de los insumos genera desfases entre la necesidad real de producción y la disponibilidad efectiva del material, incrementando la probabilidad de interrupciones operativas.

Desde una perspectiva sistémica, los resultados del análisis reflejan una debilidad en el control preventivo del proceso. La ausencia de monitoreo continuo, indicadores de alerta temprana y herramientas de proyección estructuradas impide detectar tendencias de consumo, variaciones en la demanda o desviaciones en los tiempos de suministro. Como consecuencia, la organización pierde capacidad de anticipación y respuesta oportuna ante condiciones que podrían gestionarse de forma preventiva.

En términos organizacionales, esto también sugiere la necesidad de fortalecer la disciplina operativa en el uso de herramientas de planificación, así como la formalización de responsabilidades y mecanismos de seguimiento. Cuando los procesos no están estandarizados o no se controlan de manera sistemática, la gestión del abastecimiento depende excesivamente de acciones individuales o reactivas, lo que incrementa la variabilidad del desempeño del sistema.

En síntesis, el análisis de los cinco por qué permitió concluir que los quiebres de stock son el resultado de una falla estructural en el método de planificación y control del abastecimiento, caracterizada por:

- Ausencia de un sistema preventivo de proyección de faltantes,
- Uso inconsistente de herramientas de control,

- Falta de estandarización del proceso de seguimiento,
- Subestimación del lead time total del suministro,
- Falta de monitoreo y anticipación operativa.

Estos hallazgos justifican plenamente la implementación de una herramienta estructurada de control y proyección de cortos, ya que la solución debe enfocarse en fortalecer el sistema de planificación y monitoreo del abastecimiento para asegurar la disponibilidad oportuna de materiales y prevenir interrupciones en la producción de manera sostenible en el tiempo.

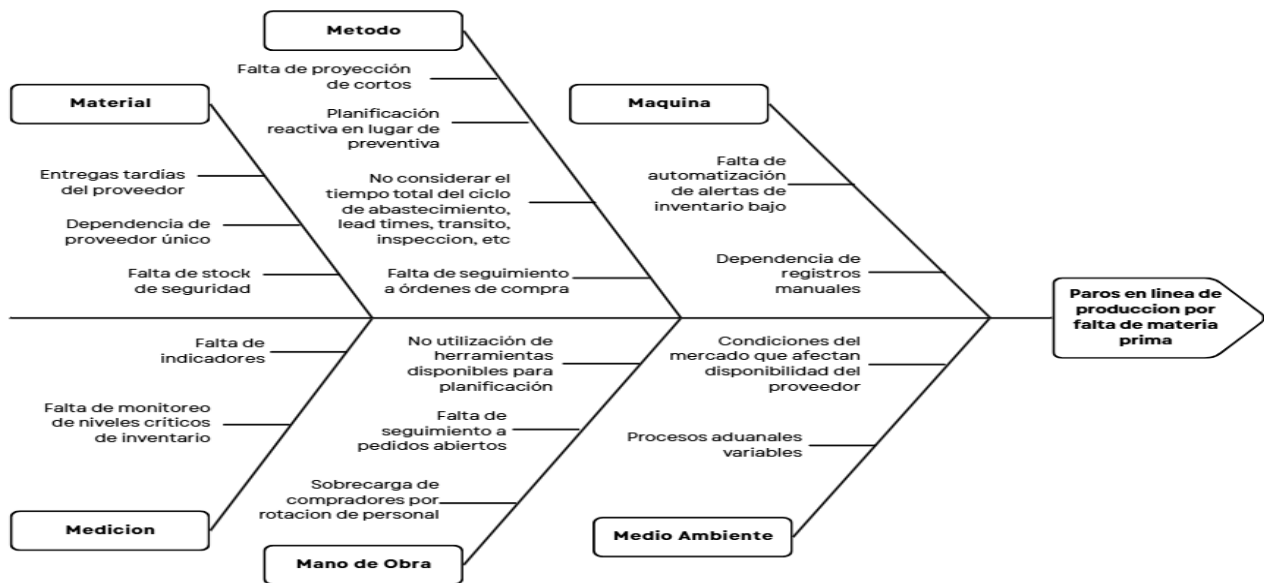
4.5. Ishikawa

Con el fin de identificar de manera estructurada las causas que generan los paros en la línea de producción por falta de materia prima, se elaboró un diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto (Figura 10). Esta herramienta permitió organizar y clasificar los factores que influyen en el problema bajo seis categorías principales: material, método, máquina, medición, mano de obra y medio ambiente.

Este análisis se desarrolló a partir de los datos recopilados durante el proyecto y se complementó con la aplicación de la metodología de gemba walk, mediante visitas constantes a los procesos en tiempo real. Estas observaciones en campo permitieron validar la información, comprender mejor la dinámica operativa y detectar situaciones que no siempre son evidentes en los registros, como retrasos en actividades, falta de seguimiento o variaciones en la ejecución de los procesos.

A través de este enfoque combinado, se logró visualizar de forma integral cómo diferentes elementos del proceso de abastecimiento, control y planificación interactúan entre sí y contribuyen al desabastecimiento de materiales. De esta manera, el diagrama (Figura 10) facilita la comprensión del problema y sirve como base para la identificación de causas raíz y la posterior definición de acciones correctivas orientadas a prevenir la ocurrencia de quiebres de stock y paros productivos.

Figura 10. Análisis de Ishikawa de los paros en las líneas productivas de catéter.



Fuente: Recopilación de datos durante el proyecto en la planta de Cirtec Medical CR y gemba walk.

El diagrama de Ishikawa evidencia que los paros en la línea de producción por falta de materia prima no son consecuencia de una sola causa aislada, sino del efecto combinado de múltiples factores que interactúan entre sí a lo largo de todo el proceso de abastecimiento. Esto revela que el problema está relacionado con la forma en que funciona el sistema completo de planificación, control y gestión de inventarios.

a. Material

En la dimensión de material, se identificaron varios factores que evidencian una alta vulnerabilidad del sistema de abastecimiento ante eventos externos que afectan la disponibilidad de materia prima. En primer lugar, las entregas tardías por parte del proveedor representan una de las principales causas que pueden provocar interrupciones en el flujo normal de producción. Cuando los materiales no llegan en la fecha prevista, el inventario disponible en planta se reduce hasta agotarse, lo que eventualmente genera quiebres de stock y, en consecuencia, paros en la línea de producción. Este tipo de retrasos puede estar asociado a problemas logísticos, demoras en transporte, procesos de despacho del proveedor o variaciones en la cadena de suministro.

A esta situación se suma la dependencia de un proveedor único para ciertos materiales críticos, lo cual constituye un riesgo estructural dentro del sistema de abastecimiento. Esta condición no responde a una restricción técnica o de especificaciones del material, sino a la falta de desarrollo de una base de

proveedores alternativos que permita diversificar el suministro. En la práctica, la organización ha operado históricamente con una única fuente de abastecimiento, lo que limita su capacidad de respuesta ante contingencias.

Adicionalmente, estos proveedores se encuentran ubicados en el extranjero, lo que implica tiempos de abastecimiento elevados. Una vez colocada la orden de compra, el lead time pueden variar entre dos y tres meses, dependiendo de la capacidad de producción del proveedor. A esto se suman los tiempos de transporte internacional, que en el caso de la empresa se realizan vía aérea mediante operadores logísticos como FedEx, así como los tiempos asociados a procesos aduaneros y de recepción.

Estas condiciones incrementan la exposición al riesgo, ya que cualquier retraso en la producción del proveedor, en el transporte o en la liberación aduanera impacta directamente la disponibilidad de materiales en planta. En este contexto, la falta de diversificación en la base de proveedores limita la flexibilidad del sistema de abastecimiento y aumenta significativamente la probabilidad de quiebres de stock.

Otro aspecto relevante identificado en esta dimensión es la ausencia de stock de seguridad para los materiales utilizados en las líneas de producción. El stock de seguridad funciona como un mecanismo de protección dentro de la gestión de inventarios, ya que permite absorber variaciones o incertidumbres inherentes al proceso de abastecimiento. Estas variaciones pueden surgir por múltiples factores, como retrasos en el transporte, tiempos adicionales en procesos de inspección o liberación de materiales, fluctuaciones en la demanda o cambios inesperados en los

tiempos de reposición. Sin embargo, al no contar con este margen de protección, el sistema de inventarios opera prácticamente sin amortiguadores, lo que aumenta la probabilidad de que cualquier desviación en el suministro se traduzca directamente en un quiebre de stock.

Desde una perspectiva operativa, lo anterior sugiere que el modelo actual de gestión de inventarios está enfocado principalmente en la optimización de los niveles de inventario, priorizando la eficiencia inmediata del sistema. No obstante, este enfoque puede generar un efecto contrario cuando no se consideran adecuadamente los niveles de incertidumbre presentes en la cadena de suministro. En estas condiciones, el sistema tiende a operar “al límite”, es decir, con inventarios mínimos que no ofrecen suficiente capacidad de respuesta ante imprevistos logísticos o variaciones en la demanda.

Es importante destacar que esta situación no responde a una limitación de espacio físico dentro de la organización, ya que la empresa cuenta con capacidad suficiente de almacenamiento para mantener niveles de inventario más robustos. Por el contrario, el problema se origina en un enfoque de planificación que prioriza la reducción de inventario sin considerar de manera integral los riesgos asociados al abastecimiento, lo cual incrementa la vulnerabilidad del sistema ante posibles interrupciones en la cadena de suministro.

Como consecuencia, el sistema de abastecimiento se vuelve estructuralmente frágil, ya que pequeñas desviaciones en los tiempos de entrega o en la

disponibilidad de materiales pueden desencadenar impactos significativos en la operación. Esta fragilidad se refleja en la generación de quiebres de stock que terminan afectando directamente la continuidad del proceso productivo. Por lo tanto, los resultados evidencian la necesidad de fortalecer la estrategia de gestión de inventarios mediante la incorporación de mecanismos que permitan aumentar la resiliencia del sistema, tales como la definición de niveles adecuados de stock de seguridad, la evaluación de proveedores alternativos y el monitoreo continuo del desempeño de los proveedores en términos de cumplimiento de tiempos de entrega.

b. Método

En la dimensión de método, el análisis evidencia que esta categoría representa uno de los factores más críticos dentro del problema estudiado y probablemente constituye la causa principal de los quiebres de stock que afectan la continuidad de la producción. Esto se debe a que las prácticas actuales de planificación y gestión del abastecimiento presentan un enfoque predominantemente reactivo, en lugar de preventivo o anticipativo. En otras palabras, muchas de las decisiones relacionadas con la reposición de materiales se toman cuando el inventario disponible ya se encuentra en niveles muy bajos o cuando el riesgo de desabastecimiento es inminente. Este tipo de gestión limita la capacidad de anticiparse a los problemas y aumenta la probabilidad de que se produzcan quiebres de stock.

Un sistema de abastecimiento eficiente debe basarse en la anticipación y la planificación, utilizando información sobre el consumo histórico de materiales, la demanda proyectada y los tiempos de reposición para prever cuándo será necesario

realizar nuevas órdenes de compra. Sin embargo, cuando la planificación se realiza de manera reactiva, el proceso se vuelve dependiente de la urgencia del momento, lo que suele derivar en compras de emergencia, retrasos en el suministro y mayor presión sobre las operaciones logísticas. Esta forma de gestión no solo incrementa el riesgo de interrupciones en la producción, sino que también reduce la eficiencia general del proceso de abastecimiento.

Otro aspecto crítico identificado en esta dimensión es que no se considera adecuadamente el tiempo total del ciclo de abastecimiento al momento de planificar las reposiciones de inventario. En la práctica, el proceso de adquisición de materiales no se limita únicamente a la colocación de una orden de compra. Por el contrario, involucra múltiples etapas que deben ser tomadas en cuenta para estimar correctamente el tiempo real necesario (ver diagrama de flujo de proceso en la figura 6) para disponer del material en planta. Estas etapas incluyen la aprobación interna de la orden de compra, la programación o fabricación del material por parte del proveedor, el tiempo de transporte internacional o local, los procesos de recepción en la empresa, la inspección de calidad y, finalmente, la liberación del material para su uso en producción. Cuando la planificación considera solo una parte de este proceso y no contempla todas las etapas involucradas, el resultado es una estimación incompleta del tiempo de reposición, lo que provoca que los materiales lleguen más tarde de lo esperado y se generen quiebres de stock.

Adicionalmente, el análisis revela una falta de proyección sistemática de posibles faltantes de inventario, lo cual dificulta identificar con anticipación los materiales que podrían agotarse en el corto o mediano plazo. Sin una proyección clara de los

posibles cortos, el sistema pierde visibilidad sobre los riesgos futuros y la gestión del abastecimiento se vuelve dependiente de la revisión manual o de la reacción ante situaciones urgentes. Esta falta de previsión limita significativamente la capacidad del área de compras y planificación para actuar de manera oportuna.

A lo descrito anteriormente se les suma el escaso seguimiento a las órdenes de compra una vez que han sido colocadas. El monitoreo continuo de las órdenes abiertas es una práctica fundamental dentro de la gestión de abastecimiento, ya que permite verificar si los proveedores están cumpliendo con los plazos establecidos y detectar posibles retrasos antes de que impacten la operación. Sin embargo, cuando este seguimiento es insuficiente o se realiza de manera irregular, los retrasos en la cadena de suministro pueden pasar desapercibidos hasta que el material debería estar disponible en planta. En ese momento, las opciones de reacción son limitadas y el riesgo de interrupciones en la producción aumenta considerablemente.

En conjunto, estos factores indican que el método actual de gestión del abastecimiento carece de un enfoque integral de planificación, monitoreo y control. La ausencia de mecanismos sistemáticos para anticipar faltantes, considerar el ciclo completo de abastecimiento y realizar un seguimiento continuo a las órdenes de compra reduce la capacidad del sistema para responder de manera eficiente ante las variaciones normales de la cadena de suministro. Como resultado, el proceso se vuelve altamente dependiente de acciones correctivas de último momento, lo que incrementa la probabilidad de quiebres de stock y paros en la línea de producción.

En síntesis, el análisis de esta categoría demuestra que el método actual no está diseñado para anticipar, monitorear y controlar de forma integral el proceso de abastecimiento, lo que lo convierte en un factor determinante dentro de la generación de los problemas observados. Por esta razón, cualquier estrategia de mejora orientada a reducir los quiebres de stock deberá enfocarse en fortalecer los mecanismos de planificación preventiva, mejorar la proyección de necesidades de materiales y establecer rutinas de seguimiento sistemático a las órdenes de compra, con el fin de aumentar la visibilidad y el control sobre el flujo de abastecimiento.

c. Máquina

En la dimensión de máquina, entendida en este contexto como la infraestructura tecnológica y los sistemas que apoyan la gestión del inventario y el abastecimiento, se identificaron varias limitaciones que afectan la capacidad del sistema para prevenir quiebres de stock. Estas limitaciones se relacionan principalmente con la falta de automatización en los mecanismos de monitoreo y alerta de los niveles de inventario, lo cual dificulta detectar oportunamente situaciones de riesgo antes de que se conviertan en problemas operativos.

Uno de los principales aspectos observados es la ausencia de alertas automáticas que notifiquen cuando los niveles de inventario se aproximan a un punto crítico. En un sistema de gestión de inventarios eficiente, las herramientas tecnológicas suelen generar alertas automáticas cuando el inventario disponible se acerca al punto de

reposición o al stock de seguridad establecido. Estas alertas permiten que los responsables del abastecimiento puedan anticipar la necesidad de reposición de materiales y tomar decisiones oportunas antes de que el inventario se agote. Sin embargo, cuando este tipo de mecanismos no están implementados o no funcionan de manera adecuada, la detección de posibles faltantes depende casi exclusivamente de la revisión manual de los niveles de inventario.

Esta dependencia del monitoreo manual introduce varios riesgos dentro del proceso. En primer lugar, incrementa la probabilidad de errores humanos, ya que el seguimiento constante de múltiples materiales y niveles de inventario puede resultar complejo y demandar una gran cantidad de tiempo y atención. Además, cuando el monitoreo se realiza de forma manual, existe la posibilidad de que ciertos materiales no sean revisados con la frecuencia necesaria o que los cambios en los niveles de inventario no sean detectados a tiempo. Como resultado, la reacción ante niveles críticos de inventario puede retrasarse, aumentando la probabilidad de que se produzcan quiebres de stock.

Otro aspecto importante identificado es la dependencia de registros manuales para el control y seguimiento de la información relacionada con el inventario y las órdenes de compra. Los sistemas basados en registros manuales suelen presentar varias desventajas en comparación con los sistemas automatizados. Entre ellas se encuentran la mayor probabilidad de errores en el registro de datos, la dificultad para mantener la información actualizada en tiempo real y la limitación para consolidar grandes volúmenes de información de manera eficiente. Además, los registros manuales pueden dificultar la trazabilidad de los procesos y complicar el

acceso a la información necesaria para realizar análisis más profundos sobre el comportamiento del inventario.

