

DECLARACIÓN JURADA

Yo Maikol Andres Chinchilla Batista, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 2-0819-0465 egresado de la carrera de Bachillerato Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Mejora de la eficiencia operativa en el cuarto de recubrimiento químico mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la empresa de dispositivos medicos durante el primer cuatrimestre de 2025, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los veinticuatro días del mes de Junio del año dos mil veinticinco.

Maikol Ch.

Firma del estudiante

Cédula: 2 0819 0465

Heredia, 25 de junio de 2025

Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Maikol Andrés Chinchilla Batista, cédula de identidad número 2-0819-0465, me ha presentado, el trabajo de investigación denominado: "MEJORA DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN EL CUARTO DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA DE DISPOSITIVOS MEDICOS DURANTE EL PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025", 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 de todos los capítulos del documento 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, las cuales fueron concluidas a la satisfacción por la estudiante.

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

a)	ORIGINALIDAD 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 INVESTIGACIÓN	30%	29%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEÓRICO	20%	18%
	TOTAL		95%

En virtud de la calificación obtenida, se aprueba el proyecto de graduación, por lo que se puede realizar el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

FEDERICO ANTONIO

SALAZAR JIMENEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por FEDERICO ANTONIO SALAZAR JIMENEZ (FIRMA)
Fecha: 2025.06.25 13:34:03 -06'00'

Firma.....

Nombre del profesor... Federico Salazar Jiménez.

Cédula... 1-0914-0803

Carné del Colegio 1782.

San José, 21 de julio de 2025.

Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana

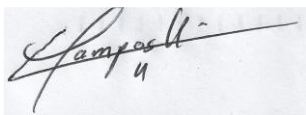
Estimados señores:

Hago constar en mi condición de lector, que he revisado el trabajo del estudiante Maikol Chinchilla Batista, cédula: 2-0819-0465 titulado: *"MEJORA DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN EL CUARTO DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA DE DISPOSITIVOS MEDICOS DURANTE EL PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025"* para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

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

Sin más por el momento,

Atentamente:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Campos Ureña', with a horizontal line extending to the right.

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



**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, martes, 12 de agosto de 2025.

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Maikol Andres Chinchilla Batista, con número de identificación 208190465, autor (a) del trabajo de graduación titulado Mejora de la eficiencia operativa en el cuarto de recubrimiento químico mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la empresa de dispositivos médicos durante el primer cuatrimestre de 2025, presentado y aprobado en el año 2025 como requisito para optar por el título de bachillerato en ingeniería industrial, SÍ / NO autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

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

Cordialmente,

Maikol Andres Chinchilla Batista
208190465

**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.

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEJORA DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN EL
CUARTO DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA
METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA DE
DISPOSITIVOS MEDICOS DURANTE EL PRIMER
CUATRIMESTRE DE 2025

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

Alumno: Maikol Chinchilla Batista

Tutor: Lic. Federico Salazar Jiménez

Heredia, 2025

DECLARACIÓN JURADA

DECLARACIÓN JURADA

Yo Maikol Andres Chinchilla Batista, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 2-0819-0465 egresado de la carrera de Bachillerato Ingeniería Industrial de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato Ingeniería Industrial, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Mejora de la eficiencia operativa en el cuarto de recubrimiento químico mediante la aplicación de la metodología DMAIC en la empresa de dispositivos medicos durante el primer cuatrimestre de 2025, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los veinticuatro días del mes de Junio del año dos mil veinticinco.

Maikol Ch.

Firma del estudiante

Cédula: 2 0819 0465

CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR

Heredia, 25 de junio de 2025

**Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana**

Estimados señores:

El estudiante Maikol Andrés Chinchilla Batista, cédula de identidad número 2-0819-0465, me ha presentado, el trabajo de investigación denominado: "MEJORA DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN EL CUARTO DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA DE DISPOSITIVOS MEDICOS DURANTE EL PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025", 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 de todos los capítulos del documento 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, las cuales fueron concluidas a la satisfacción por la estudiante.

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

a)	ORIGINALIDAD 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 INVESTIGACIÓN	30%	29%
d)	RELEVANCIA DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20%	18%
e)	CALIDAD, DETALLE DEL MARCO TEÓRICO	20%	18%
	TOTAL		95%

En virtud de la calificación obtenida, se aprueba el proyecto de graduación, por lo que se puede realizar el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

FEDERICO ANTONIO
SALAZAR JIMENEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por FEDERICO
ANTONIO SALAZAR JIMENEZ (FIRMA)
Fecha: 2025.06.25 13:34:03 -06'00'

Firma.....

Nombre del profesor...Federico Salazar Jiménez.

Cédula...1-0914-0803

Carné del Colegio 1782.

CARTA DE ACEPTACIÓN DE LA EMPRESA

Alajuela, 20 / Noviembre / 2024

Señores
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:


Me permito saludarle y a la vez comunicarle que la empresa de dispositivos médicos ha autorizado el desarrollo del proyecto de graduación para optar por el nivel de bachillerato, en modalidad presencial del estudiante Maikol Andrés Chinchilla Batista, cédula 2-0819-0465, de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Hispanoamericana, a través de un proyecto que busca optimizar la eficiencia en el cuarto de recubrimiento químico, dentro de las responsabilidades que el estudiante desarrollará se encuentran:

- Toma de tiempos.
- Análisis de capacidad.
- Creación de herramienta con requerimiento, capacidad y tiempos de ciclo.

El proyecto se desarrollará en el período de enero – abril 2025 y será supervisado por la siguiente persona:

- Esteban Gutiérrez Villalobos

Atentamente,



Esteban Gutiérrez Villalobos

Puesto: Manager Business Excellence

Institución: Empresa de dispositivos médicos

Correo electrónico: esteban.gutierrez@microvention.com

Teléfono: 88752593

CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR

San José, 21 de julio de 2025.

Señores
Registro
Universidad Hispanoamericana

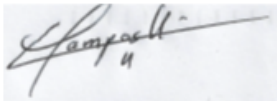
Estimados señores:

Hago constar en mi condición de lector, que he revisado el trabajo del estudiante Maikol Chinchilla Batista, cédula: 2-0819-0465 titulado: *"MEJORA DE LA EFICIENCIA OPERATIVA EN EL CUARTO DE RECUBRIMIENTO QUÍMICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN LA EMPRESA DE DISPOSITIVOS MEDICOS DURANTE EL PRIMER CUATRIMESTRE DE 2025"* para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Industrial.

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

Sin más por el momento,

Atentamente:



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

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN JURADA.....	2
CARTA DE APROBACIÓN DEL TUTOR	3
CARTA DE ACEPTACIÓN DE LA EMPRESA.....	4
CARTA DE APROBACIÓN DEL LECTOR.....	5
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	13
RESUMEN EJECUTIVO	14
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	16
1.1 Descripción General del Proyecto.....	16
1.2 Identificación de la Empresa	17
1.2.1 Descripción General de la Empresa	17
1.2.2 Antecedentes de la Empresa.....	18
1.3 Planteamiento del Problema	19
1.3.1 Definición y medición del Problema.....	19
1.3.2 Justificación del Problema.....	20
1.4 Objetivos de la Investigación.....	22
1.4.1 Objetivo General	22
1.4.2 Objetivos Específicos	22
1.5 Alcances y Limitaciones	23
1.5.1 Alcances	23
1.5.2 Limitaciones	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1 Marco Conceptual General Relativo a la Carrera	25
2.1.1 Ingeniería Industrial.....	25
2.1.2 Estudio de tiempos y movimientos	25
2.1.3 Control de Inventarios y Gestión de Materiales	27
2.1.4 Manufactura esbelta (Lean Manufacturing)	28
2.1.5 Método Kaizen	30
2.2 Marco Conceptual Atinente a la Gestión del Proyecto.....	30
2.2.1 Gestión de Proyectos Industriales	30

2.2.2 Metodologías de Gestión de Proyectos	31
2.2.3 Metodología DMAIC	32
2.2.3.1 Definir.....	33
2.2.3.2 Medir	33
2.2.3.3 Analizar	33
2.2.3.4 Implementar (Mejorar)	33
2.2.3.5 Controlar	34
2.2.4 Diagrama de Flujo	35
2.2.5 Gemba Walk	37
2.3 Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto.....	38
2.3.1 Impacto en Calidad y Satisfacción del Cliente	38
2.4 Antecedentes de Proyectos o Experiencias Semejantes.....	39
2.4.1 Proyectos de Mejora en la Industria de Dispositivos Médicos	39
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	40
3.1 Metodología para la definición del problema	40
3.1.1 Actividades o herramientas para definir el problema	40
3.2 Metodología para la medición y respaldo de proyecto.....	42
3.2.1 Actividades y herramientas utilizadas para medir el problema.....	42
3.3 Metodología para la propuesta de mejora, construcción o puesta en práctica de un nuevo proceso, producto o servicio.....	43
3.3.1 Actividades y herramientas utilizadas para realizar la propuesta de mejora	43
3.4 Metodología para la implementación del proyecto.....	45
3.4.1 Actividades y herramientas utilizadas para la propuesta de implementación.....	45
3.5 Metodología para la verificación, aseguramiento, control y seguimiento de resultados. ...	47
3.5.1 Herramientas utilizadas en la verificación, control y seguimiento	48
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE CAUSA	49
4.1 Introducción.....	49
4.2 Descripción del comportamiento actual del proceso.....	49
4.2.1 Observación directa y gemba walk.....	49
4.2.2 Descripción de datos	52
4.2.3 Diagrama de flujo del proceso.....	53

4.2.4 Aportes del personal operativo (entrevistas).....	54
4.3 Análisis cuantitativo del uso de recursos	57
4.3.1 Tiempos de Ciclo.....	57
4.3.2 Análisis de Capacidad	67
4.3.3 Diagramas de Pareto	76
4.3.4 Análisis de utilización de recursos por proceso.....	79
4.4 Análisis de causa raíz	81
4.4.1 Técnica de los 5 Por qué.....	81
4.5 Análisis de costos asociados a la capacidad instalada y utilización.....	82
4.5.1 Introducción.....	82
4.5.2 Costos de Personal	82
4.5.3 Costos de Equipos	83
4.5.4 Análisis consolidado	84
CAPÍTULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN	86
5.1 Introducción.....	86
5.2 Principales causas y soluciones propuestas.....	87
5.3 Argumentos de la propuesta.....	88
5.3.1 Subutilización de recursos humanos.....	88
5.3.2 Capacidad instalada y cuello de botella	92
5.3.3 parque de equipos actual.....	95
5.4 Detalle de la solución propuesta.....	97
5.4.1 Redistribución del personal.....	97
5.4.2 Optimización de equipos.....	98
5.4.3 Aumento de la producción diaria.....	98
5.4.4 Balanceo de carga.....	98
5.5 Control y sostenibilidad de la solución	98
5.6 Evaluación económica general	99
5.6.1 Consideraciones de la evaluación económica	100
5.6.2 Balance económico general.....	101
5.7 Riesgos y consideraciones	102