En conjunto, estos elementos indican que la infraestructura tecnológica actual no proporciona un soporte suficiente para una gestión preventiva del inventario. La falta de automatización en el monitoreo de niveles de inventario y la dependencia de procesos manuales reducen la visibilidad sobre el estado real de los materiales y limitan la capacidad del sistema para anticiparse a posibles faltantes. Como consecuencia, el proceso de abastecimiento tiende a reaccionar ante los problemas una vez que estos ya se han manifestado, en lugar de prevenirlos. Las limitaciones tecnológicas identificadas dentro de esta dimensión evidencian la necesidad de fortalecer el soporte del sistema mediante la implementación de herramientas que permitan automatizar el monitoreo del inventario, generar alertas tempranas y mejorar la integración de la información. Esto contribuiría a aumentar la capacidad de anticipación del sistema de abastecimiento y reducir el riesgo de quiebres de stock que afectan la continuidad de la producción.

d. Medición

En la dimensión de medición, el análisis evidencia debilidades importantes relacionadas con la falta de visibilidad y control sobre el comportamiento del proceso de abastecimiento. La medición es un elemento fundamental dentro de cualquier sistema de gestión, ya que permite conocer cómo está funcionando el proceso, identificar desviaciones y tomar decisiones basadas en información objetiva. Sin

embargo, en este caso se observa que no existen indicadores claros ni un sistema estructurado de monitoreo de los niveles críticos de inventario, lo que dificulta evaluar de manera precisa el desempeño del proceso de abastecimiento.

Uno de los principales problemas identificados es la ausencia de indicadores de desempeño relacionados con la gestión de inventarios y abastecimiento. Los indicadores permiten medir aspectos clave del proceso, como la frecuencia de quiebres de stock, el tiempo promedio de reposición de materiales, el cumplimiento de fechas de entrega por parte de los proveedores o el nivel de disponibilidad de inventario. Cuando este tipo de métricas no se encuentran definidas o no se monitorean de forma periódica, la organización pierde una herramienta fundamental para evaluar si el sistema está funcionando de manera eficiente o si existen áreas que requieren mejoras.

Además, la falta de indicadores también limita la capacidad de identificar patrones o tendencias en el comportamiento del inventario. Por ejemplo, si se contara con registros sistemáticos sobre la frecuencia de quiebres de stock o sobre los materiales que presentan mayores problemas de abastecimiento, sería posible detectar cuáles son los productos más críticos y enfocar los esfuerzos de mejora en esas áreas específicas. Sin embargo, cuando la información no se mide ni se registra de forma estructurada, este tipo de análisis se vuelve mucho más difícil, y muchas decisiones terminan basándose en percepciones o experiencias individuales en lugar de datos concretos.

Otro aspecto relevante dentro de esta categoría es la falta de monitoreo continuo de los niveles críticos de inventario. En un sistema de gestión de inventarios eficiente, es importante contar con mecanismos que permitan revisar de forma periódica el estado de los materiales y detectar con anticipación cuando el inventario se acerca a niveles que podrían generar riesgos de desabastecimiento. Sin este tipo de monitoreo, los posibles faltantes pueden pasar desapercibidos hasta que el material se encuentra prácticamente agotado, lo que reduce el tiempo disponible para realizar acciones correctivas.

En este sentido, se confirma un principio ampliamente reconocido en la gestión de procesos, no es posible controlar eficazmente aquello que no se mide. Cuando un proceso carece de indicadores y de mecanismos de monitoreo adecuados, las desviaciones pueden pasar desapercibidas durante largos periodos de tiempo, hasta que finalmente se traducen en problemas operativos visibles, como los quiebres de stock o los paros en la línea de producción.

En conclusión, el análisis de esta dimensión pone en evidencia que la ausencia de un sistema de medición estructurado reduce significativamente la capacidad de la organización para anticipar problemas y gestionar el abastecimiento de manera preventiva. Por esta razón, resulta fundamental fortalecer esta área mediante la definición de indicadores clave de desempeño, el monitoreo periódico de los niveles de inventario y el registro sistemático de eventos relacionados con el abastecimiento. Estas acciones permitirían mejorar la visibilidad del proceso, facilitar la toma de decisiones basada en datos y contribuir a la reducción de quiebres de stock en la operación.

e. Mano de obra

En la dimensión de mano de obra, el análisis permite identificar que el factor humano tiene una influencia importante en la ejecución, control y seguimiento de las actividades relacionadas con el proceso de abastecimiento. Aunque los sistemas y métodos de trabajo son elementos clave para el funcionamiento del proceso, su efectividad depende en gran medida de cómo son utilizados y supervisados por las personas responsables de la gestión del inventario y las órdenes de compra.

Uno de los aspectos observados en esta categoría es la no utilización de algunas herramientas disponibles para la planificación y seguimiento del abastecimiento. Esto puede indicar la existencia de brechas en la capacitación del personal, en la estandarización de los procesos o en la adopción de las tecnologías que la organización tiene a su disposición. Cuando las herramientas diseñadas para apoyar la planificación no se utilizan de manera consistente, se pierde una oportunidad importante para mejorar la visibilidad del proceso y anticipar posibles problemas relacionados con el inventario.

En muchos casos, la falta de uso de estas herramientas no necesariamente se debe a una ausencia de recursos, sino a factores como la falta de formación específica sobre su funcionamiento, la ausencia de procedimientos claros que establezcan su uso obligatorio o incluso la preferencia por métodos de trabajo tradicionales basados en la experiencia individual. Esta situación puede provocar que parte de la información disponible no sea aprovechada adecuadamente, lo que limita la

capacidad del equipo para tomar decisiones informadas y anticipar riesgos en el abastecimiento de materiales.

Otro elemento identificado en esta dimensión es la falta de seguimiento sistemático a las órdenes de compra una vez que han sido emitidas. El seguimiento a los pedidos abiertos es una actividad clave dentro de la gestión de abastecimiento, ya que permite verificar si los proveedores están cumpliendo con los plazos establecidos y detectar posibles retrasos antes de que afecten la disponibilidad de materiales en planta. Sin embargo, cuando este seguimiento no se realiza de forma constante o estructurada, los retrasos pueden pasar desapercibidos durante largos periodos de tiempo. Como consecuencia, la organización pierde la oportunidad de tomar acciones preventivas, como contactar al proveedor, ajustar la planificación de producción o buscar alternativas de suministro.

Adicionalmente, el análisis sugiere que la carga de trabajo del personal involucrado en el proceso de compras y abastecimiento puede influir en la efectividad del monitoreo del inventario. La rotación de personal dentro del área puede generar periodos de adaptación y aprendizaje que afectan temporalmente la continuidad de las actividades de seguimiento y control. Cuando los colaboradores deben asumir nuevas responsabilidades o adaptarse a cambios en el equipo de trabajo, es posible que algunas tareas críticas, como el monitoreo constante de inventarios o la revisión de órdenes abiertas, no se realicen con la misma frecuencia o profundidad que se requiere.

Esta sobrecarga de trabajo, combinada con los procesos manuales y la falta de automatización identificada en otras dimensiones, puede generar omisiones involuntarias en el seguimiento de materiales o en la detección de posibles riesgos de desabastecimiento. En consecuencia, la eficiencia del monitoreo del proceso se ve reducida, lo que aumenta la probabilidad de que los problemas se identifiquen únicamente cuando ya han generado un impacto en la producción.

Es importante señalar que, dentro de esta categoría, el problema no se relaciona únicamente con el conocimiento o las capacidades individuales del personal, sino también con factores organizativos y estructurales, como la distribución de responsabilidades, la claridad de los procedimientos y la carga de trabajo asignada a cada colaborador. Cuando estas condiciones no están adecuadamente definidas o equilibradas, el proceso puede volverse dependiente del esfuerzo individual de los trabajadores, lo cual dificulta mantener un control consistente y estandarizado del abastecimiento.

El análisis de la dimensión de mano de obra indica que la gestión del factor humano juega un papel importante en la efectividad del proceso de abastecimiento, ya que influye directamente en la utilización de herramientas de planificación, el seguimiento de órdenes de compra y el monitoreo de los niveles de inventario. Por esta razón, resulta necesario fortalecer aspectos como la capacitación del personal, la estandarización de los procedimientos y la adecuada distribución de la carga de trabajo, con el fin de mejorar el control del proceso y reducir el riesgo de quiebres de stock que afectan la continuidad de la producción.

f. Medio ambiente

En la dimensión de medio ambiente, el análisis se enfoca en aquellos factores externos al control directo de la organización que pueden influir en la disponibilidad de los materiales y, en consecuencia, en la continuidad del proceso productivo. A diferencia de otras categorías analizadas anteriormente, los elementos que componen esta dimensión no dependen directamente de las decisiones internas de la empresa, sino de condiciones del entorno logístico, comercial y regulatorio en el que opera la cadena de suministro.

Uno de los factores más relevantes dentro de esta categoría es la variabilidad en las condiciones del mercado y en la disponibilidad de los proveedores. Los proveedores pueden enfrentar situaciones que afectan su capacidad de cumplir con los tiempos de entrega establecidos, como problemas en su propia producción, escasez de materias primas, cambios en la demanda global o limitaciones en su capacidad logística. Cuando ocurren este tipo de situaciones, los tiempos de entrega pueden extenderse más allá de lo previsto, generando retrasos en el abastecimiento de materiales necesarios para la producción.

Otro elemento importante es la variabilidad en los procesos aduanales, especialmente cuando los materiales provienen de proveedores internacionales. El proceso de importación puede verse afectado por diferentes factores, como revisiones adicionales en aduanas, cambios en regulaciones, procesos administrativos más largos de lo esperado o congestión en los puntos de ingreso al país. Estas situaciones pueden extender el tiempo de tránsito de los materiales de

manera impredecible, incluso cuando el proveedor ha despachado el pedido en la fecha acordada.

Este tipo de factores externos introduce un nivel adicional de incertidumbre dentro del proceso de abastecimiento, ya que los tiempos reales de entrega pueden variar respecto a los tiempos planificados inicialmente. En este sentido, aunque la empresa no tiene control directo sobre estas condiciones externas, sí es posible gestionar su impacto mediante una planificación adecuada que contemple este tipo de variaciones.

El problema surge cuando el sistema interno de planificación no considera adecuadamente estas fuentes de variabilidad externa. Si los tiempos de reposición utilizados para planificar el abastecimiento se basan únicamente en condiciones ideales sin contemplar posibles retrasos logísticos o administrativos, el sistema pierde capacidad de adaptación frente a cambios en el entorno. Como resultado, variaciones que forman parte normal de los procesos de importación o del funcionamiento de la cadena de suministro pueden terminar generando interrupciones en la producción.

En consecuencia, el análisis de esta dimensión evidencia que los factores externos del entorno incrementan la incertidumbre del proceso de abastecimiento, y cuando no se incorporan adecuadamente en la planificación del inventario, pueden amplificar el riesgo de quiebres de stock. Por esta razón, resulta fundamental que el sistema de gestión de inventarios considere estos elementos dentro de sus criterios de planificación, incorporando márgenes de seguridad y estrategias de

mitigación que permitan mantener la estabilidad operativa incluso ante variaciones en las condiciones del entorno.

En síntesis, el análisis por categorías permite comprender que los quiebres de stock observados no se originan en una única causa aislada, sino en la interacción de múltiples factores que afectan el funcionamiento del sistema de abastecimiento. Las diferentes dimensiones analizadas evidencian debilidades relacionadas con la vulnerabilidad del suministro de materiales, las limitaciones tecnológicas del sistema de monitoreo, la ausencia de medición estructurada del desempeño, las condiciones operativas del personal encargado del proceso y la influencia de factores externos propios del entorno logístico y comercial. Cada uno de estos elementos contribuye de manera directa o indirecta a incrementar el riesgo de desabastecimiento y, en consecuencia, a generar interrupciones en la continuidad de la producción.

No obstante, al analizar la forma en que estos factores interactúan dentro del sistema, se identifica que la mayor concentración del problema se encuentra en la dimensión de método. Esto se debe a que el método representa la forma en que se organiza, planifica y controla el proceso de abastecimiento, y por lo tanto actúa como el elemento que define el funcionamiento de los demás componentes del sistema. Cuando el método de planificación no está diseñado para anticipar necesidades de materiales, monitorear continuamente el inventario y considerar el ciclo completo de abastecimiento, el proceso pierde capacidad de prevención y se vuelve dependiente de reacciones ante situaciones urgentes.

En este contexto, las debilidades identificadas en otras dimensiones tienden a amplificarse. Por ejemplo, la dependencia de un proveedor único o la variabilidad en los procesos logísticos del entorno se convierten en riesgos críticos cuando la planificación no incorpora márgenes de seguridad o análisis de contingencia. De manera similar, las limitaciones tecnológicas, como la falta de alertas automáticas o de herramientas de monitoreo, tienen un mayor impacto cuando el método de trabajo depende de revisiones manuales y no cuenta con procedimientos sistemáticos de control. Asimismo, las limitaciones en la medición del desempeño del proceso dificultan identificar oportunamente desviaciones que podrían corregirse antes de afectar la producción.

En consecuencia, cuando la planificación del abastecimiento no se desarrolla bajo un enfoque preventivo, cualquier debilidad presente en materiales, tecnología, medición, personal o entorno tiene una mayor probabilidad de transformarse en un paro de producción. Esto indica que el problema no se limita únicamente a la disponibilidad de materiales, sino que está relacionado con la forma en que el sistema de gestión del inventario está diseñado y operado.

Por lo tanto, el análisis realizado permite concluir que la causa raíz del problema se encuentra principalmente en las deficiencias del método de planificación y control del abastecimiento, ya que este determina la capacidad del sistema para anticipar riesgos, monitorear el comportamiento del inventario y responder de manera oportuna ante variaciones en la cadena de suministro.

4.6. Análisis de Correlación

Con el fin de comprender el impacto operativo de los quiebres de stock dentro del proceso productivo, se realizó un análisis de correlación entre el número total de paros de línea y la cantidad de horas improductivas generadas. Este análisis permite identificar si existe una relación directa entre la frecuencia de interrupciones en la producción y el tiempo en que los recursos productivos permanecen inactivos.

Tabla 10. Fuente de datos para el análisis de correlación entre paros de línea y horas improductivas.

Mes	Línea	# Paros	Horas improductivas		Costo Asociado
Enero	Línea 1	16	85	₡	3,876,000.00
Enero	Línea 2	3	16	₡	545,600.00
Enero	Línea 3	2	20	₡	728,000.00
Enero	Línea 4	4	29	₡	1,055,600.00
Febrero	Línea 1	5	31	₡	1,413,600.00
Febrero	Línea 2	1	8	₡	272,800.00
Febrero	Línea 3	1	8	₡	291,200.00
Febrero	Línea 4	2	15	₡	546,000.00
Marzo	Línea 1	3	12	₡	519,600.00
Marzo	Línea 2	0	0	₡	-
Marzo	Línea 3	1	8	₡	291,200.00
Marzo	Línea 4	1	10	₡	364,000.00

Fuente: Datos recopilados durante la ejecución del proyecto.

A partir de esta información, se procedió a realizar el análisis de correlación, cuyos resultados se presentan a continuación. Nota, para mayor detalle sobre la base de datos utilizada en el análisis, se recomienda consultar el Anexo 1, donde se presenta la información completa empleada para el cálculo de la correlación.

Cabe destacar, que para los resultados que se presentaran a continuación, fueron calculados con base a las siguientes formulas:

Formula de coeficiente de correlación (r de Pearson), la cual mide la fuerza y dirección de la relación entre dos variables:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Donde:

- $r \geq +1$ = correlación positiva fuerte
- $r = 0$ = no hay correlación
- $r \leq -1$ = correlación negativa fuerte

Además, tomando en cuenta la ecuación de la línea (recta de regresión):

$$y = mx + b$$

Donde:

m es la pendiente:

$$m = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

b es la intersección:

$$b = \bar{y} - m\bar{x}$$

Además, cabe destacar, que, durante el análisis de los quiebres de stock, se identificó que la Línea 1 presenta una participación significativamente mayor en comparación con el resto de las líneas, particularmente en el mes de enero. Este comportamiento genera un efecto de distorsión en los análisis agregados, tales como correlaciones, tendencias y promedios generales.

No obstante, este comportamiento no corresponde a un error en los datos ni a una anomalía aleatoria. Por el contrario, responde a una condición estructural del sistema de abastecimiento. Específicamente, múltiples números de parte (SKU) de la Línea 1 dependen de un mismo proveedor, lo que implica que una sola disrupción en el suministro puede impactar simultáneamente a varios componentes. En consecuencia, un único evento de falla se registra como múltiples quiebres de stock, incrementando artificialmente la frecuencia observada.

Debido a esta característica, los quiebres de la Línea 1 no deben interpretarse como eventos independientes, sino como manifestaciones repetidas de una misma causa raíz. Esto explica su comportamiento como valor atípico dentro de los análisis estadísticos realizados.

A pesar de que la Línea 1 introduce un sesgo en los resultados globales, no fue excluida del análisis, ya que representa una condición real y relevante del sistema. Su exclusión implicaría perder información crítica sobre un riesgo significativo en la cadena de suministro, particularmente asociado a la dependencia de un proveedor único.