5.8	Conclusión del capítulo.....	103
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		104
6.1	Conclusiones Generales del Proyecto.....	104
6.2	Cumplimiento de Objetivos del Proyecto	104
6.3	Beneficios Económicos Estimados.....	105
6.4	Conclusiones Específicas de la Solución Propuesta	105
6.5	Recomendaciones Generales	106
6.6	Recomendaciones sobre la Implementación (para futuro trabajo).....	106
6.7	Implicaciones Económicas a Corto, Mediano y Largo Plazo.....	107
6.8	Inversiones Requeridas (estimadas)	107
6.9	Consideraciones Finales	107
CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA.....		109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudio de tiempos y movimientos.	27
Tabla 2 Fase DMAIC Definir.	41
Tabla 3 Fase DMAIC Medir.	43
Tabla 4 Fase DMAIC Analizar.	45
Tabla 5 Fase DMAIC Mejorar.	47
Tabla 6 Fase DMAIC Control.	48
Tabla 7 Distribución de equipos y de personal.	53
Tabla 8 Fórmula de muestreo aplicada.	60
Tabla 9 Calentamiento de Plasma.	61
Tabla 10 Mezcla B.	62
Tabla 11 Horneado Mezcla B.	63
Tabla 12 Mezcla T.	65
Tabla 13 Horneado Mezcla T.	66
Tabla 14 Recopilación de información.	68
Tabla 15 Requerimiento de personal.	69
Tabla 16 Capacidad de producción.	71
Tabla 17 Resumen de capacidad por día.	71
Tabla 18 Porcentaje de utilización y holgura por persona.	73
Tabla 19 Resumen porcentaje utilización y holgura por persona.	73
Tabla 20 Porcentaje de utilización y holgura por equipo.	74
Tabla 21 Resumen porcentaje utilización y holgura por equipo.	75
Tabla 22 Técnica de los 5 Porqués.	81
Tabla 23 Costos de personal.	83
Tabla 24 Costos de equipos.	84
Tabla 25 Resumen de costos.	84
Tabla 26 Comparación de causas y propuestas.	88
Tabla 27 Resumen de beneficios esperados.	91
Tabla 28 Resumen de beneficios esperados.	95
Tabla 29 Resumen de beneficios esperados.	97

Tabla 30 Resumen consolidado de beneficios económicos	100
Tabla 31 Análisis comparativo económico de la propuesta de mejora	102
Tabla 32 Riesgos y consideraciones.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Gestión y control de inventarios.	28
Ilustración 2 Metodología DMAIC.	35
Ilustración 3 Diagrama de flujo.	36
Ilustración 4 Diagrama de Flujo área de recubrimiento químico.	54
Ilustración 5 Fórmula de muestreo.	58
Ilustración 6 Gráfico de Pareto de utilización del personal.	76
Ilustración 7 Gráfico de Pareto de holgura del personal.	77
Ilustración 8 Gráfico de Pareto de utilización de los equipos.	78
Ilustración 9 Gráfico de Pareto de holgura de los equipos.	78
Ilustración 10 Cronograma operativo.	80

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

KPI (*Key Performance Indicator* = Indicador Clave de Desempeño): métrica utilizada para medir la eficiencia y efectividad de procesos o actividades dentro de la empresa.

OEE (*Overall Equipment Effectiveness* = Eficiencia Global del Equipo): Indicador que mide la productividad de los equipos considerando disponibilidad, rendimiento y calidad.

DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*): Metodología de mejora continua utilizada para optimizar procesos y solucionar problemas en ingeniería industrial.

5 Porqués (nombre original *Five Whys*): Técnica de análisis para identificar la causa raíz de un problema preguntando repetidamente “¿Por qué?”.

RESUMEN EJECUTIVO

Chinchilla Batista, Maikol. (2025). Optimización de recursos humanos y equipos en el proceso de recubrimiento químico mediante análisis de capacidad y redistribución de cargas de trabajo. [Proyecto de graduación para optar por el Bachillerato en Ingeniería Industrial, Universidad Hispanoamericana]. Profesor tutor: Lic. Federico Salazar Jiménez.

El presente proyecto aborda el problema de subutilización significativa de recursos humanos y equipos en el proceso de recubrimiento químico de una empresa manufacturera. El análisis reveló niveles de holgura superiores al 96 % en personal operativo y una utilización de equipos de mezcla inferior al 12 %, lo cual genera costos elevados por tiempos improductivos, mantenimiento, consumo energético y espacio físico ocioso.

El objetivo general del proyecto fue optimizar el uso de recursos existentes sin requerir inversiones de capital, mediante el diagnóstico detallado de la capacidad instalada, la identificación de oportunidades de mejora y el diseño de soluciones orientadas al balanceo de cargas de trabajo, reasignación de tareas y mejor aprovechamiento de la capacidad ociosa. El alcance contempló el área de recubrimiento químico y se limitó a análisis de capacidad, redistribución de recursos y evaluación económica preliminar sin incluir la implementación real de las soluciones.

La metodología utilizada incluyó el desarrollo de una herramienta de análisis en Excel, el levantamiento de tiempos de ciclo por proceso, la simulación de escenarios de carga de trabajo y el cálculo de niveles de utilización de personal y equipos. El diagnóstico permitió identificar cómo principales causas raíz: la falta de herramientas de planificación, planificación empírica de la producción, dimensionamiento ineficiente de lotes, y ausencia de redistribución de tareas auxiliares.

Las soluciones propuestas incluyeron: la redistribución del personal hacia actividades de valor agregado, el balanceo de carga entre procesos, consolidación de lotes para optimizar la capacidad instalada, la eliminación de equipos ociosos y la sincronización de tareas para minimizar tiempos muertos. Los beneficios proyectados incluyen ahorros por reducción de personal subutilizado, ingresos adicionales por aumento de producción, disminución de costos operativos en mantenimiento y energía, y una mejora integral de la eficiencia operativa con un impacto económico total superior a \$428,000 anuales.

Aunque el proyecto no contempló la implementación directa, se diseñó un plan de control, seguimiento y gestión del cambio para facilitar su futura ejecución, destacando como conclusión general que es posible transformar la subutilización de recursos actuales en una operación eficiente, rentable y preparada para enfrentar incrementos de demanda, sin necesidad de grandes inversiones de capital.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Descripción General del Proyecto

El proyecto de optimización de procesos en el área de recubrimiento químico tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de manufactura, mediante la implementación de un sistema integral de medición, control y mejora continua. Actualmente, esta área presenta diversas debilidades en su gestión de producción, las cuales afectan tanto la capacidad de los procesos como la utilización de los recursos disponibles, incluyendo equipos, materiales y personal. Estas debilidades incluyen la falta de visibilidad sobre la capacidad de los procesos, un uso ineficiente de los equipos y operarios, una gestión deficiente de los materiales, y la incertidumbre sobre la cantidad exacta del personal requerido para cada turno de producción.