En su lugar, se adoptó un enfoque complementario, evaluando tanto el sistema completo como escenarios donde se controla el efecto de la Línea 1, con el objetivo de obtener una interpretación más precisa del comportamiento general. Este enfoque permite diferenciar entre la variabilidad inherente del sistema y los efectos derivados de concentraciones de riesgo específicas.

En este sentido, la Línea 1 no constituye un error estadístico, sino un caso representativo de concentración de riesgo en la cadena de suministro, el cual debe ser gestionado estratégicamente en lugar de ser excluido del análisis.

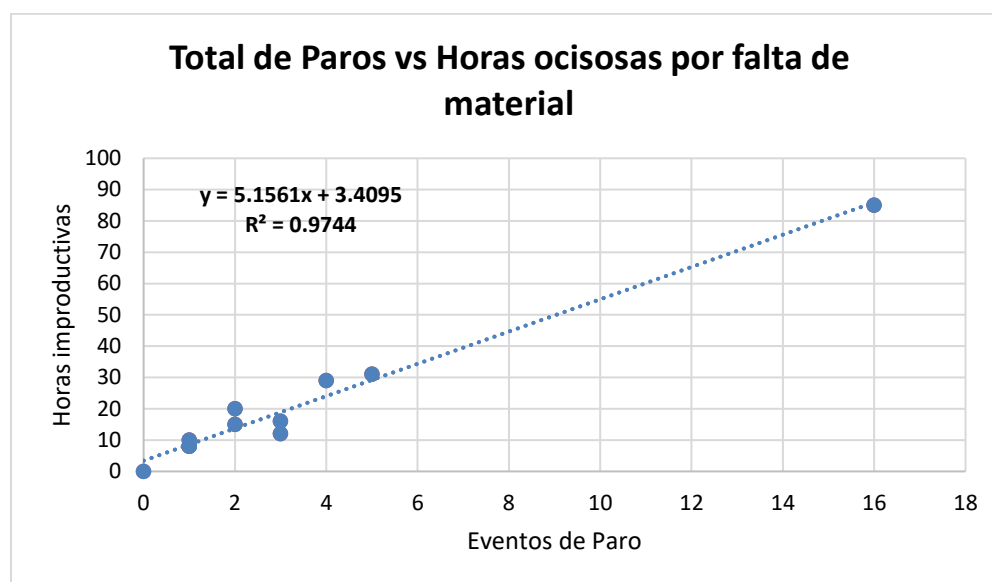
a. Relación entre número de paros por falta de material y horas improductivas

Para analizar la relación entre el número de paros por falta de material y las horas improductivas, se utilizaron los datos históricos correspondientes al periodo de estudio (enero a marzo 2026). En este análisis, se definió como variable independiente (eje X) el número de paros de línea registrados por falta de material, mientras que como variable dependiente (eje Y) se consideraron las horas hombre ociosas asociadas a dichos eventos.

A partir de esta información, se elaboró un gráfico de dispersión (Figura 11) que permitió visualizar el comportamiento de ambas variables y evaluar la existencia de una posible relación entre ellas. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación con el fin de cuantificar el grado de asociación, lo cual permitió determinar si un

incremento en la cantidad de paros se traduce en un aumento proporcional de las horas improductivas dentro del proceso productivo.

Figure 11. *Análisis de correlación entre el total de paros vs el total de horas improductivas por falta de material.*



Fuente: Datos recopilados durante la ejecución de proyecto en Cirtec Medical Costa Rica.

A partir de la aplicación de las fórmulas anteriormente presentadas, los resultados obtenidos (pueden ser observados en la figura 11) muestran una relación positiva fuerte entre ambas variables, lo cual se evidencia tanto en la distribución de los datos en el gráfico de dispersión como en la línea de tendencia calculada. La ecuación de la recta obtenida es:

$$y = 5,1561x + 3,4095$$

Donde la pendiente positiva (5,1561) indica que existe una relación directa entre las variables; es decir, a medida que aumenta el número de paros de línea, también aumentan las horas improductivas. Además, el coeficiente de correlación cumple con $R \geq 1$, lo que indica una correlación fuerte o alta. En cuanto a la dirección, la nube de puntos asciende de izquierda a derecha, confirmando que la correlación es positiva, ya que cuando una variable aumenta, la otra también lo hace.

Desde un punto de vista teórico, una relación positiva fuerte se caracteriza porque los puntos del gráfico de dispersión tienden a agruparse cerca de la línea de tendencia, mostrando baja dispersión alrededor de la misma. En este caso, los pares ordenados (x, y) presentan un comportamiento alineado, lo que indica una baja variabilidad no explicada y, por tanto, una alta consistencia en la relación entre ambas variables. Esto sugiere que el número de paros es un buen predictor de las horas improductivas dentro del sistema. De acuerdo con la teoría estadística, la correlación permite medir la fuerza de la relación lineal entre dos variables, mientras que la regresión expresa dicha relación mediante una ecuación que describe cómo cambia una variable en función de la otra, Bewick, V., Cheek, L., & Ball, J. (2003).

Adicionalmente, la pendiente de la recta permite interpretar el impacto operativo de esta relación, indicando que, en promedio, cada paro adicional genera aproximadamente 5 horas de improductividad. Este comportamiento es coherente con la teoría de gestión de operaciones, donde las interrupciones en procesos productivos generan pérdidas acumulativas de tiempo debido a detenciones, reinicios, ajustes y desbalance en las líneas de producción.

Adicionalmente, el coeficiente de determinación obtenido ($R^2 = 0,9744$) indica que aproximadamente el 97,44 % de la variación observada en las horas improductivas puede explicarse por el número de paros registrados. Este valor evidencia una relación estadística muy fuerte entre ambas variables, lo que confirma que los paros de línea constituyen un factor determinante en la generación de tiempos improductivos dentro del sistema productivo.

Asimismo, este resultado permite inferir un bajo nivel de incertidumbre en el modelo de regresión, ya que la alta proporción de variabilidad explicada implica que los datos presentan una mínima dispersión respecto a la línea de tendencia. En términos prácticos, esto significa que las predicciones realizadas a partir del número de paros son altamente confiables, dado que existe poca variación no explicada por el modelo. De acuerdo con la teoría estadística, el coeficiente de determinación (R^2) mide la proporción de la variabilidad total de la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión, por lo que valores cercanos a 1 indican un alto nivel de ajuste del modelo y, en consecuencia, una menor incertidumbre en las estimaciones realizadas (Bewick, Cheek & Ball, 2003).

Desde una perspectiva operativa, este resultado permite comprender que los paros de producción no solo representan eventos aislados dentro del proceso, sino que tienen un efecto acumulativo en la eficiencia del sistema. Cada interrupción implica detener el flujo productivo, reorganizar las actividades operativas y reiniciar el proceso una vez que el material se encuentra disponible, lo cual incrementa el tiempo total de inactividad de los recursos humanos y de la capacidad instalada.

Asimismo, la fuerte correlación observada sugiere que la reducción en la frecuencia de los paros podría generar una disminución significativa en las horas ociosas por falta de material, lo que contribuiría a mejorar el aprovechamiento de los recursos y la eficiencia del proceso productivo. En este sentido, el análisis confirma que los quiebres de stock y la consecuente falta de materiales tienen un impacto directo en el desempeño operativo de la organización, ya que provocan interrupciones que se traducen en tiempos de inactividad prolongados.

En conclusión, los resultados del análisis evidencian que existe una relación directa y altamente significativa entre el número de paros de línea y las horas improductivas generadas. Esto refuerza la importancia de implementar mecanismos de planificación y control del abastecimiento que permitan prevenir quiebres de stock, reducir las interrupciones en la producción y mejorar la continuidad operativa del sistema.

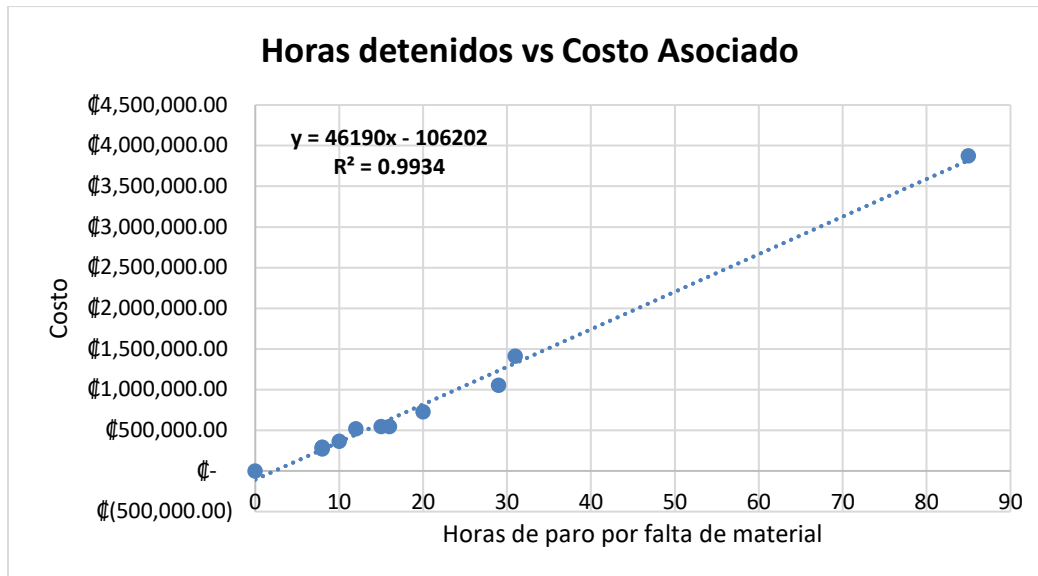
b. Relación entre horas ociosas por falta de material y costos directos de mano de obra asociado

Con el propósito de analizar el impacto económico generado por los paros de línea en el proceso productivo, se realizó un análisis de correlación entre la cantidad de horas improductivas registradas por falta de material y el costo directo de mano de obra asociado a dichas interrupciones. Este análisis permite comprender cómo el tiempo en que la producción permanece detenida se traduce en pérdidas económicas para la organización.

A continuación, se muestra la figura 11, donde se ilustra la relación entre el total de horas detenidas por falta de material (eje X) y el costo directo de mano de obra asociado (eje Y).

El costo por mano de obra por hora de detención fue estimado considerando el salario por hora del personal directamente afectado por los paros de línea, incluyendo operarios y supervisores de producción. Esta aproximación permite cuantificar el impacto económico por mano de obra directo de las interrupciones en el proceso productivo. Si bien este cálculo no incorpora otros costos indirectos como uso de maquinaria, costos de oportunidad o penalizaciones por incumplimiento, proporciona una estimación conservadora y representativa del impacto económico asociado a los tiempos improductivos, permitiendo analizar la relación entre las variables de manera consistente.

Figura 12. Total de horas detenidos por falta de materiales vs costo de mano de obra asociado.



Fuente: Datos recopilados durante la ejecución de proyecto en Cirtec Medical Costa Rica.

El gráfico de dispersión obtenido muestra una relación positiva clara entre ambas variables, lo que indica que conforme aumentan las horas improductivas, también se incrementa el costo de mano de obra asociado para la empresa. Visualmente, se observa que los puntos del gráfico siguen una tendencia ascendente y se encuentran agrupados cerca de la línea de tendencia, lo cual evidencia un comportamiento consistente entre las variables y una baja dispersión de los datos.

La ecuación de la recta de tendencia obtenida es:

$$y = 46190x - 106202$$

Lo que sugiere que, en promedio, cada hora improductiva representa aproximadamente un costo de mano de obra adicional de ₡46 190 para la organización. Este valor refleja el impacto económico directo que tiene la inactividad del proceso productivo, considerando los costos de mano de obra asociados al personal operativo, supervisión, cargas sociales y otros recursos que continúan generando gasto aun cuando la producción se encuentra detenida.

Adicionalmente, el coeficiente de determinación obtenido ($R^2 = 0,9934$) indica que aproximadamente el 99,34 % de la variación observada en el costo de mano de obra asociado puede explicarse por la cantidad de horas improductivas registradas. Este resultado evidencia una relación estadística muy fuerte entre ambas variables, lo cual confirma que el tiempo de inactividad del sistema productivo constituye uno de los principales factores que determinan el impacto económico generado por los paros de línea. Asimismo, el alto valor de R^2 sugiere una baja incertidumbre en el modelo, ya que los datos presentan una mínima dispersión respecto a la línea de tendencia, lo que refuerza la confiabilidad de las estimaciones realizadas

Desde una perspectiva operativa, estos resultados permiten comprender que cada interrupción en la producción no solo afecta el flujo normal del proceso, sino que también genera costos de mano de obra significativos para la organización. Durante los periodos de paro, el personal continúa en su jornada laboral y los recursos productivos permanecen disponibles, pero sin generar valor, lo que se traduce en una utilización ineficiente de la capacidad instalada y en un incremento de los costos operativos.

Asimismo, el análisis evidencia que pequeños incrementos en las horas improductivas pueden generar aumentos considerables en el costo de la mano de obra total del problema, lo que resalta la importancia de minimizar las interrupciones en el proceso productivo. En este contexto, la reducción de los paros de línea mediante una mejor planificación del abastecimiento de materiales podría tener un impacto significativo en la disminución de los costos de mano de obra asociados a la inactividad.

En conclusión, los resultados del análisis confirman la existencia de una relación directa y altamente significativa entre las horas improductivas y el costo de mano de obra generado por los paros de línea. Esto demuestra que los quiebres de stock y la falta de materiales no solo afectan la continuidad operativa del proceso productivo, sino que también representan una fuente importante de pérdidas económicas para la organización.

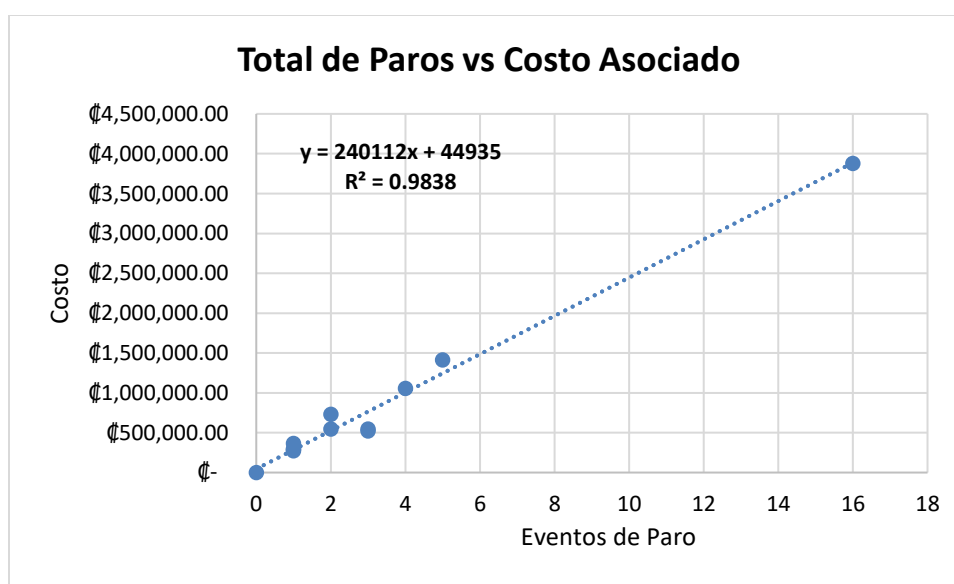
c. Relación entre número de paros por falta de material y costo asociado de mano de obra

Con el objetivo de evaluar el impacto económico que generan las interrupciones en el proceso productivo, se realizó un análisis de correlación entre el número total de paros de línea (eje X) y el costo económico asociado a dichos eventos (eje Y). Este análisis permite comprender cómo la frecuencia de las interrupciones operativas se traduce en pérdidas financieras para la organización. El costo asociado fue estimado utilizando el mismo criterio definido anteriormente, basado en los costos

directos de mano de obra del personal involucrado durante los periodos de inactividad.

A continuación, se muestra la figura 13, donde se ilustra la relación obtenida entre el total de eventos de paros por falta de material y el costo asociado a mano de obra.

Figura 13. Total, de eventos de paros por falta de materiales vs costo directo de mano de obra directa.



Fuente: Datos recopilados durante la ejecución de proyecto en Cirtec Medical Costa Rica.

El gráfico de dispersión muestra una relación positiva clara entre el número de paros registrados y el costo asociado a mano de obra directa, lo que indica que conforme aumenta la frecuencia de las interrupciones en la línea de producción, también se incrementa el impacto económico para la empresa. Visualmente, se observa que

los pares ordenados (x, y) presentan una tendencia ascendente y se distribuyen de manera cercana a la línea de regresión, lo que evidencia una relación consistente entre ambas variables y una baja dispersión de los datos.

En particular, se puede notar que para valores bajos de paros (entre 1 y 5 eventos), los costos asociados se mantienen en rangos menores, mientras que a medida que aumenta el número de eventos, los puntos se desplazan hacia niveles más altos de costo, siguiendo un patrón lineal definido. La cercanía de los puntos a la línea de tendencia indica que el comportamiento del costo es predecible en función del número de paros, con poca variabilidad entre los valores observados y los estimados.

La ecuación de la recta de tendencia obtenida es

$$y = 240112x + 44935$$

Lo que sugiere que, en promedio, cada paro adicional en la línea de producción representa aproximadamente un costo de mano de obra cercano a ₡240 112 para la organización. Este resultado refleja el impacto económico significativo que generan las interrupciones productivas, considerando los costos asociados a la mano de obra directa.