El proyecto tiene como reto principal abordar estos problemas para maximizar la eficiencia operativa, reducir desperdicios y optimizar la utilización de los recursos. Esto se logra mediante la implementación de medidas clave, como la recolección de datos precisos sobre la capacidad de los procesos, la utilización de los equipos y el consumo de materiales, así como la medición de la productividad del personal. La identificación y análisis de las causas raíz de los problemas permitirá desarrollar soluciones prácticas que eliminen las ineficiencias, como la mejora de la asignación del personal según la demanda de producción y la optimización de las técnicas de aplicación de recubrimiento para reducir el desperdicio de materiales.

Al optimizar el uso de los recursos clave en los procesos de producción, la empresa no solo podrá reducir sus costos de manufactura, sino también mejorar la calidad de sus productos, acortar los tiempos de entrega y fortalecer su posición en el mercado. Además, el proyecto permitirá a la empresa alcanzar una mayor capacidad de respuesta ante las demandas del mercado, lo que se traducirá en una mejora en su competitividad a largo plazo.

La propuesta del proyecto seguirá un enfoque estructurado que incluye la definición de los problemas y objetivos, la medición de los procesos, el análisis de las causas raíz, la mejora de los procesos y el establecimiento de controles para garantizar la sostenibilidad de las mejoras. De esta forma, se logrará una mejora continua en la gestión de la producción del área de recubrimiento químico, optimizando tanto los recursos como los tiempos de producción.

1.2 Identificación de la Empresa

1.2.1 Descripción General de la Empresa

Empresa de dispositivos médicos es una empresa internacional que se especializa en desarrollar, diseñar y producir equipos médicos innovadores. Esta empresa con sede en Costa Rica participa en la creación de productos para mejorar la calidad de vida de los pacientes, ayudando a mejorar su bienestar y salud. Se centra en investigar y desarrollar soluciones tecnológicas avanzadas para satisfacer las necesidades específicas del cuerpo humano, proporcionando equipos médicos precisos, efectivos y accesibles. Se producen de 15 a 20 productos diferentes, incluidos dispositivos para tratar enfermedades crónicas, monitoreo de la salud y rehabilitación funcional. Cada producto está diseñado visualmente, seguro y adaptado a las necesidades del mercado mundial de salud. La misión es contribuir a un futuro más saludable a través de la innovación y la calidad continua en cada uno de los productos.

Misión: Mejorar la vida de las personas a través de la creación de equipos médicos de alta calidad y tecnologías avanzadas. Tratamos de proporcionar soluciones creativas que permitan a los pacientes vivir con comodidad, salud y bien, mientras que se apoya al personal médico en su trabajo diario.

Visión: Ser reconocidos como líderes mundiales en la producción de equipos médicos innovadores que marquen una diferencia significativa en los pacientes, se aspira a ser la primera opción para hospitales, clínicas y centros de salud en todo el mundo, a través de productos que

no solo mejoran la salud, sino que también cambian la experiencia del paciente y la efectividad del tratamiento.

Valores:

Innovación: Se compromete con la investigación y el desarrollo continuo de nuevas soluciones tecnológicas para mejorar la atención médica y la calidad de vida de los pacientes.

Calidad: Los productos cumplen con los más altos estándares de calidad y seguridad, garantizando su eficacia y fiabilidad en el tratamiento y cuidado de la salud.

Responsabilidad social: Se cree en la importancia de contribuir a la sociedad, no solo a través de los productos, sino que también apoyando iniciativas que mejoren el acceso a la salud en comunidades vulnerables.

1.2.2 Antecedentes de la Empresa

A lo largo del siglo XX, una pequeña instalación en EE. UU. fue el origen de una empresa de dispositivos médicos que, con el tiempo, crecería hasta convertirse en un referente en su industria médica. Su comunidad global, que supera los 2200 profesionales entre ingenieros, químicos, investigadores, fabricantes y comercializadores, comparte un objetivo común: desarrollar tecnologías que mejoren de manera significativa la vida de los pacientes. Desde sus inicios, la compañía se dedicó a crear y comercializar dispositivos médicos diseñados para mejorar el tratamiento de enfermedades en los vasos sanguíneos.

En sus primeros años, la empresa se centró en la creación de varios prototipos, lo que le permitió, posteriormente, orientar sus esfuerzos hacia la terapia de aneurismas. Este enfoque condujo al desarrollo de una línea de productos endovasculares, un avance fundamental en el tratamiento de los trastornos vasculares.

Ya en el siglo XXI, la empresa experimentó un crecimiento significativo. Hoy, ha lanzado más de 55 productos al mercado, ampliando su campo de acción más allá de las enfermedades cerebrales para abarcar el tratamiento de accidentes cerebrovasculares, trastornos en arterias y diversas malformaciones vasculares. La compañía continúa innovando y buscando soluciones que mejoren la calidad de vida de los pacientes a nivel mundial, consolidando su posición como líder en la industria médica.

1.3 Planteamiento del Problema

1.3.1 Definición y medición del Problema

El área de recubrimiento químico tiene varias debilidades importantes en la gestión de recursos y procesos, lo que restringe la eficiencia operativa y crea costos innecesarios. La ausencia de control y visibilidad en el uso de equipos, materiales y personal reduce la capacidad de la empresa para planificar y llevar a cabo operaciones de forma efectiva. Esta falta de información clara sobre la producción y los recursos disponibles afecta la competitividad y la rentabilidad de la empresa, formando un ciclo de ineficiencia que influye directamente en los costos de fabricación.