Adicionalmente, el coeficiente de determinación obtenido ($R^2 = 0,9838$) indica que aproximadamente el 98,38 % de la variación observada en el costo de mano de obra asociado puede explicarse por el número de paros registrados. Este valor evidencia una relación estadística extremadamente fuerte entre ambas variables, lo que confirma que la frecuencia de las interrupciones en la producción constituye

uno de los principales factores que determinan el impacto económico generado por los quiebres de stock. Asimismo, la alta concentración de los puntos alrededor de la línea de tendencia (R^2) refuerza la baja incertidumbre del modelo y la confiabilidad de la relación identificada.

Desde una perspectiva operativa, estos resultados permiten comprender que los paros de línea no solo afectan la continuidad del proceso productivo, sino que también generan consecuencias financieras importantes para la organización. Cada interrupción implica detener el flujo normal de producción, mantener recursos humanos y tecnológicos sin generar valor y retrasar el cumplimiento de los planes de producción establecidos. Como consecuencia, el costo de mano de obra total asociado a estas interrupciones puede incrementarse rápidamente cuando la frecuencia de los paros aumenta.

Asimismo, el análisis evidencia que la reducción en la cantidad de paros podría generar una disminución significativa en el impacto económico total del problema, lo que resalta la importancia de implementar estrategias que permitan prevenir quiebres de stock y mejorar la planificación del abastecimiento de materiales. Al reducir la frecuencia de las interrupciones, la organización no solo mejora la continuidad del proceso productivo, sino que también optimiza el uso de sus recursos y disminuye los costos de mano de obra derivados de la inactividad.

En conclusión, los resultados obtenidos confirman la existencia de una relación directa y altamente significativa entre el número de paros de línea y el costo de mano de obra económico asociado. Esto demuestra que los eventos de

desabastecimiento y las interrupciones en la producción tienen un impacto financiero considerable, lo que refuerza la necesidad de fortalecer los mecanismos de planificación y control del inventario con el fin de reducir los quiebres de stock y mejorar la eficiencia operativa del sistema productivo.

4.6.1 Conclusiones de análisis de comparación de datos.

A partir de todo el análisis realizado, se logró entender de forma completa cómo funciona el proceso de abastecimiento y por qué se están generando los quiebres de stock y los paros en la producción.

Primero, el diagrama de flujo permitió ver claramente todas las etapas del proceso, desde que se detecta la necesidad de un material hasta que este queda disponible para producción. Esto ayudó a entender que el abastecimiento no depende solo del proveedor, sino de muchas actividades internas y externas, como aprobaciones, transporte, aduanas, aforo, recepción e inspección de calidad. También se identificó que el tiempo total del proceso es mucho mayor al que normalmente se considera, ya que incluye varias etapas adicionales que pueden sumar incluso semanas. Por esta razón, si no se planifica con suficiente anticipación, pueden ocurrir quiebres de stock aunque el proveedor haya cumplido.

Luego, el análisis de quiebres de stock permitió dimensionar el problema. Se comprobó que no son eventos aislados, sino situaciones recurrentes que afectan diferentes líneas de producción. La línea 1 fue la más impactada, especialmente en enero, donde se concentró la mayor cantidad de quiebres. Sin embargo, también se

observó una mejora progresiva en los meses siguientes, lo que indica que algunas acciones implementadas, como el uso de herramientas de control, ayudaron a reducir el problema. Aun así, los quiebres no desaparecen completamente, lo que confirma que el problema de fondo sigue presente.

Después, con el análisis de los 5 porqués, se identificó que la causa principal no está en los proveedores ni en compras, sino en la forma en que se planifica y controla el abastecimiento. La empresa trabaja de manera reactiva, es decir, actúa cuando el problema ya está ocurriendo, en lugar de anticiparse. Además, no se consideran todos los tiempos reales del proceso, lo que genera desfases entre lo que se necesita y lo que realmente está disponible.

El diagrama de Ishikawa permitió profundizar aún más y entender que el problema es causado por varios factores:

- En materiales, hay dependencia de un solo proveedor, tiempos largos y falta de stock de seguridad.
- En métodos, que es la principal causa, no hay planificación preventiva ni seguimiento adecuado.
- En sistemas, falta automatización y alertas.
- En medición, no hay indicadores ni control constante.
- En mano de obra, hay problemas en el uso de herramientas y seguimiento.
- En factores externos, existen retrasos logísticos y aduanales que aumentan la incertidumbre.

Todo esto hace que el sistema sea frágil y que cualquier pequeño atraso pueda generar un paro en la producción.

Finalmente, el análisis de correlación permitió ver el impacto real del problema:

- Cada paro genera aproximadamente 5 horas de inactividad.
- Cada hora improductiva cuesta cerca de ₡46 190 en mano de obra.
- Cada paro puede generar un costo aproximado de ₡240 112.

Esto demuestra que el problema no solo afecta la operación, sino que también genera pérdidas económicas importantes.

En conclusión, el problema principal es que el sistema de abastecimiento no está diseñado para anticipar, sino para reaccionar. La falta de planificación completa, control, monitoreo y uso adecuado de herramientas hace que los quiebres de stock ocurran de forma repetitiva. Por esta razón, es necesario mejorar la planificación considerando todo el proceso completo, implementar controles más claros, usar herramientas de seguimiento y trabajar de forma preventiva. Con esto se podrá reducir los paros de producción, mejorar la eficiencia y disminuir los costos para la empresa.

5.CAPÍTULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

5.1 Enfoque general de la propuesta de mejora

A partir del diagnóstico desarrollado en los capítulos anteriores, se identificó que los quiebres de stock y los paros de línea en la producción se originan principalmente por debilidades en la gestión del abastecimiento de materiales. Entre las principales causas se encuentran la falta de planificación preventiva, la ausencia de monitoreo sistemático de los niveles de inventario, la dependencia de controles manuales y el seguimiento limitado a las órdenes de compra.

Estas condiciones provocan que las decisiones se tomen de forma reactiva, es decir, cuando el material está por agotarse o el riesgo de desabastecimiento es inminente, generando interrupciones en la producción.

Asimismo, el análisis de correlación presentado en el capítulo anterior evidenció una relación directa entre los paros de línea, las horas improductivas y los costos de mano de obra, lo que confirma que el problema no solo impacta la operación, sino también el desempeño económico de la empresa.

Ante esta situación, a continuación, se plantea una propuesta de mejora enfocada en fortalecer la gestión del inventario mediante un enfoque preventivo, con el objetivo de anticipar quiebres de stock y evitar interrupciones en la producción.

5.2 Relación entre causas identificadas y soluciones propuestas

Con base en el diagnóstico realizado y en el análisis de causa raíz desarrollado mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa y el análisis de Pareto, se identificaron las principales causas que generan quiebres de stock dentro del proceso de abastecimiento. Estas causas se relacionan principalmente con debilidades en la planificación, la falta de control sistemático del inventario y el seguimiento insuficiente del proceso de compras.

A partir de estas causas se definieron las soluciones propuestas que permitirán mejorar la gestión del abastecimiento. Las soluciones propuestas se enfocan principalmente en mejorar el método de planificación, el cual fue identificado como la causa más crítica dentro del análisis de causa raíz.

Tabla 11. *Propuestas de mejora según resultados obtenidos en análisis de resultados.*

Causas identificadas	Soluciones propuestas
Falta de proyección de consumo y planificación reactiva	Implementación de un sistema de planificación preventiva del abastecimiento basado no solo en el análisis de consumo y tiempos de abastecimiento (lead times), sino también tiempo de tránsito, aforos, recibo, inspección, entre otros.
Ausencia de niveles mínimos de inventario	Definición de niveles de inventario de control, incluyendo stock de seguridad para materiales críticos.
Falta de monitoreo de niveles críticos	Implementación de un sistema de monitoreo y control del inventario mediante una herramienta

Causas identificadas	Soluciones propuestas
	de análisis en Excel que permita visualizar materiales en riesgo.
Dependencia de registros manuales	Automatización del seguimiento de inventarios mediante la herramienta de control en Excel y la integración progresiva con sistemas analíticos.
Falta de seguimiento a órdenes de compra	Establecimiento de un sistema de control y seguimiento de pedidos abiertos, apoyado en indicadores de gestión y revisiones periódicas.
Limitada capacidad de análisis del abastecimiento	Implementación de la fase 2 de la plataforma analítica LeanDNA para mejorar la visibilidad del inventario y priorización de materiales críticos.
Falta de seguimiento al desempeño del proceso	Control y seguimiento mediante indicadores KPI, tales como frecuencia de quiebres de stock, número de paros de línea, horas improductivas y costo asociado.

Fuente: Datos obtenidos durante la recopilación de datos y su respectivo análisis.

5.3 Diseño de la solución propuesta

La solución planteada consiste en el diseño de un sistema de gestión preventiva del abastecimiento que permita anticipar los riesgos de quiebres de stock y garantizar la continuidad de las operaciones productivas.

Actualmente, la empresa trabaja bajo un enfoque reactivo, lo que significa que las acciones se toman cuando el problema ya está ocurriendo o es inminente. Esto

provoca paros en la producción, reprocesos y costos innecesarios. Por esta razón, el nuevo enfoque busca transformar esta forma de trabajo hacia un sistema preventivo, donde las decisiones se tomen con anticipación, utilizando información actualizada y herramientas de control.

El sistema propuesto se basa en el análisis de datos, el monitoreo constante y la comunicación entre áreas, con el objetivo de detectar posibles faltantes de materiales antes de que impacten la producción. De esta manera, se logra una mejor planificación, mayor control del proceso y una reducción significativa de riesgos. Para lograr esta transformación, la solución se estructura en componentes que se implementan de forma progresiva:

En una primera fase, se desarrolla una herramienta operativa en Excel, la cual permite llevar un control diario de los materiales. Esta herramienta facilita la visualización del inventario disponible, las órdenes de compra en tránsito y los posibles riesgos de quiebre de stock. Además, permite priorizar materiales críticos y dar seguimiento a aquellos que requieren atención inmediata. Su principal ventaja es que es accesible, fácil de usar y se adapta a las necesidades del proceso, permitiendo generar resultados en el corto plazo.

También, se establecen reuniones semanales de planificación (planning) entre los equipos de producción y supply chain. Estas reuniones tienen como objetivo alinear la información, validar los consumos reales, revisar materiales en riesgo y tomar decisiones conjuntas. Este espacio de comunicación es clave para asegurar que todas las áreas trabajen con la misma información y evitar descoordinaciones.

Adicionalmente, se definen indicadores de desempeño y mecanismos de control, los cuales permiten medir el comportamiento del proceso, dar seguimiento a los resultados y detectar desviaciones. Esto asegura que la mejora no sea temporal, sino que se mantenga en el tiempo.

En una segunda fase, se contempla la implementación de una herramienta analítica más robusta, como LeanDNA, la cual complementará el sistema desarrollado en Excel. Esta plataforma permitirá realizar un análisis más profundo de la información, identificar patrones de consumo, evaluar el comportamiento del inventario y anticipar riesgos de abastecimiento con mayor precisión.

Sin embargo, para efectos de este proyecto y debido a limitaciones de tiempo, únicamente se llegará a la fase inicial de implementación de LeanDNA, la cual está enfocada en la depuración y preparación de la información. Esta fase incluye actividades como la limpieza de números de parte, la corrección de listas de materiales (BOMs), la eliminación u obsolescencia de números de parte que ya no se utilizan, así como la depuración de datos inconsistentes o duplicados.

Esta etapa es fundamental, ya que permite eliminar “basura” del sistema y asegurar que la información utilizada sea confiable. De esta manera, se evita trabajar con datos incorrectos o incompletos que puedan afectar el análisis y la toma de decisiones. Aunque no se implementarán todas las funcionalidades analíticas de la herramienta en esta fase, este paso sienta las bases para una futura implementación completa y efectiva de LeanDNA (ver todas las fases de implementación en la tabla 12).

En conjunto, estos elementos permiten construir un sistema de gestión del abastecimiento más estructurado, donde se pasa de una gestión reactiva a una gestión preventiva. Esto no solo mejora la disponibilidad de materiales, sino que también reduce los paros de producción, optimiza los recursos y fortalece la toma de decisiones dentro de la organización.

5.3.1. Planificación preventiva del abastecimiento tomando en cuenta tiempos de tránsito, recibo e inspección.

Actualmente, uno de los principales problemas identificados es que la planificación se realiza considerando únicamente el lead time del proveedor, es decir, el tiempo que tarda el proveedor en fabricar y despachar el material. Sin embargo, en la práctica, el material no está disponible para producción inmediatamente después de ese punto, ya que debe pasar por varias etapas adicionales antes de poder ser utilizado.

Por esta razón, la propuesta consiste en ampliar el enfoque de planificación, incorporando todos los tiempos que forman parte del ciclo completo de abastecimiento. Estos incluyen:

- El tiempo de cotización de material
- Generación y aprobación de la orden de compra
- El tiempo de producción del proveedor
- El tiempo de tránsito (ya sea nacional o internacional)
- Los tiempos asociados a procesos aduanales, como aforos o revisiones

- El tiempo de ingreso y recibo del material en bodega
- El tiempo requerido para la inspección de calidad
- El tiempo de liberación del material para su uso en producción

Aunque algunos de estos tiempos pueden parecer pequeños de forma individual, en conjunto pueden representar varios días o incluso semanas adicionales. Si no se consideran dentro de la planificación, se genera una falsa percepción de disponibilidad, lo que aumenta significativamente el riesgo de quiebres de stock.

Con este nuevo enfoque, cada material contará con un tiempo total de abastecimiento más realista, lo que permitirá calcular con mayor precisión el momento en que se debe generar una orden de compra. Es decir, en lugar de reaccionar cuando el inventario ya está bajo o cuando el material está por agotarse, se podrá anticipar la necesidad con suficiente tiempo.

Además, esta planificación preventiva permitirá identificar materiales críticos que requieren mayor seguimiento, ajustar frecuencias de compra y mejorar la coordinación con proveedores y áreas internas.

Considerar el tiempo completo del proceso de abastecimiento permite tomar decisiones más informadas, reducir la incertidumbre y asegurar que los materiales estén disponibles en el momento correcto. Esto contribuye directamente a la continuidad de la producción y a la reducción de paros por falta de materia prima.

5.3.2. Definición de niveles de inventario de control (Safety stock)

Como parte de la mejora, se propone establecer parámetros fundamentales para la gestión del inventario. Es importante destacar que, aunque existen múltiples variables que pueden utilizarse para el control de inventarios, los parámetros seleccionados en esta propuesta corresponden a aquellos que demostraron tener un mayor impacto en el problema analizado, según los resultados obtenidos en el Capítulo 4.

En dicho análisis se evidenció que los quiebres de stock están directamente relacionados con la falta de anticipación ante variaciones en la demanda y con los tiempos reales del proceso de abastecimiento. Además, se identificó que la empresa actualmente no cuenta con un stock de seguridad definido, lo cual incrementa significativamente la vulnerabilidad del sistema ante cualquier variación o retraso. Esta condición fue un factor clave en la ocurrencia de quiebres de stock, ya que ante cualquier desviación en los tiempos o en el consumo, no existe un margen de protección que permita absorber el impacto.

Por esta razón, se priorizan parámetros que permitan reducir esta exposición al riesgo y mejorar la capacidad de respuesta del sistema.

En este caso, el stock de seguridad funcionará como un margen de protección frente a variaciones en la demanda, retrasos logísticos o tiempos adicionales en los procesos de inspección y liberación de materiales. La incorporación de este nivel de

inventario permitirá absorber incertidumbres del proceso logístico y reducir el riesgo de interrupciones en la producción.

Esta propuesta surge directamente de los hallazgos del Capítulo 4, donde se evidenció que la ausencia de stock de seguridad fue una de las principales causas de los paros productivos, ya que el sistema no tenía capacidad de respuesta ante imprevistos.

Adicionalmente, es importante indicar que la organización cuenta con la capacidad de almacenamiento necesaria para implementar este tipo de estrategia sin afectar la operación. Sin embargo, el establecimiento del stock de seguridad debe ir acompañado de un control adecuado, con el fin de evitar un exceso de inventario que pueda generar costos innecesarios de almacenamiento, obsolescencia o deterioro de los materiales.

Por esta razón, el stock de seguridad debe definirse de manera balanceada, buscando un equilibrio entre garantizar la disponibilidad de materiales y mantener una adecuada rotación del inventario. Esto permitirá asegurar la continuidad de la producción sin comprometer la eficiencia operativa ni generar sobrecostos.

Para el presente estudio, el cálculo del stock de seguridad se realizará utilizando un enfoque basado en la demanda y el tiempo de reposición (lead time), considerando tanto sus valores promedio como máximos. En este sentido, se empleará la siguiente expresión:

$$\text{Stock de Seguridad} = (\text{Demanda maxima} \times \text{Lead Time maximo}) - (\text{Demanda promedio} \times \text{Lead Time promedio})$$

Esta metodología permite contemplar escenarios de variabilidad en el consumo de materiales y en los tiempos de abastecimiento, proporcionando un nivel de protección ante posibles incrementos en la demanda o retrasos en el suministro. De esta manera, se garantiza una gestión más robusta del inventario, alineada con las condiciones reales de operación de la empresa.

5.3.3. Seguimiento de órdenes de compra abiertas

Como parte de las acciones para mejorar el control del abastecimiento, se propone implementar una revisión semanal estructurada del reporte de órdenes de compra abiertas. Esta actividad se enfocará principalmente en aquellas órdenes cuya fecha de entrega esté programada para las siguientes dos o tres semanas, ya que representan el horizonte crítico donde pueden generarse riesgos de desabastecimiento.

Durante esta revisión, se analizarán aspectos clave como el estado actual de la orden, el cumplimiento del proveedor, las fechas comprometidas de entrega y cualquier posible desviación respecto a lo planificado. Asimismo, se verificará si los materiales incluidos en estas órdenes están asociados a demandas próximas de producción o si corresponden a materiales críticos. En caso de encontrar alguna anomalía o retraso en la orden, esta será notificada inmediatamente a la gerencia.

El objetivo principal de esta actividad es confirmar con anticipación la llegada de los materiales y detectar posibles retrasos antes de que impacten la operación. En caso de identificarse algún riesgo, el equipo de Supply Chain podrá tomar acciones preventivas de manera oportuna, tales como dar seguimiento directo con el proveedor, solicitar actualizaciones de estatus, gestionar envíos urgentes, priorizar recepciones o, en caso de que aplique, coordinar el abastecimiento temporal de materiales desde una planta hermana en Estados Unidos.

Esta revisión semanal fomenta una gestión más proactiva del abastecimiento, ya que permite mantener una comunicación constante con los proveedores y mejorar la coordinación interna entre las áreas involucradas. Como resultado, se incrementa la visibilidad del estado real de las órdenes de compra, se mejora la capacidad de anticipación ante posibles problemas y se reduce significativamente el riesgo de quiebres de stock o paros de producción asociados a la falta de materiales. Esto contribuye directamente a una operación más estable, controlada y alineada con las necesidades del proceso productivo.

5.3.4. Herramienta de control operativo en Excel

Como parte central de la propuesta, se desarrolló una herramienta de control en Excel orientada a mejorar la gestión operativa del abastecimiento y a brindar mayor visibilidad sobre el estado de los materiales utilizados en las líneas de producción. Esta herramienta surge como respuesta directa a las debilidades identificadas en el

diagnóstico, especialmente la falta de monitoreo sistemático, la dependencia de controles manuales dispersos y la ausencia de mecanismos que permitan anticipar riesgos de quiebre de stock.

La herramienta integra información proveniente del sistema M2M, específicamente reportes actualizados de inventario disponible, órdenes de compra abiertas y demanda. A partir de esta integración, se consolida la información en un solo archivo que facilita el análisis y la toma de decisiones, evitando la necesidad de consultar múltiples fuentes de información de manera independiente.

Uno de los principales aportes de la herramienta es que permite realizar un análisis dinámico del estado de cada material. Para ello, se incorporan cálculos que consideran variables clave como el consumo estimado (basado en los requerimientos de producción), el inventario disponible y el tiempo de abastecimiento. Con base en estos elementos, se puede proyectar el comportamiento del inventario en el corto plazo e identificar posibles escenarios de desabastecimiento.

Figura 14.

Producción diaria:		
Enero	250	
Febrero	200	
Marzo	350	
Abril	350	
Mayo	350	
Junio	350	
Julio	350	
Agosto	200	
Sep	200	
Octubre	200	
Noviembre	167	
Diciembre	167	

➡ Produccion diaria

	Thursday 9-Apr	Friday 10-Apr
YES	YES	YES
	0.0	350.0
	0.0	350.0

T MONTH PN	Desc	On hand	BOM	Piezas posibles
2.7 200010-077		17296	1	17296
2.8 200011-008		17408	1	17408
1.7 500001-037-CR		3593	1	3593
1.0 520015		5.44589	0.00011	49508.09091
1.5 520135		370	0.00444	83333.33333
1.0 520432		119	0.00222	53603.6036
2.2 100001-018		5500	1	5500
1.7 200006-008		258.2		

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

A	B	C	D
	Producción diaria:		
	Enero	250	
	Febrero	200	
	Marzo	350	
	Abril	350	
	Mayo	350	
	Junio	350	
	Julio	350	
	Agosto	200	
	Sep	200	
	Octubre	200	
	Noviembre	167	
	Diciembre	167	

The formula bar shows the formula:
$$=((3600)/20)/0.9$$

The formula in cell D2 is:
$$((\text{Demanda mensual}) / \text{dias de produccion}) / \text{Yield}$$

Fuente: Demanda registrada.

Adicionalmente, la herramienta permite clasificar los materiales según su nivel de riesgo, facilitando la priorización de aquellos que requieren atención inmediata. Los materiales en riesgo de quiebre se identifican de forma visual mediante códigos de color o alertas, lo que simplifica la interpretación de la información y permite una respuesta más rápida por parte del equipo de planificación (Blanco= ok, rojo=Corto).

A continuación, se muestra la figura 15, donde se puede observar la alerta de corto, con una alerta en rojo, y debajo de la fecha se puede observar un “NO” lo que indica que esos días no se podrá producir por falta de material.

Figura 15. Alerta de corto y su fecha respectiva.

[illegible]

DOKUP

Fuente: Fuente: Reporte de inventario, reporte de ordenes abiertas, base de datos de lead times, BOM's y demanda.

Otro aspecto relevante es que esta herramienta no solo permite identificar problemas, sino también darles seguimiento. A través de su uso diario, el equipo puede monitorear el estado de las órdenes de compra asociadas a los materiales críticos, validar fechas de entrega (Ver figura a continuación), y asegurar que se

estén tomando las acciones necesarias para evitar impactos en la producción.

Figura 16. Fechas y cantidades de los materiales por llegar a la planta.

Numero de Parte		Dia de compromiso de entrega							
PN		Thursday 9-Apr	Friday 10-Apr	Monday 13-Apr	Tuesday 14-Apr	Wednesday 15-Apr	Thursday 16-Apr	Friday 17-Apr	Monday 20-Apr
200010-091	Cantidad a recibir	0	0	0	8100	0	0	0	0
200029-005		0	0	0	0	0	0	0	0
500040		0	0	0	0	0	0	0	0
200012-031		0	0	0	0	0	0	0	0
200016-012		0	0	0	0	0	0	0	0
200016-003		0	0	0	0	0	0	0	0
200011-021		0	0	0	0	0	0	0	0
100013-006		0	0	0	0	0	0	0	0
100042-001		0	0	0	0	0	0	0	0
500001-243		0	11017	0	0	0	0	0	0
500001-244		0	0	0	0	0	0	0	0
500001-245		0	11400	0	0	0	0	0	0
500001-246		0	12000	0	0	0	0	0	0
500001-247		0	11075	0	0	0	0	0	0
500001-248		0	0	0	0	0	0	0	0
500001-249		4020	0	0	0	0	0	0	0
500001-250		0	0	0	0	0	0	0	0
500001-251		0	0	0	0	0	0	0	0
500001-252		0	11400	0	0	0	0	0	0
500001-253		0	11100	0	0	0	0	0	0
500001-254		0	8100	0	0	0	0	0	0

Fuente: Reporte de ordenes abiertas y Herramienta Excel.

Asimismo, la herramienta facilita la coordinación entre las diferentes áreas involucradas, como planificación, compras y producción, ya que todos pueden trabajar con la misma información actualizada. Esto reduce errores de comunicación y mejora la alineación en la toma de decisiones.

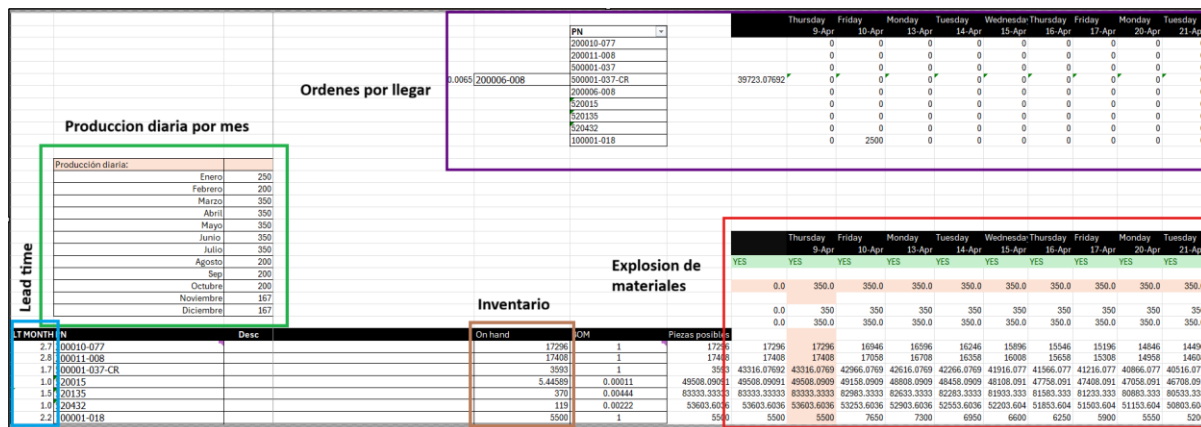
Desde el punto de vista operativo, la implementación de esta herramienta representa un cambio significativo, ya que transforma la gestión del inventario de un enfoque reactivo a uno preventivo. En lugar de actuar cuando el material ya está

por agotarse, el equipo puede anticiparse a los problemas con suficiente tiempo y tomar decisiones informadas.

Es importante destacar que, al tratarse de una herramienta desarrollada en Excel, su implementación es rápida, flexible y de bajo costo, lo que facilita su adopción dentro de la organización. Además, puede ser ajustada y mejorada continuamente según las necesidades del proceso.

Esta herramienta se convierte en el eje central del sistema de control operativo del abastecimiento, ya que permite mejorar la visibilidad, fortalecer la toma de decisiones, reducir el riesgo de quiebres de stock y contribuir directamente a la continuidad de las operaciones productivas, a continuación, se muestra una imagen de la vista general del reporte, donde en una sola pantalla se logra identificar las ordenes por llegar con su respectivo número de parte, fecha de llegada y cantidad, así como la producción diaria, y la parte inferior la explosión de materiales.

Figura 17. Vision general de la herramienta generada.



Fuente: Reporte de inventario, reporte de ordenes abiertas, base de datos de lead times, BOM's y demanda.

Cabe destacar, que, con el fin de estandarizar el control de cortos de materiales, se realizó un manual de uso de la herramienta en Excel, esta puede ser observada en el Apéndice 1.

La responsabilidad funcional de la herramienta recae en el área de Supply Chain, siendo el Gerente de Supply Chain el responsable de su administración, mantenimiento y actualización. Asimismo, cualquier modificación a la herramienta deberá ser autorizada por dicho gerente o por la persona que este designe formalmente para tal fin.

En caso de que un comprador (Buyer) identifique la necesidad de realizar cambios o mejoras, deberá comunicarlo al Gerente de Supply Chain, quien evaluará la solicitud y ejecutará la actualización correspondiente o asignará a un colaborador autorizado para llevarla a cabo. Tanto la herramienta como su manual se

encuentran resguardados en el repositorio oficial del departamento de Supply Chain, ubicado en la carpeta corporativa de OneDrive de la empresa, garantizando así el acceso a la versión vigente y el control documental correspondiente.

5.3.5. Reunión semanal de planificación entre Supply Chain y Producción

Como parte de las acciones para fortalecer el proceso de gestión del abastecimiento, se propone establecer una reunión semanal de planificación entre el equipo de Supply Chain y el área de Producción. El objetivo de esta reunión es mejorar la comunicación entre ambas áreas y facilitar la identificación temprana de posibles riesgos de desabastecimiento que puedan afectar la continuidad de las líneas productivas, a través de la herramienta de control implementada.

Durante esta sesión se revisarán principalmente los siguientes aspectos:

- Estado actual del inventario de materiales críticos
- Consumo real de materiales en las líneas de producción
- Plan de producción para la semana siguiente
- Órdenes de compra abiertas y fechas estimadas de llegada
- Materiales con riesgo de quiebre de stock

En esta reunión, el área de Producción presentará información relacionada con el comportamiento del consumo de materiales y cualquier variación relevante en el plan de producción. Por su parte, el equipo de Supply Chain informará sobre el estado del abastecimiento, el seguimiento a proveedores y posibles retrasos en entregas. Esta dinámica permitirá tomar decisiones de forma anticipada, priorizar materiales críticos y definir acciones correctivas cuando se detecten riesgos de desabastecimiento.

Adicionalmente, en las reuniones de planning se revisará el estatus de todos los materiales utilizando la herramienta de control desarrollada en Excel. Esta herramienta permite visualizar de manera clara los niveles de inventario disponibles, las órdenes de compra en camino y las fechas estimadas de llegada. Con base en esta información, se podrá validar si el abastecimiento actual es suficiente para cumplir con la producción planificada del mes, o si existe algún riesgo que deba ser gestionado con anticipación.

Además, la información revisada en estas reuniones podrá complementarse con los análisis generados por la herramienta en Excel y por la plataforma analítica LeanDNA, lo que permitirá mejorar la visibilidad del proceso y fortalecer la toma de decisiones. La implementación de esta práctica busca fomentar un enfoque de planificación colaborativa entre las áreas involucradas en el proceso productivo, contribuyendo a reducir los quiebres de stock y los paros de línea asociados a la falta de materiales.

5.3.6. Implementación progresiva de LeanDNA (hasta fase 2)

Con el objetivo de fortalecer la capacidad de análisis del proceso de abastecimiento, se propone la implementación progresiva de la plataforma LeanDNA como herramienta de soporte analítico. LeanDNA es una plataforma especializada en análisis de la cadena de suministro que permite visualizar información relacionada con inventarios, cobertura de materiales, órdenes de compra y riesgos potenciales de desabastecimiento. La incorporación de esta herramienta permitirá mejorar la visibilidad del proceso y facilitar la identificación temprana de materiales críticos.

La implementación de la plataforma LeanDNA requiere un proceso estructurado que asegure la calidad de la información y la correcta adopción de la herramienta dentro de la organización. A partir de las necesidades identificadas durante el diagnóstico, se definieron las siguientes fases de implementación, enfocadas principalmente en la depuración y confiabilidad de los datos del sistema ERP (M2M).

Es importante destacar que estas fases responden a los principales problemas identificados en el Capítulo 4, donde se evidenció que gran parte de los quiebres de stock y errores en la planificación se originan por información incorrecta o desactualizada dentro del sistema.

Fase 1: Revisión y validación de la demanda en el ERP

En esta fase se realiza una revisión detallada de la demanda cargada en el sistema ERP, con el objetivo de asegurar que la información utilizada para la planificación sea correcta y esté actualizada.

Durante el diagnóstico se identificó que existían demandas asociadas a revisiones anteriores (revisiones de ingeniería o versiones de producto) que ya no están vigentes, pero que continúan activas en el sistema. Esto genera una distorsión en los requerimientos reales de materiales, provocando sobreestimaciones o necesidades ficticias.

Las principales actividades de esta fase incluyen:

- Validación de la demanda activa en el sistema
- Eliminación o corrección de demandas asociadas a revisiones obsoletas
- Asegurar que únicamente se considere la revisión vigente para cada producto

Esta fase permite asegurar que la base de la planificación (la demanda) sea confiable.

Fase 2: Depuración de órdenes de trabajo abiertas

En esta fase se realiza una revisión de las órdenes de trabajo abiertas en el sistema, especialmente aquellas que provienen de años anteriores.

Las principales actividades incluyen:

- Identificación de órdenes de trabajo antiguas o inactivas
- Cierre o depuración de órdenes que no correspondan a producción real
- Validación con las áreas responsables sobre la vigencia de las órdenes

Con esta fase se busca eliminar “ruido” en el sistema, evitando que se generen necesidades ficticias de materiales.

Fase 3: Clasificación correcta de números de parte (PN)

Consiste en asegurar que cada número de parte esté correctamente clasificado dentro del sistema, ya sea como material comprado, manufacturado, de suministro interno, entre otros. Una clasificación incorrecta puede afectar la forma en que el sistema planifica los materiales, generando errores en órdenes de compra o producción.

Fase 4: Validación y ajuste de lead time

En esta fase se revisan y actualizan los tiempos de abastecimiento registrados en el ERP. A diferencia del enfoque actual, se propone que el lead time incluya no solo el tiempo del proveedor, sino también:

- Tiempo de tránsito
- Procesos aduanales (aforos)
- Tiempo de recibo en bodega
- Inspección de calidad

Esto permitirá una planificación mucho más realista.

Fase 5: Definición de stock de seguridad

Se establece un nivel de stock de seguridad para cada número de parte, considerando su criticidad, consumo y variabilidad. Esto permitirá reducir la exposición a quiebres de stock ante imprevistos.

Fase 6: Depuración de BOMs y eliminación de duplicados

En esta fase se realiza la limpieza de listas de materiales (BOM), eliminando números de parte duplicados y obsoletizando revisiones anteriores que aún se encuentran activas y generan inconsistencias en el sistema.