Manifestaciones del problema:

Desconocimiento de la capacidad de los procesos y del área: La empresa no comprende bien cuánto puede producir en cada turno (turno A y B), lo que dificulta planificar eficientemente la capacidad de los procesos. Esto resulta en una producción ineficaz, ya que no se conocen los límites operativos ni la demanda real de cada turno.

Esta falta de medición exacta genera desajustes en los tiempos de los procesos, evitando una producción eficiente y aumentando el riesgo de no alcanzar los objetivos planeados.

Desconocimiento de la utilización de los equipos y de personal: La falta de claridad sobre cómo se utiliza el personal y los equipos resalta que no se están evaluando ni mejorando los

recursos dentro del área. Esto puede conducir a tiempos muertos no previstos o recargas de trabajo en los operarios, impactando la productividad y efectividad. Un análisis y mapeo de cómo se utilizan los recursos ayudaría a identificar ineficiencias y aumentar el rendimiento de cada máquina y operario.

Gestión ineficaz de los materiales: La empresa carece de un control adecuado sobre el consumo de insumos y recursos, esto genera variabilidad en la cantidad de material usado en cada ciclo de producción. Esta falta de gestión de los materiales incrementa la probabilidad de desperdicios y afecta la rentabilidad del producto. Un seguimiento más detallado permitiría mejorar el uso de los materiales, disminuir el desperdicio y optimizar la previsión de demanda de insumos.

Desconocimiento de la cantidad de personal requerida: El área de recubrimiento químico no tiene claridad sobre cuántos operarios se necesitan en cada proceso del área ni en cada turno para lograr satisfacer la demanda de producción. Esto sucede por falta de control y medición precisa con respecto al uso del personal y la distribución de las tareas. La asignación incorrecta de personal puede resultar en la subutilización o sobrecarga de trabajo de los recursos humanos, afectando la eficiencia y la calidad del proceso productivo.

1.3.2 Justificación del Problema

La propuesta de este proyecto busca identificar y proponer mejoras a las debilidades en la gestión de los recursos dentro del área de recubrimiento químico. La falta de claridad en el uso de equipos, materiales y del personal ha restringido la capacidad operativa de la empresa, causando costos altos y desperdicios innecesarios. Al aumentar la claridad y un control sobre estos recursos clave, se logrará una optimización en los procesos que reduciría fuertemente los altos costos de manufactura y podría mejorar la competitividad de la empresa en el mercado.

Acciones Propuestas y Beneficios Esperados:

Optimización de los recursos clave: Se sugiere crear un sistema de medición y control que maximice el uso de equipos, materiales y personal, asegurando que cada recurso se utilice de forma más eficiente y efectiva. Esto ayudaría a reducir tiempos muertos, disminuir el desperdicio de materiales y evitar la sobrecarga de trabajo, lo que podría llevar a una fuerte mejora en la rentabilidad de la empresa.

Mejora de la rentabilidad: Con la disminución de los costos operativos y la eliminación de desperdicios, se espera que la empresa mejore sus márgenes de beneficio. Además, al optimizar la producción, la empresa podría acortar los tiempos de entrega de los productos, lo que aumentaría la satisfacción del cliente y mejoraría la posición competitiva de la empresa en el mercado.

Aumento de la competitividad en el mercado: Se anticipa que una mayor eficiencia operativa y un control más eficaz de los recursos permitirían a la empresa ofrecer productos de mejor calidad a menores costos. Esto podría colocar a la empresa como líder en el mercado. Además, la capacidad de responder más rápido a las demandas del mercado sería un factor diferenciador frente a la competencia.

Sostenibilidad a largo plazo: A través de la implementación de herramientas de medición y control, la propuesta busca tener un impacto positivo en los costos a corto plazo, pero también establecer las bases para la sostenibilidad y el crecimiento a largo plazo de la empresa. La optimización de los recursos y la mejora en la calidad operativa serían clave para garantizar la viabilidad y competitividad del negocio en el futuro.

La idea de llevar a cabo este proyecto busca no solo aumentar la eficiencia operativa, sino también dar a la empresa una ventaja competitiva importante. Esto haría posible ofrecer

productos de mejor calidad, disminuir los costos de producción y optimizar los tiempos de entrega, factores esenciales para mejorar la competitividad en el mercado.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar, mediante la metodología DMAIC, un sistema para la gestión integral del área de recubrimiento químico, que optimice los recursos clave (equipos, materiales y personal), reduzca los costos operativos y mejore la competitividad empresarial mediante la eficiencia operativa.

1.4.2 Objetivos Específicos

Proponer un sistema de medición para calcular la capacidad de los procesos en el área de recubrimiento químico, como base para optimizar la planificación y programación de la producción en ambos turnos (A y B).

Recomendar herramientas y estrategias para mejorar la utilización de los equipos y del personal en el área de recubrimiento químico, reduciendo tiempos muertos y optimizando la asignación de recursos humanos.

Plantear un sistema de control para los materiales del área de recubrimiento químico, con el propósito de minimizar el desperdicio de recursos y mejorar la previsión en la gestión de inventarios.

Definir un modelo que permita calcular el número óptimo de personal requerido por turno, ajustado a las necesidades de producción y orientado a optimizar la eficiencia operativa.

Elaborar un plan de mejora continua que garantice la sostenibilidad de las propuestas y contemple herramientas adaptables a futuras necesidades y cambios en el entorno de producción.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Alcance: El proyecto se enfocará en la propuesta de soluciones para optimizar la gestión de recursos en el área de recubrimiento químico de la empresa. Su objetivo principal será mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos de manufactura y aumentar la competitividad mediante el análisis, control y mejora continua de los recursos clave: equipos, materiales y personal.

El alcance incluirá la evaluación de la capacidad de los procesos, el uso de los equipos y la asignación del personal durante los turnos de trabajo. Se identificarán ineficiencias en la productividad del personal y el uso de los equipos, como tiempos muertos y sobrecargas de tareas, para recomendar estrategias de optimización acordes a las demandas de producción.