Fase 7: Pruebas piloto

Se realizan pruebas controladas para validar la calidad de la información y el impacto de los cambios realizados en el sistema.

Fase 8: Capacitación del personal

Se capacita a los usuarios clave para asegurar el uso correcto del sistema y la sostenibilidad de las mejoras implementadas.

A continuación, se muestra una tabla resumen con cada una de las fases de implementación.

Tabla 12. Fases de implementación Lean DNA.

Fase	Nombre de la fase	Objetivo principal	Actividades clave	Resultado esperado
Fase 1	Revisión y validación de la demanda en el ERP	Asegurar que la demanda utilizada para planificación sea correcta y actualizada	Validar demanda activa	Base de planificación confiable y sin distorsiones
			Eliminar/corregir demandas obsoletas- Mantener solo revisiones vigentes	
Fase 2	Depuración de órdenes de trabajo abiertas	Eliminar órdenes innecesarias que generan requerimientos ficticios	Identificar órdenes antiguas/inactivas Cerrar órdenes no reales- Validar con áreas responsables	Reducción de “ruido” en el sistema y necesidades irreales

Fase	Nombre de la fase	Objetivo principal	Actividades clave	Resultado esperado
Fase 3	Clasificación de números de parte (PN)	Asegurar correcta categorización de materiales	Clasificar como comprado, manufacturado, etc.	Mejora en la planificación automática del sistema
Fase 4	Validación y ajuste de lead time	Ajustar tiempos reales de abastecimiento	Incluir tránsito, aduanas, recibo e inspección	Planificación más realista
Fase 5	Definición de stock de seguridad	Reducir riesgo de quiebres de stock	Definir niveles según criticidad y consumo	Mayor resiliencia ante variabilidad
Fase 6	Depuración de BOMs	Eliminar inconsistencias en listas de materiales	Quitar duplicados- Obsoletizar revisiones antiguas	Información estructural limpia
Fase 7	Pruebas piloto	Validar cambios implementados	Ejecutar pruebas controladas	Confirmación de efectividad
Fase 8	Capacitación del personal	Asegurar uso correcto del sistema	Entrenamiento a usuarios clave	Sostenibilidad de mejoras

Fuente: Creación propia.

Debido al alcance temporal del presente proyecto de graduación, la implementación completa de LeanDNA no se llevará a cabo en su totalidad. En este sentido, el proyecto se enfocará únicamente en la ejecución de las fases 1 y 2, las cuales corresponden a la revisión de la demanda y la depuración de órdenes de trabajo abiertas.

Estas fases son críticas, ya que permiten eliminar una gran cantidad de datos incorrectos o innecesarios que actualmente afectan la planificación del

abastecimiento. Además, representan la base para cualquier implementación futura de herramientas analíticas como LeanDNA, ya que aseguran que la información del sistema sea confiable.

A continuación, se muestra un Gantt con la duración de cada una de las etapas de implementación de Lean DNA.

Figura 18. Gantt de fases de implementación de Lean DNA.

Actividad	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	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
Revisión de demanda en ERP																							
Corrección de demanda (rev obsoletas)																							
Identificación de órdenes abiertas antiguas																							
Validación y cierre de órdenes																							
Clasificación de números de parte																							
Validación de lead time																							
Definición de stock de seguridad																							
Limpieza de BOM y duplicados																							
Pruebas piloto																							
Capacitación																							

Fuente: Creación propia.

Debido al alcance temporal del proyecto de graduación, la implementación completa de la plataforma LeanDNA no se realizará en su totalidad durante el desarrollo del presente estudio. No obstante, se avanzó en las etapas iniciales del proceso de implementación, principalmente en la preparación y depuración de los datos provenientes del sistema ERP, lo cual constituye un requisito fundamental para el funcionamiento adecuado de la plataforma.

Estas acciones permitirán dejar establecidas las bases necesarias para la futura adopción de la herramienta dentro del proceso de gestión de inventarios de la organización.

5.3.7. Impacto esperado de la propuesta

La implementación de esta propuesta permitirá reducir significativamente los quiebres de stock y los paros en las líneas de producción.

Entre los principales beneficios esperados se encuentran:

- reducción de paros de línea por falta de material
- disminución de horas improductivas
- reducción de costos asociados a de mano de obra por interrupciones de producción
- mejora en la continuidad operativa de las líneas productivas
- mayor eficiencia en la gestión del inventario

Además, la mejora contribuirá a reducir riesgos asociados al incumplimiento de contratos, multas por retrasos en entregas y posibles afectaciones a la imagen de la empresa frente a sus clientes.

5.3.8. Análisis costo – beneficio de la propuesta

Con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la propuesta planteada, se realizó un análisis costo–beneficio considerando tanto la inversión requerida como los ahorros generados a partir de la reducción de paros de producción por falta de materiales. A continuación, se muestra la tabla 13, donde se muestra el detalle de la inversión versus el ahorro debido a la implementación de mejora.

Tabla 13. Análisis de costo / beneficio de la implementación de la propuesta de mejora.

INVERSIÓN			
Mano de obra			
Concepto	Cantidad de horas	Costo por hora	Monto (C)
Desarrollo herramienta	100	C\$ 6,000.00	C\$ 600,000.00
Tiempo del equipo (3 personas)	30	C\$ 6,000.00	C\$ 180,000.00
Implementación de fases 1 y 2 Lean DNA	42	C\$ 6,000.00	C\$ 252,000.00
Licencias			
Concepto	Cantidad de licencias	Costo de licencia	Monto (C)
Licencia de Microsoft	3	C\$ 53,000.00	C\$ 159,000.00
Total inversión			C\$ 1,191,000.00
BENEFICIO (AHORRO)			
Horas con planta detenida por falta de material			
Concepto	Cantidad de horas detenidos	Costo por hora	Monto (C)
Horas detenidos en Enero	150	C\$ 46,190.00	C\$ 6,928,500.00
Horas detenidos en Marzo	30	C\$ 46,190.00	C\$ 1,385,700.00
Total de horas ociosas reducidas	120	C\$ 46,190.00	C\$ 5,542,800.00
Ahorro			C\$ 5,542,800.00
Payback			
			0.21

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la inversión total, esta asciende a C\$1 191 000, la cual incorpora no solo el desarrollo de la herramienta de control en Excel y el tiempo del equipo, sino también el esfuerzo asociado a la ejecución de la fase 2 del proceso de

implementación de LeanDNA, correspondiente a la depuración de datos en el sistema ERP.

El detalle de la inversión es el siguiente:

- Desarrollo de la herramienta: ¢600 000
- Tiempo del equipo: ¢180 000 (reuniones con tres personas para la capacitación en el uso de la herramienta en Excel)
- Implementación de la fase 2 (depuración de datos contemplando una persona): ¢252 000
- Licencias de Microsoft: ¢159 000

La inclusión de la fase 2 es clave dentro del análisis, ya que esta etapa permite mejorar la calidad de la información del sistema, eliminando órdenes de trabajo innecesarias y corrigiendo datos que afectan directamente la planificación del abastecimiento.

Por otro lado, los beneficios económicos se estimaron a partir del costo asociado a las horas de producción detenidas por falta de materiales. Según los datos históricos analizados, estos paros representan un impacto significativo en los costos operativos.

Se identificó una disminución relevante en meses como enero y marzo, las cuales, al ser mitigadas mediante la implementación de la propuesta, permiten proyectar un ahorro total de ¢5 542 800. Ya que, tomando en cuenta:

- Un total de horas de mano de obra ociosas en enero de: 150 horas.
- Un total de horas de mano de obra ociosas en marzo de: 30 horas.
- Un total de horas de mano de obra ociosas reducidas de: 120 horas
- Un costo por hora de: ₡46 190
- Genera un ahorro de:

$$\text{Ahorro} = 120 \text{ (total de horas de paro reducidas)}$$

$$* \text{₡46 190 (Costo por hora por paro la planta)}$$

$$\text{Ahorro} = \text{₡ } 5,542,800.00$$

Como resultado del análisis financiero, se obtiene un periodo de recuperación (payback) de 0,21, el cual se calcula mediante la expresión:

$$\text{Pyback} = \frac{\text{Monto invertido}}{\text{Costo de horas reducidas}}$$

Con base a los datos mostrados con anterioridad:

$$\text{Pyback} = \frac{\text{₡1 191 000}}{\text{₡ } 5,542,800}$$

$$\text{Pyback} = 0.21 \text{ meses}$$

Este resultado indica que la inversión se recupera en un plazo muy corto (0.21 meses). Esto evidencia que, a pesar del incremento en la inversión inicial por la inclusión de la fase 2 de LeanDNA, el proyecto continúa siendo altamente rentable. En términos generales, la relación costo–beneficio es altamente favorable, ya que la inversión realizada es significativamente menor en comparación con los ahorros generados. Adicionalmente, el proyecto aporta beneficios cualitativos importantes, como:

- Mejora en la confiabilidad de la información del ERP
- Mayor precisión en la planificación de materiales
- Reducción del riesgo de quiebres de stock
- Mayor estabilidad en la operación productiva

En conclusión, la propuesta no solo es económicamente viable, sino que representa una mejora estratégica en la gestión del abastecimiento, alineada con los objetivos de eficiencia operativa de la organización.

5.3.9. Control, seguimiento y sostenibilidad de la mejora

Para asegurar que la propuesta se mantenga funcionando correctamente en el tiempo, se establecerán controles y seguimientos que permitan evaluar cómo está trabajando el sistema de abastecimiento.

Para esto, se utilizarán algunos indicadores clave (KPIs que ayudarán a medir los resultados, entre ellos:

- Frecuencia de quiebres de stock
- Horas improductivas generadas
- Costo de mano de obra asociado a interrupciones en la producción

Estos indicadores se revisarán de forma periódica por el equipo de planificación y la gerencia de Supply Chain. El objetivo es verificar si la solución está dando resultados y detectar a tiempo cualquier problema o desviación.

Además, los niveles de inventario también deberán revisarse constantemente, ya que pueden cambiar dependiendo del consumo de materiales o de los tiempos de entrega de los proveedores. Esto permitirá hacer ajustes cuando sea necesario y mantener el sistema actualizado.

Por último, todo el proceso de planificación y monitoreo debe quedar documentado mediante procedimientos claros y estandarizados. Esto es importante para asegurar que todas las personas involucradas sigan la misma forma de trabajo y que la mejora se mantenga en el tiempo, independientemente de cambios en el personal o en la operación.

A continuación, se muestra la tabla 14, la cual contiene cada uno de los indicadores propuesto, sus fórmulas respectivas, así como meta, frecuencia y responsables.

Tabla 14. Matriz de indicadores propuestos

Indicador	Definición	Fórmula de cálculo	Meta	Frecuencia	Responsable
Frecuencia de quiebres de stock	Mide la cantidad de veces que un material no está disponible cuando se requiere en producción	Número de quiebres de stock en el periodo	≤ 3 quiebres por mes	Semanal y mensual	Supply Chain
Horas improductivas generadas	Total, de horas en que la producción estuvo detenida por falta de material	Σ horas de paro por falta de material	Reducción $\geq 70\%$ respecto a línea base	Semanal y mensual	Producción (registro) / Supply Chain (análisis)
Costo de mano de obra por interrupciones	Costo asociado a la mano de obra durante paros por falta de material	Horas improductivas $\times$ costo por hora	Reducir en proporción a las horas improductivas	Mensual	Supply Chain / Finanzas

Fuente: Creación propia.

Las metas propuestas se establecen con base en que las principales ineficiencias identificadas no provienen de la variabilidad del entorno, sino de fallas en el método de planificación utilizado.

Bajo este contexto, los quiebres de stock, paros de línea y costos asociados no son eventos inevitables, sino consecuencias directas de un sistema de planificación deficiente. Por lo tanto, al corregir la calidad de los datos mediante la implementación de las fases 1 y 2 de Lean DNA, así como la herramienta en Excel que permitirá dar la visibilidad de futuros cortos, se espera eliminar la causa raíz de estos problemas.

En este sentido, se establecen metas de desempeño retadoras para todos los indicadores asociados a fallas de planificación, ya que estos eventos no deberían ocurrir en un sistema correctamente gestionado. Cualquier desviación se considerará un caso excepcional y no atribuible al método.

6. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

A partir del desarrollo del presente proyecto, se logró evidenciar que los problemas de quiebres de stock y paros de línea en la producción estaban directamente relacionados con debilidades en la gestión del abastecimiento de materiales. Entre estas debilidades destacaban la falta de planificación preventiva y el uso de controles manuales.

Con base en este diagnóstico, se diseñó una propuesta de mejora enfocada en transformar el proceso de gestión de inventarios, pasando de un enfoque reactivo a uno preventivo. Esta propuesta incluye la implementación de una herramienta de control en Excel, la ejecución de la fase 2 de LeanDNA (enfocada en la limpieza y depuración de datos del ERP), la definición de safety stock, la planificación considerando el tiempo total de abastecimiento y la implementación de mecanismos de seguimiento y control.

En relación con el objetivo general, se puede concluir que este se cumple satisfactoriamente, ya que se diseñó e implementó la herramienta de control en excel, así como la fase 2 de implementación de Lean DNA, soluciones que permite mejorar la gestión del inventario en la línea de catéter, reduciendo el riesgo de paros de producción por falta de material y su impacto económico asociado.

Respecto a los objetivos específicos, se concluye lo siguiente:

- Se logró definir claramente el problema mediante el análisis de la situación actual del proceso de abastecimiento. A partir de la etapa de diagnóstico, se identificó que la gestión de inventarios presentaba múltiples debilidades, entre ellas la falta de planificación preventiva, el uso de controles manuales poco estructurados y la baja visibilidad del estado real de los materiales. Además, se evidenció que la información del sistema ERP contenía inconsistencias, como órdenes de trabajo antiguas aún abiertas, números de parte duplicados y datos incorrectos, lo que generaba una base poco confiable para la toma de decisiones, además de ensuciar Lean DNA con datos erróneos. Esta definición permitió delimitar el problema y entender que no se trataba únicamente de falta de materiales, sino de una gestión deficiente del abastecimiento.
- Se midió el desempeño del sistema, identificando indicadores clave como quiebres de stock, horas improductivas y costos asociados. Durante esta etapa se recopiló datos (ver capítulo 4) que evidenciaron la magnitud del problema. Se logró cuantificar la frecuencia de los quiebres de stock, así como las horas de paro en producción y su impacto económico en términos de mano de obra ociosa. Este análisis permitió demostrar que los paros de línea no eran eventos aislados, sino un problema recurrente con un impacto significativo en la operación y en los costos de la empresa, lo que justificó la necesidad de implementar una mejora.

- Se identificaron las causas raíz del problema, principalmente relacionadas con la falta de control y la calidad de la información. A través de herramientas como el análisis causa–efecto y la observación directa del proceso (gemba walk), se determinó que las principales causas estaban asociadas a la ausencia de un sistema de monitoreo continuo, la dependencia de procesos manuales, la falta de seguimiento a las órdenes de compra y la inexistencia de parámetros clave como el safety stock.
- Asimismo, se identificó que la mala calidad de los datos en el sistema ERP generaba necesidades de materiales incorrectas, afectando directamente la planificación y presentación de datos de Lean DNA. Esto confirmó que el problema tenía un origen tanto operativo como estructural.
- Se diseñó una solución integral que ataca directamente estas causas, mediante herramientas prácticas y aplicables. Con base en los hallazgos, se planteó una propuesta enfocada en transformar la gestión del abastecimiento hacia un enfoque preventivo. Esta solución incluye la implementación de una herramienta de control en Excel para el monitoreo diario de materiales, la planificación considerando el tiempo total del ciclo de abastecimiento (proveedor, tránsito, aduanas, recibo e inspección), la definición de niveles de safety stock y el seguimiento estructurado de órdenes de compra.

- Además, se incorporó la ejecución de la fase 2 de LeanDNA, enfocada en la limpieza y depuración de datos del ERP, con el objetivo de asegurar que la información utilizada en la planificación sea confiable. Esta solución se caracteriza por ser práctica, de bajo costo y alineada a las necesidades reales de la operación.
- Se establecieron mecanismos de control que permiten dar sostenibilidad a la mejora en el tiempo. Como parte fundamental del proyecto, se definieron indicadores clave de desempeño (KPI), tales como la frecuencia de quiebres de stock, los paros de línea, las horas improductivas y el costo asociado a estas interrupciones. Estos indicadores permiten medir de forma objetiva el impacto de la mejora. Adicionalmente, se propusieron reuniones semanales de seguimiento entre Supply Chain y producción, así como la revisión constante de órdenes de compra abiertas y la comunicación periódica con proveedores.

En conjunto, el cumplimiento de estos objetivos específicos permitió no solo entender el problema en profundidad, sino también diseñar e implementar una solución estructurada que responde directamente a las causas identificadas, asegurando así una mejora real y sostenible en la gestión del abastecimiento.

Se establecieron mecanismos de control (KPI, reuniones, seguimiento a órdenes) que permiten dar sostenibilidad a la mejora en el tiempo.

Uno de los principales aportes del proyecto a la empresa es la creación de un sistema estructurado de gestión del abastecimiento, el cual permite anticipar problemas en lugar de reaccionar ante ellos. Además, la herramienta desarrollada en Excel puede ser utilizada no solo en la línea de catéter, sino también adaptarse a otras líneas de producción, lo que amplía el impacto del proyecto dentro de la organización.

En cuanto a los beneficiarios del proyecto, se identifican tanto beneficiarios directos como indirectos, los cuales se ven impactados de diferentes maneras a partir de la implementación de la propuesta.

✓ Beneficiarios directos

El equipo de Supply Chain y el área de producción son los principales beneficiarios, ya que participan directamente en la gestión del abastecimiento de materiales.

El equipo de Supply Chain se beneficia de forma integral, ya que dentro de sus funciones también se incluye la planificación de materiales. Con la implementación de la herramienta en Excel y las mejoras en el proceso, el equipo contará con una mejor visibilidad del estado del inventario, las órdenes de compra y los riesgos de desabastecimiento. Esto les permitirá anticiparse a los problemas, tomar decisiones con mayor tiempo y reducir la necesidad de actuar de forma reactiva.

Además, la implementación de la fase 2 de LeanDNA, enfocada en la limpieza y depuración de datos del ERP, permitirá que el equipo trabaje con información más confiable, eliminando errores como órdenes innecesarias, datos duplicados o

materiales mal configurados. Esto facilita el análisis y mejora la calidad de la planificación.

El área de producción se ve beneficiada porque disminuyen los paros de línea por falta de materiales. Esto permite una operación más estable, evita interrupciones constantes y facilita el cumplimiento del plan de producción. También reduce la presión operativa sobre el personal en piso, ya que se minimizan los cambios de última hora por falta de insumos.

En general, estos equipos contarán con un proceso más ordenado, mejor información y herramientas claras, lo que facilita su trabajo diario y mejora la toma de decisiones.

✓ Beneficiarios indirectos:

✓ La empresa en general también se beneficia, aunque no participe directamente en la gestión del inventario.

✓ A nivel organizacional, se logra una reducción de costos operativos, principalmente asociados a horas improductivas y pago de mano de obra sin generación de valor.

✓ Se mejora la eficiencia productiva, ya que al reducir los paros de línea se aprovecha mejor la capacidad instalada y se logra una operación más continua y estable.

- ✓ También se fortalece el cumplimiento con los clientes, al reducir atrasos en la producción y mejorar la capacidad de entrega en tiempo. Esto impacta positivamente la satisfacción del cliente y la imagen de la empresa.
- ✓ Adicionalmente, se impulsa una gestión más ordenada y basada en datos, lo que contribuye a una mejor toma de decisiones a nivel estratégico y operativo.

En conjunto, estos beneficios demuestran que la propuesta no solo mejora el trabajo diario del equipo de Supply Chain y producción, sino que también genera un impacto positivo en toda la organización. Desde el punto de vista económico, el proyecto demuestra beneficios claros. Se estima un ahorro aproximado de ₡5 542 800 asociado a la reducción de horas de producción detenida, frente a una inversión de ₡1 191 000. Esto representa una mejora significativa en los costos operativos.

En el corto plazo, el proyecto permite reducir paros de línea y mejorar la visibilidad del abastecimiento. En el mediano plazo, se logra una mejor planificación de materiales y mayor estabilidad en la operación. En el largo plazo, se establece una cultura de gestión preventiva basada en datos, lo que fortalece la toma de decisiones y la eficiencia del proceso.

En cuanto a la implementación, se concluye que durante el desarrollo del proyecto se logró avanzar hasta la fase 2 de LeanDNA, enfocada en la limpieza de datos del sistema ERP. Esta etapa es fundamental, ya que permite eliminar información incorrecta que afecta la planificación. Las fases posteriores quedan como oportunidad de mejora futura. Las principales inversiones realizadas corresponden

al desarrollo de la herramienta, el tiempo del equipo de trabajo, la ejecución de la fase 2 de LeanDNA y las licencias necesarias para operar, las cuales en conjunto representan una inversión relativamente baja en comparación con los beneficios obtenidos.

6.2. Recomendaciones

Como parte final del proyecto, se plantean las siguientes recomendaciones:

Específicas:

- Dar continuidad a la implementación de LeanDNA en sus siguientes fases, para aprovechar al máximo su capacidad analítica.
- Mantener actualizados los datos del sistema ERP para evitar nuevamente problemas de información “sucia”.
- Revisar periódicamente los niveles de safety stock para ajustarlos a cambios en la demanda o en los tiempos de abastecimiento.
- Asegurar el uso constante de la herramienta en Excel como parte del proceso diario.

Generales:

- Extender la solución a otras líneas de producción dentro de la empresa.
- Fortalecer la cultura de toma de decisiones basada en datos.

- Mantener el seguimiento mediante KPI y reportes a gerencia para asegurar la sostenibilidad de la mejora.

APENDICE

Apéndice 1

INSTRUCTIVO DE USO HERRAMIENTA DE CONTROL DE COSTOS

KAREN HERRERA HERRERA

MEDICAL



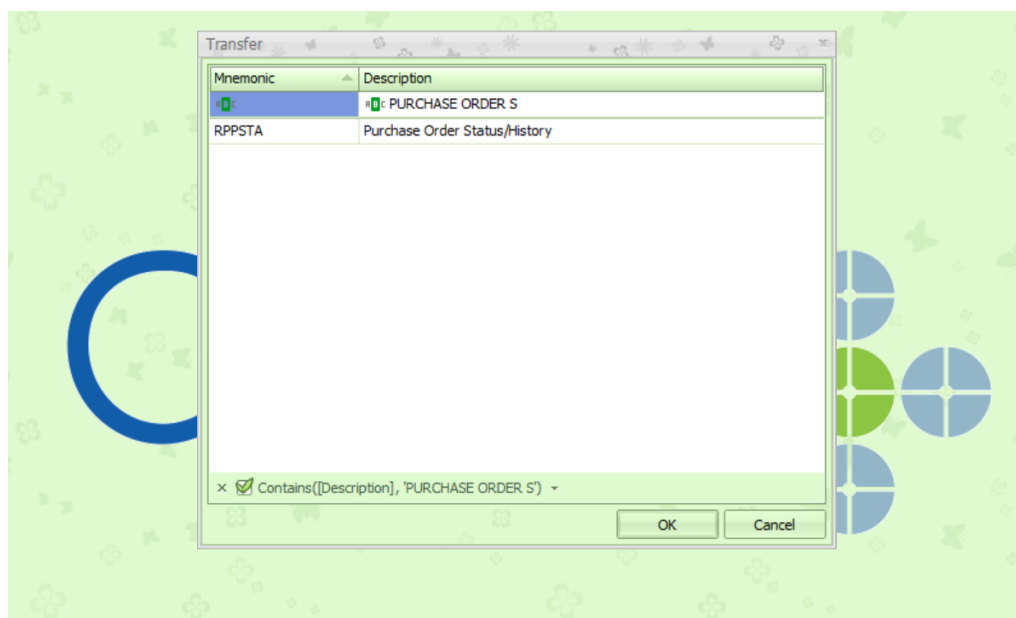
Objetivo

Detectar oportunamente materiales en riesgo de quiebre para prevenir paros de línea mediante la revisión diaria de inventario y órdenes abiertas.

PASO #1. Descarga de Reportes en M2M

A. Órdenes de Compra Abiertas

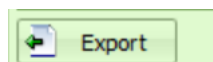
1. Ingresar a **M2M**.
2. Presionar **Alt + T**.
3. Buscar: **Purchase Orders Status/History**.



4. Colocar como "Facility" CR

5. Dar click en “Browse Data”

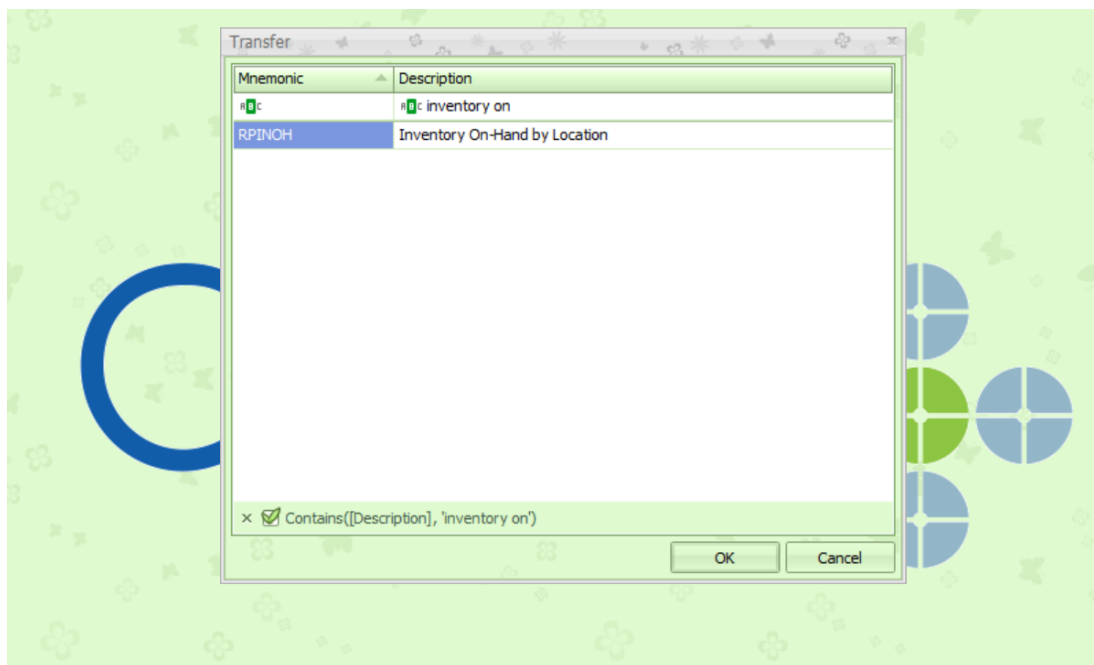
6. Ejecutar el reporte.



7. Exportar a **Excel**.

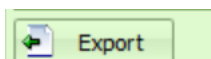
B. Inventario Disponible (OH)

1. Presionar **Alt + T**.
2. Buscar: **Inventory On-Hand by Location**.



3. Ejecutar el reporte.

4. Exportar a Excel.



PASO # 2. Actualizar Archivo “Control de Cortos”

A. Actualizar Órdenes Abiertas

1. Abrir el archivo **Control de Cortos**.
2. Ir a la pestaña “**Órdenes de Compra Abiertas**”.



3. Copiar y pegar el reporte descargado.

B. Actualizar Inventario (OH)

1. Ir a la pestaña “**OH**”.



2. Copiar y pegar el archivo de inventario descargado.

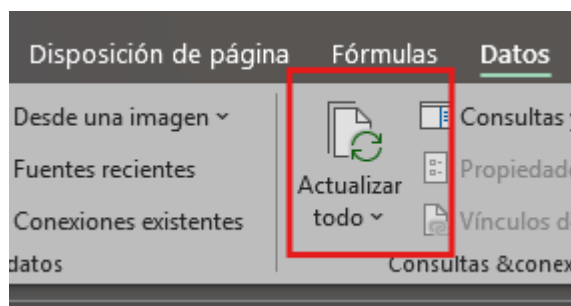
PASO #3. Actualizar Tablas Dinámicas

A. Pivot OPO

1. Ir a “**Pivot OPO**”.



2. Seleccionar la tabla.
3. Clic en **Datos** → **Actualizar**.

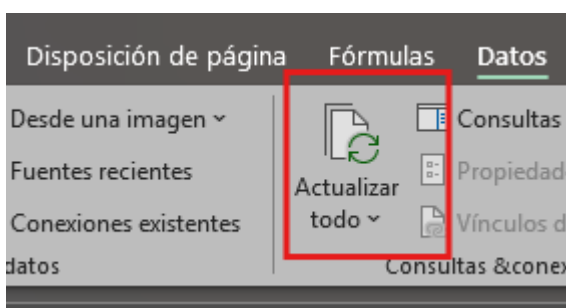


B. Pivot OH

- Ir a “**Pivot OH**”.



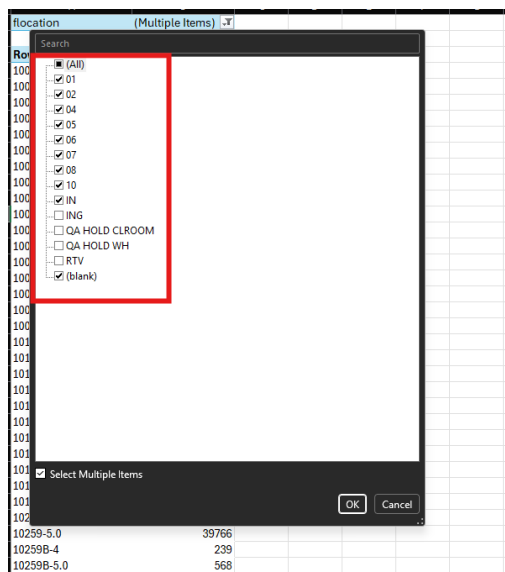
- Actualizar.



- Filtrar por **Localización**.

flocation (Multiple Items) ▾	
Row Labels	Sum of fonhand
100001-004	3400
100001-018	4300
100001-020	1000
100001-021	1886
100001-065	566
100001-102	2730
100001-103	8150
100001-104	9032
100001-105	5650
100001-106	3249
100001-107	8427

- Excluir:
 - ✓ QA Hold
 - ✓ ING
 - ✓ RTV

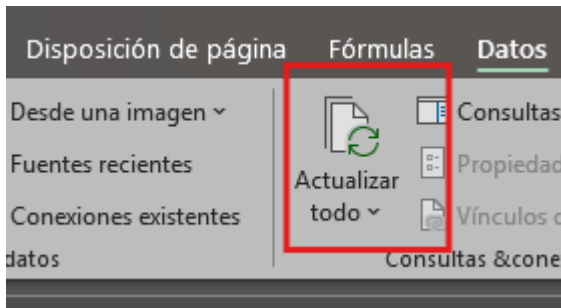


C. Calculadora

- Ir a “Calculadora”.



- Clic en **Datos** → **Actualizar todo**.



Revisar materiales marcados en rojo.

		Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Monday
		12-Apr	13-Apr	14-Apr	15-Apr	16-Apr	17-Apr	20-Apr	21-Apr	22-Apr	23-Apr	24-Apr	27-Apr	28-Apr	29-Apr	30-Apr	1-May	4-May
65		YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	NO	NO	NO	NO	YES	YES	YES
66		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
67		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
68		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
69		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
70		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
71		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
72		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
73		316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	316	3
74	PN																	
75	200010-091	4836	4521	10305	9989	9674	9358	9042	14827	14511	14195	13880	13564	13248	12933	12617	12301	119
76	200029-005	10637	10322	10006	9590	9375	9059	8743	8428	8112	7796	7481	7165	6849	6534	6218	5902	116
77	500040	3086	2771	2455	2139	1824	1508	1192	877	561	245	25135	24819	24503	24188	23872	23556	6
78	200012-031	12429	12114	11798	11482	11167	10851	10535	10220	9904	9588	25135	24819	24503	24188	23872	23556	232
79	200016-012	24384	24069	23753	23437	23122	22806	22490	22175	21859	21543	21228	20912	20597	20281	19966	19650	241
80	200016-003	19734	19419	19103	18787	18472	18156	17840	17525	17209	16893	16578	16262	15946	15631	15315	14999	146
81	200011-021	34768	34453	34137	33821	33506	33190	32874	32559	32243	31927	31612	31296	30980	30665	30349	30033	462

Daily production													
Enero		235,27778											
Febrero		235,27778											
Marzo		235,27778											
Abril		183,33333											
Mayo		183,33333											
Junio		183,33333											
Julio		427,77778											
Agosto		427,77778											
Septiembre		427,77778											
Octubre		488,88889											
Noviembre		488,88889											
Diciembre		488,88889											
PN	Desc	On hand	BOM	Piezas posibles	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado	domingo	lunes	
200010-091	Etched PTFE Liner, 0.181" x 0.002" x 4	10357	1	10357	87	11151	10916	10681	10446	10210	9975	9740	
200020-095	Etched PTFE with Pebax 5533 Strike L	16274	2	8137	67	16681	16446	16211	15976	15740	15505	15270	
200022-001	Pul Wire Assembly w/ MDR coating	266	1	266	14	79							
200102-031	.003" x .007" 304SS Wire	249200	145	17186	26	17791	17556	17320	17085	16850	16615	16379	
200016-012	UV Adhesive 204-GTH Gel-F	127	0	12700	30	14394	14159	13924	13689	18253	18018	17783	
200016-003	Loctite 4011	69	0	6900	30	7694	7459	7224	6989	6753	6518	6283	
100013-021	Marker Band 0.191" x .0015" x .039"	10043	1	10043	73	11537	11302	24267	24032	23796	23561	23326	
100013-006	Mandrels	491	0	4910	40	14040	2169	1934	1699	1465	1228	993	
100042-001	Tippling mandrel	10	0	4000	30	9294	9059	8824	8589	8353	8118	7883	
500001-243	50/50 Pebax 40D Inner	8650	1	8650	80	15944	15709	15474	15239	15003	14768	14533	
500001-244	50/50 Pebax 35D Outer	8300	1	8300	30	15594	15359	15124	14889	14653	14417	14183	
500001-245	Pebax 40D Distal Tip, Gray	8529	1	8529	59	15823	15588	15353	15118	14882	14647	14412	
500001-246	Pebax 55D Tip	8313	1	8313	43	15607	15372	15137	14902	14666	14431	14196	
500001-247	Nylon 11 Over MB & PR	8396	1	8396	26	15690	15455	15220	14985	14749	14514	14279	
500001-248	Pebax 72D Shim	5536	2	2768	98	10062	9827	9592	9357	9121	8886	8651	
500001-249	Nylon 11 Body	8019	1	8019	49	15313	15078	14843	14608	14372	14137	13902	

- ✓ Inventario disponible real
- ✓ Órdenes de compra abiertas
- ✓ Fecha estimada de llegada
- ✓ Lead Time
- ✓ Si la orden se colocó en el momento correcto

- Retraso en emisión de orden
- Demora del proveedor
- Falta de priorización
- Error en planificación

- Part Number
- Proveedor
- Número de PO
- Día estimado de paro
- Día de despacho del proveedor
- Comentarios relevantes

[illegible]

PASO #6. Comunicación

Presentar el Resumen de Cortos actualizado en la reunión de Planning a Gerencia de Supply Chain y Gerencia de Producción

Objetivo:

- Alertar riesgos
- Definir acciones preventivas
- Evitar paros de línea

ANEXOS

Anexo 1. Fuente de datos para el análisis de correlación entre paros de línea y horas improductivas para análisis de correlación.