Adicionalmente, se analizará la gestión de materiales con el objetivo de reducir el desperdicio y mejorar el control del consumo. Sobre esta base, se propondrán sistemas de control que ajusten el consumo de materiales a las necesidades reales de producción.

El alcance se limitará al área de recubrimiento químico e incluirá la elaboración de recomendaciones para determinar el número óptimo de operarios por turno. No se abordarán áreas fuera del área de recubrimiento, inversiones en nuevos equipos, tecnologías o cambios estructurales organizacionales. Se estima una duración del proyecto de entre seis y doce meses, dependiendo de la complejidad de los procesos evaluados y la disponibilidad de los recursos.

1.5.2 Limitaciones

El desarrollo del proyecto estará sujeto a las siguientes limitaciones:

Acceso restringido a información sensible: Por razones de confidencialidad, no se contará con detalles específicos sobre la estructura organizacional, los productos o procesos internos de la empresa. Esta restricción limitará la personalización de las recomendaciones y la adaptación total del modelo propuesto.

Disponibilidad limitada del personal clave: Debido a restricciones de tiempo y horarios, no se podrán realizar entrevistas extensivas con empleados clave, como supervisores y operarios. Esto podría afectar la profundidad del análisis de los procesos cotidianos.

Acceso limitado a documentos internos: Políticas empresariales de confidencialidad restringen el acceso a ciertos documentos como flujos de trabajo y reportes de manufactura. Esta situación podría impactar la precisión del análisis contextual.

Falta de datos operativos completos: La ausencia de herramientas o sistemas internos adecuados para recopilar datos precisos sobre la utilización de equipos, productividad del personal y consumo de materiales obliga a depender de estimaciones y cálculos indirectos, lo que limita la precisión del diagnóstico y las propuestas.

Estas limitaciones se tomarán en cuenta durante el desarrollo del proyecto y serán documentadas para mitigar su impacto en las propuestas finales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual General Relativo a la Carrera

En este capítulo se definirán conceptos relevantes que están relacionados con la ingeniería industrial, con la intención de brindar un sustento sólido para el desarrollo del proyecto y su comprensión.

2.1.1 Ingeniería Industrial

De acuerdo con (Ortiz, 2024), la Ingeniería Industrial es una rama distintiva de la ingeniería cuyo propósito fundamental es la optimización, la productividad, la calidad, la valoración y selección de la opción más adecuada, el análisis de la producción y de todas las funciones que la respaldan, así como la seguridad laboral, entre otros aspectos.

(Ortiz, 2024) afirma que la Ingeniería Industrial contiene en sí misma la esencia de lo que define a la ingeniería como disciplina, fundamentándose en el estudio profundo de matemáticas, diseño, física, química y biología, agrupadas como “ciencias de la ingeniería”. Estos conocimientos son esenciales para enfrentar los problemas propios de la profesión. Cualquier currículo que no contemple estas áreas con profundidad no puede considerarse ingeniería industrial.

Ortiz, O. C. G. (2024). *Fundamentos de ingeniería industrial–1ra edición: Una visión actualizada desde su definición, currículo, estudio y aplicaciones*. Ecoe Ediciones.

Estos conceptos respaldan la propuesta de mejora en el uso de recursos humanos y equipos que se desarrollará en el presente proyecto.

2.1.2 Estudio de tiempos y movimientos

Hay métodos y técnicas administrativas denominadas estudio de tiempo y movimiento, que han experimentado un fuerte progreso en la actualidad y han constituido el fundamento de la ingeniería industrial. Por lo general, se puede afirmar que los estudios de tiempo y movimiento

hacen referencia a las mediciones que se efectúan respecto al tiempo que un individuo o una máquina emplea para llevar a cabo una tarea y a los movimientos requeridos para llevar a cabo dicha tarea, ya sean estos del cuerpo humano o de sus miembros, o de los diferentes elementos de una máquina. Estos análisis también abarcan el estudio de los procedimientos, los materiales y los instrumentos empleados o que se han de emplear para la ejecución de cada una de las operaciones de un trabajo. (Cardona, 2022)

“En toda organización en donde se está aplicando a la administración científica, los estudios de tiempo y movimiento son de gran importancia para la programación de las actividades para el mejoramiento de los procedimientos en uso. Un estudio de los tiempos y movimientos cubre generalmente dos etapas: una primera etapa de diagnóstico y una segunda etapa de análisis y formulación de los nuevos métodos. Actualmente, los estudios de tiempos y movimientos se realizan por profesionales en el campo de la ingeniería industrial y constituyen un instrumento básico para el incremento de la eficiencia gerencial, en relación con la organización del trabajo en las fábricas y talleres, así como en el control de los procesos de la producción en las empresas o del trabajo repetitivo en las oficinas.” (Cardona, 2022, p. 136)

Cardona, C. E. R., Salazar, M. D. P. R., & Salazar, C. F. R. (2022). *Fundamentos de administración-5ta edición*. Ecoe ediciones.

Tabla 1 Estudio de tiempos y movimientos.

N.º de actividad	Actividad	V (factor de valoración del ritmo de trabajo)	Unidades que se sujetan o n.º de unidades de medida en que se toma el producto	Tiempo observado (s)	Tiempo básico o normal (s)	Suplemento (%)	Tiempo estándar o tiempo tipo (s)
1	Llenado	1	1	26.80	26.80	1.00	26.80
2	Tapado y colocado de termoencogible	1.02	1	7.26	7.40	1.07	7.92
3	Apilado de CR	0.98	8	15.55	15.24	1.05	16.00
4	Termosellado	1.02	1	4.71	4.81	1.03	4.95
5	Codificado y colocado en canastilla	0.98	1	4.94	4.84	1.03	4.99
6	Traslado de ida y regreso	0.96	3	10.53	10.11	1.06	10.72

Fuente. Adaptado de Industrial Data (2020).