HORAS IMPRODUCTIVAS											
LINEA	ENERO			FEBRERO			MARZO				
Línea 1	85			31			12				
Línea 2	26			8			9				
Línea 3	20			8			9				
Línea 4	29			15			10				
TOTAL	150			62			39				

Costo hora operario				Costo hora supervisor			
€				€			
2,300				6,500			

ENERO								FEBRERO								MARZO							
Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)	Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)	Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)	Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)	Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)	Costo hora operario	Total de personas	Costo total	Costo hora supervisor (único)
Línea 1	85	\$195,500.00	\$195,500.00	\$71,300.00	31	\$71,300.00	\$71,300.00	\$1,212,100.00	12	\$1,212,100.00	\$1,212,100.00	\$27,600.00	16	\$27,600.00	\$27,600.00	\$441,600.00	12	\$441,600.00	\$441,600.00	\$195,500.00	85	\$195,500.00	\$195,500.00
Línea 2	26	\$59,800.00	\$59,800.00	\$18,400.00	8	\$18,400.00	\$18,400.00	\$220,800.00	9	\$220,800.00	\$220,800.00	\$0.00	12	\$0.00	\$0.00	\$195,500.00	12	\$195,500.00	\$195,500.00	\$59,800.00	26	\$59,800.00	\$59,800.00
Línea 3	20	\$46,000.00	\$46,000.00	\$18,400.00	8	\$18,400.00	\$18,400.00	\$219,200.00	9	\$219,200.00	\$219,200.00	\$18,400.00	13	\$18,400.00	\$18,400.00	\$195,500.00	13	\$195,500.00	\$195,500.00	\$46,000.00	20	\$46,000.00	\$46,000.00
Línea 4	29	\$66,700.00	\$66,700.00	\$34,500.00	15	\$34,500.00	\$34,500.00	\$448,500.00	10	\$448,500.00	\$448,500.00	\$97,500.00	13	\$97,500.00	\$97,500.00	\$219,200.00	13	\$219,200.00	\$219,200.00	\$66,700.00	29	\$66,700.00	\$66,700.00
COSTO TOTAL		\$5,230,700.00	\$5,230,700.00	\$975,000.00		\$2,120,600.00	\$2,120,600.00	\$403,000.00		\$979,800.00	\$979,800.00	\$1,174,800.00		\$1,174,800.00	\$1,174,800.00	\$195,500.00		\$1,174,800.00	\$1,174,800.00	\$195,500.00		\$1,174,800.00	\$1,174,800.00

COSTO TOTAL	\$9,903,600.00
--------------------	-----------------------

Anexo 2. Registro de eventos de quiebres de stock y su causa respectiva.

Registro de eventos de quiebre de stock

MES	Material	Línea afectada	Causa del quiebre
ENERO	500001-249	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-248	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-245	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-243	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-244	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-254	Línea 1	Mala priorización
ENERO	500001-255	Línea 1	Mala priorización
ENERO	100005-002	Línea 1	Error en pronóstico de demanda
ENERO	100001-102	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-103	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-104	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-105	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-106	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-107	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	100001-108	Línea 1	Entregas tardías
ENERO	100001-086	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	200016-002	Línea 2	No consideracion de tiempos de transito
ENERO	520135	Línea 2	No consideracion de tiempos de transito
ENERO	100001-020	Línea 2	No consideracion de tiempos de transito
ENERO	200011-008	Línea 3	Seguimiento insuficiente al proveedor
ENERO	100001-018	Línea 3	Seguimiento insuficiente al proveedor
ENERO	200010-041	Línea 4	Retraso en la emisión de órdenes de compra
ENERO	200010-078	Línea 4	Compra urgente reactiva
ENERO	500001-038	Línea 4	Compra urgente reactiva
ENERO	200006-008	Línea 4	Compra urgente reactiva
FEBRERO	100001-104	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	100001-108	Línea 1	Entregas tardías
FEBRERO	100001-086	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	100001-105	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	100001-106	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	100001-020	Línea 2	Entregas tardías
FEBRERO	100001-018	Línea 3	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	200006-008	Línea 4	Retraso en la emisión de órdenes de compra
FEBRERO	500001-038	Línea 4	Compra urgente reactiva
MARZO	100001-104	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
MARZO	100001-108	Línea 1	Entregas tardías
MARZO	100001-086	Línea 1	Retraso en la emisión de órdenes de compra
MARZO	100001-018	Línea 3	Seguimiento insuficiente al proveedor
MARZO	200006-008	Línea 4	Compra urgente reactiva

7. CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

American Society for Quality. (2023). What is Six Sigma?
<https://asq.org/quality-resources/six-sigma>

American Society for Quality (ASQ). (2022). Flowchart. <https://asq.org/quality-resources/flowchart>

American Society for Quality (ASQ). (2022). Cause and effect diagram.
<https://asq.org/quality-resources/cause-and-effect>

American Society for Quality (ASQ). (2022). Pareto chart. <https://asq.org/quality-resources/pareto>

Antony, J., Sony, M., & Gutierrez, L. (2023). Lean Six Sigma for organizational excellence: A systematic review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(2), 305–329. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2022-0063>

Antony, J., Sony, M., McDermott, O., & Douglas, J. (2023). *Lean Six Sigma for manufacturing and service operations: A practical guide*. Routledge.
<https://www.routledge.com/Lean-Six-Sigma-for-Manufacturing-and-Service-Operations/Antony-Sony-McDermott-Douglas/p/book/9780367647759>

APICS. (2021). Inventory management best practices.
<https://www.apics.org>

ASQ. (2022). DMAIC methodology overview.

<https://asq.org/quality-resources/dmaic>

Bewick, V., Cheek, L., & Ball, J. (2003). Correlation and regression. *Critical Care*, 7(6), 451–459.

<https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/cc2401>

Cabezas Oviedo, J., & Molina Díaz, L. (2025). Gestión de inventarios en la cadena de suministro: análisis de modelos clásicos, avances tecnológicos y aplicaciones prácticas.

Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo.

<https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/266>

Cabezas Oviedo, N. I. (2026). Gestión inteligente de inventarios: innovaciones y aplicaciones en la cadena de suministro. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo.*

<https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/357>

Chopra, S., & Meindl, P. (2021). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Pearson.

Christopher, M. (2022). *Logistics & supply chain management* (6th ed.). Pearson Education.

<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/logistics--supply-chain-management/P200000006282>

Deloitte. (2023). Global supply chain trends.

<https://www.deloitte.com/global-supply-chain>

FDA. (2023). Quality system regulation for medical devices.

<https://www.fda.gov/medical-devices>

Gartner. (2024). Predictive analytics in supply chain.

<https://www.gartner.com>

George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for service: How to use Lean speed and Six Sigma quality to improve services and transactions*. McGraw-Hill.

<https://www.mheducation.com>

Hasbum, J., Ramírez, L., & Soto, M. (2022). Impacto del COVID-19 en la cadena de suministros. *Revista Tecnología en Marcha*.

https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5337

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management*. Pearson.

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2023). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (14th ed.). Pearson.

<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-management-sustainability-and-supply-chain-management/P200000006255>

Hayes, A. (2023). Correlation. Investopedia.
<https://www.investopedia.com/terms/c/correlation.asp>

IBM. (2023). Predictive analytics for inventory management.
<https://www.ibm.com/analytics>

Jin, X., Li, Y., Zhang, H., & Chen, R. (2025). Stochastic optimization of inventory at large-scale supply chains. arXiv.

<https://arxiv.org/abs/2502.11213>

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2021). *The balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business Review Press.

<https://store.hbr.org/product/the-balanced-scorecard/10163>

Kerzner, H. (2022). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (13th ed.). Wiley.

<https://www.wiley.com/enus/Project+Management%3A+A+Systems+Approach+to+Planning%2C+Scheduling%2C+and+Controlling%2C+13th+Edition-p9781119805379>

LeanDNA. (2024). Inventory optimization platform. <https://www.leandna.com>

Lean Enterprise Institute. (2021). Gemba walk. <https://www.lean.org/lexicon-terms/gemba-walk/>

Lean Enterprise Institute. (2021). Five Whys. <https://www.lean.org/lexicon-terms/five-whys/>

Liker, J. K., & Convis, G. L. (2021). *The Toyota way to Lean leadership*. McGraw-Hill. <https://www.mheducation.com/highered/product/toyota-way-lean-leadership-liker/M9781260468514.html>

Liker, J. K., & Convis, G. L. (2021). *The Toyota way to service excellence*. McGraw-Hill Education.

<https://www.mheducation.com/highered/product/toyota-way-service-excellence-liker/M9780071840549.html>

Maitra, S. (2024). A system-dynamic based simulation and Bayesian optimization for inventory management. arXiv.
<https://arxiv.org/abs/2402.10975>

McKinsey & Company. (2023). Digital supply chains and inventory risk.
<https://www.mckinsey.com>

McKinsey & Company. (2023). Managing supply chain disruptions and inventory risk.
<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/managing-supply-chain-disruptions-and-inventory-risk>

MDPI. (2023). Trends in Sustainable Inventory Management Practices in Industry 4.0. *Processes*, 13(4), 1131.
<https://www.mdpi.com/2227-9717/13/4/1131>

Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). John Wiley & Sons.
<https://www.wiley.com>

OECD. (2022). Using data and analytics to manage supply chain risks. OECD Publishing.

<https://www.oecd.org/industry/using-data-and-analytics-to-manage-supply-chain-risks.htm>

Ochoa-González, J., Mendoza-Quintanilla, L., & Quiroz-Flores, M. (2025). An integrated lean and machine learning approach to inventory management in automotive accessories SMEs. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 73(9), 125–134.

<https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V73I9P125>

Project Management Institute. (2021). *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). PMI.

<https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards/foundational/pmbok>

PwC. (2024). Supply chain cost optimization.

<https://www.pwc.com>

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2018). *The Six Sigma handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

<https://www.mheducation.com>

Riascos-Guerrero, J., Pérez, M., & López, A. (2024). Estrategias basadas en inteligencia artificial para la gestión de inventarios en la cadena de suministro. *Revista Tecnología en Marcha*.

https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/7271

Rodríguez, A., & Palallos, M. (2024). An Analysis of Supply Chain Management: Crafting a Plan for Supply Chain and Inventory Management. *International Journal of Science Engineering and Technology*.
https://www.researchgate.net/publication/379715282_An_Analysis_of_Supply_Chain_Management_Crafting_a_Plan_for_Supply_Chain_and_Inventory_Management

Shahnawaz, M., & Safder, M. (2025). Bridging theory and practice: A stochastic learning-optimization model for resilient automotive supply chains. arXiv.
<https://arxiv.org/abs/2511.06479>

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson Education.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-management/P200000003295>

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson Education.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/operations-management/P200000006283>

Wang, Y., Tang, X., et al. (2025). A machine learning-based study on the synergistic optimization of supply chain management and financial supply chains from an economic perspective. arXiv.
<https://arxiv.org/abs/2509.03673>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2023). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (3rd ed.). Simon & Schuster.
https://www.lean.org/WhoWeAre/NewsArticleDocuments/Lean_Thinking_3rd_Edition.pdf

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2023). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (updated ed.). Simon & Schuster.
<https://www.simonandschuster.com/books/Lean-Thinking/James-P-Womack/9780743249270>

Zijm, W. H. M., Klumpp, M., Regattieri, A., & Heragu, S. S. (2021). *Operations, logistics and supply chain management*. Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-72007-0>

CARTA DEL TUTOR

San José, 05 de mayo del 2026

**Departamento de Registro
Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad Hispanoamericana**

Estimados señores:

El estudiante Karen Adriana Herrera Herrera, cédula de identidad número 2-0813-0395 me ha presentado para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado “Diseño de un Modelo de gestión de inventarios basado en análisis predictivo y uso optimizado de hojas de cálculo y Lean DNA en Cirtec Medical, Costa Rica, durante el año 2026.”, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

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

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

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

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

Atentamente,

**Nombre: Leonor Murillo Alpízar
Cédula identidad N° 1-1080-0184
Carné Colegio Profesional N° IPI-35610**

San José, 29 de junio de 2026

Señores

Departamento de Registro

Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

En calidad de lector del proyecto de graduación presentado por la estudiante **Karen Herrera Herrera**, titulado "**DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS BASADO EN ANÁLISIS PREDICTIVO Y USO OPTIMIZADO DE HOJAS DE CALCULO Y LEAN DNA EN CIRTEC MEDICAL, COSTA RICA, DURANTE EL AÑO 2026**" para optar por el grado de **Bachillerato en Ingeniería Industrial**, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso y he evaluado aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

Es por esta razón que considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser trasladado al proceso de revisión por el filólogo.

Atentamente,

**NAHUM
MONTIEL
SALAS**

Digitally signed by
NAHUM MONTIEL
SALAS
Date: 2026.06.29
08:27:58 -06'00'

Ing. Nahum Montiel Salas, MBA.

Cédula: 3030980713

Carné CITEC: IPI-41226



Scanned with CamScanner

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

San José, 12 de Julio, 2026

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) **Karen Herrera Herrera** con número de identificación **280130395** autor (a) del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS BASADO EN ANÁLISIS PREDICTIVO Y USO OPTIMIZADO DE HOJAS DE CALCULO Y LEAN DNA EN CIRTEC MEDICAL, COSTA RICA, DURANTE EL AÑO 2026.** presentado y aprobado en el año 2026 como requisito para optar por el título de **BACHILLERATO EN INGENIERIA INDUSTRIAL; SI** autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

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

Cordialmente,


208130395
Firma y Documento de Identidad

ANEXO 1 (Versión en línea dentro del Repositorio)
LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y
PERMITIR LA CONSULTA Y USO

Parte 1. Términos de la licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional

Como titular del derecho de autor, confiero al Centro de Información Tecnológico (CENIT) una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, el autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito.
- b) Autoriza al Centro de Información Tecnológico (CENIT) a publicar la obra en digital, los usuarios puedan consultar el contenido de su Trabajo Final de Graduación en la página Web de la Biblioteca Digital de la Universidad Hispanoamericana
- c) Los autores aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) Los autores manifiestan que se trata de una obra original sobre la que tienen los derechos que autorizan y que son ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante el Centro de Información Tecnológico (CENIT) y ante terceros. En todo caso el Centro de Información Tecnológico (CENIT) se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- e) Autorizo al Centro de Información Tecnológica (CENIT) para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- f) Acepto que el Centro de Información Tecnológico (CENIT) pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- g) Autorizo que la obra sea puesta a disposición de la comunidad universitaria en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DEL CENTRO DE INFORMACIÓN TECNOLÓGICO (CENIT), EL AUTOR GARANTIZA QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

DECLARACIÓN JURADA

Yo KAREN HERRERA HERRERA, cédula de identidad número 2-0813-0395, *en condición de egresado de la carrera de INGENIERIA INDUSTRIAL* de la Universidad Hispanoamericana, y advertido de las penas con las que la ley castiga el falso testimonio y el perjurio, declaro bajo la fe del juramento que dejo rendido en este acto, que mi trabajo de graduación, para optar por el título de BACHILLERATO titulado “DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS BASADO EN ANÁLISIS PREDICTIVO Y USO OPTIMIZADO DE HOJAS DE CALCULO Y LEAN DNA EN CIRTEC MEDICAL, COSTA RICA, DURANTE EL AÑO 2026.” es una obra original y para su realización he respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derechos de Autor y Derecho Conexos, número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; especialmente el numeral 70 de dicha ley en el que se establece: “Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original”. Asimismo, que conozco y acepto que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. Firmo, en fe de lo anterior, en la ciudad de *HEREDIA*, el 26 de JULIO de 2026.