2.1.3 Control de Inventarios y Gestión de Materiales

Los inventarios se encuentran en toda la cadena de suministro, la cual debe ser administrada desde su adquisición como insumo hasta su proceso de transformación y, finalmente, su distribución. Respecto a la administración de la adquisición como materia prima, es crucial establecer qué proveedores pueden cubrir esa demanda, posteriormente establecer cuándo, cómo y qué adquirir, y que llegue en el momento oportuno. La segunda pregunta es si la compañía es de producción o de servicios. Finalmente, es imprescindible establecer las demandas de transporte en función de las propiedades del producto y la satisfacción del cliente. (Vargas, 2024)

Vargas, J. H. (2024). *Gestión y control de inventarios*. Universidad Estatal a Distancia, EUNED.

“Las funciones de compras, almacenamiento e inventarios se encuentran estrechamente relacionadas, pues, para lograr una adecuada gestión de compras, es necesario conocer la capacidad disponible de almacenamiento, ya que, una vez comprados los productos, estos deben ser trasladados al almacén para su conservación y custodia, hasta tanto se presente la demanda del cliente, pero ¿Cuándo y qué cantidades comprar? Precisamente, es el gestor de

inventarios quien se encarga de realizar estos cálculos, teniendo en cuenta pronósticos de demanda ya realizados, juntamente con la determinación de los niveles máximo, mínimo y promedio de los inventarios, estas cifras deberán complementarse con la determinación del espacio que ocuparán estos productos en el almacén.” (Mora, 2024, p. 43)

MORA, L. A. (2024). *Gestión y control moderno de inventarios*. Ediciones de la U.

Ilustración 1 Gestión y control de inventarios.



Fuente. Adaptado de Libertis Solutions (2023).

2.1.4 Manufactura esbelta (*Lean Manufacturing*)

Según Laisequilla "*Lean Manufacturing*" es un enfoque que se centra en eliminar residuos en los procesos de producción. Se fundamenta en cinco fundamentos: reconocer el valor, trazar el camino del flujo de valor, generar un flujo constante, implementar un sistema "pull" y aspirar a la perfección. Al aplicar la estrategia "*Lean manufacturing*", las compañías pueden incrementar la eficacia y disminuir gastos. (Laisequilla I. , 2023)

La biblia del Ingeniero Industrial - Ingeniería y Métodos. (2023). (s. p.): IL Publishing house.

“Toyota es uno de los ejemplos más conocidos de éxito en la implementación de *Lean Manufacturing*. La empresa ha sido pionera en el desarrollo y la implementación de esta metodología desde la década de 1950, lo que ha contribuido significativamente a su éxito como fabricante de automóviles. La implementación de *Lean Manufacturing* en Toyota se basa en los siguientes principios: Eliminación de desperdicios: La empresa se enfoca en identificar y eliminar cualquier actividad que no agregue valor al proceso productivo. Mejora continua: Toyota busca constantemente mejorar sus procesos y productos, utiliza los comentarios de los clientes y los empleados para identificar oportunidades de mejora. Trabajo en equipo: La empresa fomenta la colaboración y el trabajo en equipo entre los empleados de diferentes departamentos y niveles jerárquicos. “*Just in time*”: La metodología de *Lean Manufacturing* de Toyota se basa en el concepto de producción justo a tiempo, lo que significa que los productos se fabrican en la cantidad y momento exactos que se necesitan, sin acumulación de inventarios. Calidad total: Toyota se enfoca en la calidad total de sus productos, lo que implica la participación de todos los empleados en la prevención de problemas y la identificación de oportunidades de mejora.

Gracias a la implementación de *Lean Manufacturing*, Toyota ha logrado reducir significativamente los tiempos de entrega, mejorar la calidad de sus productos y reducir los costos de producción. Además, la metodología ha permitido a la empresa adaptarse rápidamente a los cambios de mercado y mantener su posición como líder en la industria automotriz.” (Laisequilla I. , 2023)

La biblia de la Industria - Ingeniería, Métodos, Calidad y Estadística. (2023). (s. p.): IL Publishing house.

2.1.5 Método Kaizen

Según García el Método *Kaizen* es una filosofía nativa de Japón que fomenta la mejora continua y se utiliza en diversos campos, tales como la producción, el comercio, la salud y el crecimiento personal. El término *kaizen* se deriva de dos palabras japonesas: "Kai", que se traduce como "cambio", y "Zen", que se interpreta como "bueno". Así pues, *kaizen* puede interpretarse como "transformación positiva" o "mejora constante". (García, 2024)

“La esencia del Método *Kaizen* es la creencia de que incluso las pequeñas mejoras continuas y acumulativas pueden conducir a un cambio significativo y sostenible en el tiempo. En lugar de realizar transformaciones radicales o cambios drásticos, *kaizen* se enfoca en identificar y abordar los procesos y prácticas ineficientes de manera incremental y constante. Este enfoque se basa en la premisa de que muchas mejoras pequeñas y consistentes con el tiempo superan a un cambio grande y repentino.” (García, 2024)

La Magia del *Kaizen*: Pequeños cambios, grandes resultados. (2024). (s. p.): Ediciones Doble A.

2.2 Marco Conceptual Atinente a la Gestión del Proyecto

2.2.1 Gestión de Proyectos Industriales

Cada proyecto tiene la capacidad de generar un producto, servicio o producto de singular carácter. Este producto puede convertirse en un bien (tangible) o en un servicio (intangibile). En cualquier caso, a pesar de que puede haber ciertas actividades o hitos del proyecto que se repiten durante su desarrollo, un proyecto se distingue por su naturaleza de trabajo singular y no recurrente. Por ejemplo, en la edificación de diversos bloques de viviendas que, por su propósito, comparten una serie de características similares y hasta cierto punto repetitivas (materiales, instalaciones, etc.), se debe considerar que la ejecución de cada bloque representa un proyecto de construcción único, dado que su diseño y desarrollo presentan diferencias significativas en

comparación con los demás y se relacionan con la diferente localización, necesidades y requerimientos de diseño específicos, otros interesados, etc. (Reina, 2022)

REINA, J. M. A. (2023). *OFICINA TÉCNICA DE PROYECTO EN INGENIERIA INDUSTRIAL*. Editorial Universitas.

“La administración de proyectos industriales requiere una planificación detallada y una gestión eficaz de recursos, comunicación constante, detección y gestión de riesgos, así como un monitoreo continuo a lo largo de todo el proyecto. El triunfo de un proyecto se basa en gran parte en la correcta administración de estas áreas fundamentales. Es vital que los directivos de proyectos industriales entiendan profundamente las tareas y procedimientos implicados, además, los recursos requeridos para finalizar el proyecto. Además, necesitan poseer competencias de liderazgo, comunicación eficaz y gestión del tiempo para orientar al equipo y garantizar el cumplimiento de los tiempos y metas fijados.” (Laisequilla I. , 2024)

“Fundamentos de la Ingeniería Industrial: Ingeniería, Manufactura, Métodos, Calidad, Estadística, Cadena de Suministro. (2024). (s. p.): IL Publishing house”

2.2.2 Metodologías de Gestión de Proyectos

“Una metodología de gestión de proyectos representa el enfoque general de una organización para emprender e impulsar iniciativas de cambio como proyectos, con un impacto significativo para sí misma y para todos sus grupos de interés; una metodología de esta manera representa un conjunto de componentes autónomos, pero bastante complejos, lo que permite a un gerente de proyecto y a sus interesados realizar un seguimiento de su viaje de cambio.” (Ortegón, 2023, p. 114)

Ortegón, A. M., Steil, A. V., Aguilera, D. A. A., Macías, M. E. U., Ortiz, S. M. D., Macgregor, I. P., ... & Pérez, P. E. (2023). *La gerencia de proyectos como impulsor de la estrategia organizacional*. Universidad EAN.

La mayoría de las metodologías existentes han sido creadas para que la entidad que lleva a cabo los proyectos las emplee. No obstante, también el impulsor del proyecto, que a menudo pertenece a una entidad distinta, tiene la responsabilidad de gestionar el proyecto, con el fin de asegurar que el acuerdo firmado se está cumpliendo e identificar cuanto antes posibles desviaciones. La metodología sugerida se centra en el gerente o individuo responsable que forma parte del agente promotor, también conocido como "entidad promotora". Igualmente, la implementación comienza desde el instante en que un proyecto es aprobado, consigue los fondos económicos requeridos para su implementación y la entidad promotora autoriza su realización. Se han establecido cuatro etapas de administración: puesta en marcha, gestión del rendimiento, ejecución de acciones y establecimiento final. (Monsalve, 2023)

Monsalve, N. A. M. (2023). *La gestión de proyectos sostenibles como herramienta para el fortalecimiento de la competitividad*. Universidad EAN.

2.2.3 Metodología DMAIC

La Metodología DMAIC está compuesta por cinco fases como son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, cada etapa cuenta con herramientas que permiten registrar datos y mejoras. "DMAIC es una herramienta interactiva utilizada para la mejora de procesos. Su uso más común es en proyectos que utilizan la metodología Seis Sigma, pero su aplicación no es exclusiva para proyectos guiados por dicha estrategia, o sea, usted puede utilizar esa herramienta en cualquier situación en la cual desee implantar mejoras" (Minetto, 2019)

2.2.3.1 Definir

“El primer paso es definir las oportunidades, el alcance, los objetivos y los participantes. En general, en este paso se define lo que se hará y cuál es el resultado esperado al final de la ejecución del ciclo. Una sugerencia importante es: reflexionar sobre las mejoras que se pueden realizar y centrarse en las más relevantes y viables” (Minetto, 2019). El Definir del DMAIC puede contar con el apoyo de herramientas como por ejemplo el Diagrama de Ishikawa o Causa y Efecto.

2.2.3.2 Medir

Esta etapa se basa en recolectar toda la información necesaria para determinar aquellas causas claves presentes en el problema y comprender el comportamiento de los procesos actuales con la idea de comprender los requerimientos de toda operación que se analice.

“El objetivo de este paso es recolectar datos e informaciones para analizar y evaluar el escenario actual, preferentemente de forma cuantitativa y estadística, para así establecer “baselines” para las mejoras pretendidas, y al final del ciclo, usted pueda comparar el escenario actual con el resultado obtenido y así verificar si las mejoras implantadas fueron satisfactorias”. (Minetto, 2019)

2.2.3.3 Analizar

“El foco aquí es identificar la causa raíz del problema. Generalmente al analizar un proceso varias posibles causas raíz se identifican, pero la clave para el éxito de este paso es priorizar y validar la causa raíz del problema a tratar. Como resultado de este paso, se espera que se creen oportunidades de mejora. Utilizar el 5 Porqués es un enfoque interesante para ayudarte en la identificación y validación de la causa raíz.” (Minetto, 2019)

2.2.3.4 Implementar (Mejorar)

Según (Minetto, 2019) esta etapa es el momento de abordar las oportunidades de mejora identificadas en el paso anterior. En primer lugar, se deben identificar las posibles soluciones

para corregir y prevenir la causa raíz del problema. A continuación, se recomienda realizar pruebas para evaluar la efectividad de la solución propuesta. Si la solución no es efectiva deberá ser reconsiderada y replanteada. En caso de que los resultados de la prueba sean positivos, se procederá con la implementación de la acción.

2.2.3.5 Controlar

Para entender esta etapa (Minetto, 2019) nos expresa que “el foco de este paso es controlar las acciones del plan de acción para que no se pierda. Para ello, es fundamental que usted defina criterios de control como, por ejemplo, listas de verificación, metas y estadísticas para servir como fuente de información para el monitoreo de la implementación de las acciones. Usted debe verificar el desempeño del plan de acción para asegurar que los resultados deseados se alcancen y consecuentemente, lograr responder al final de ese paso si las acciones de mejoras implementadas han sido o no eficaces”.

Ilustración 2 Metodología DMAIC.



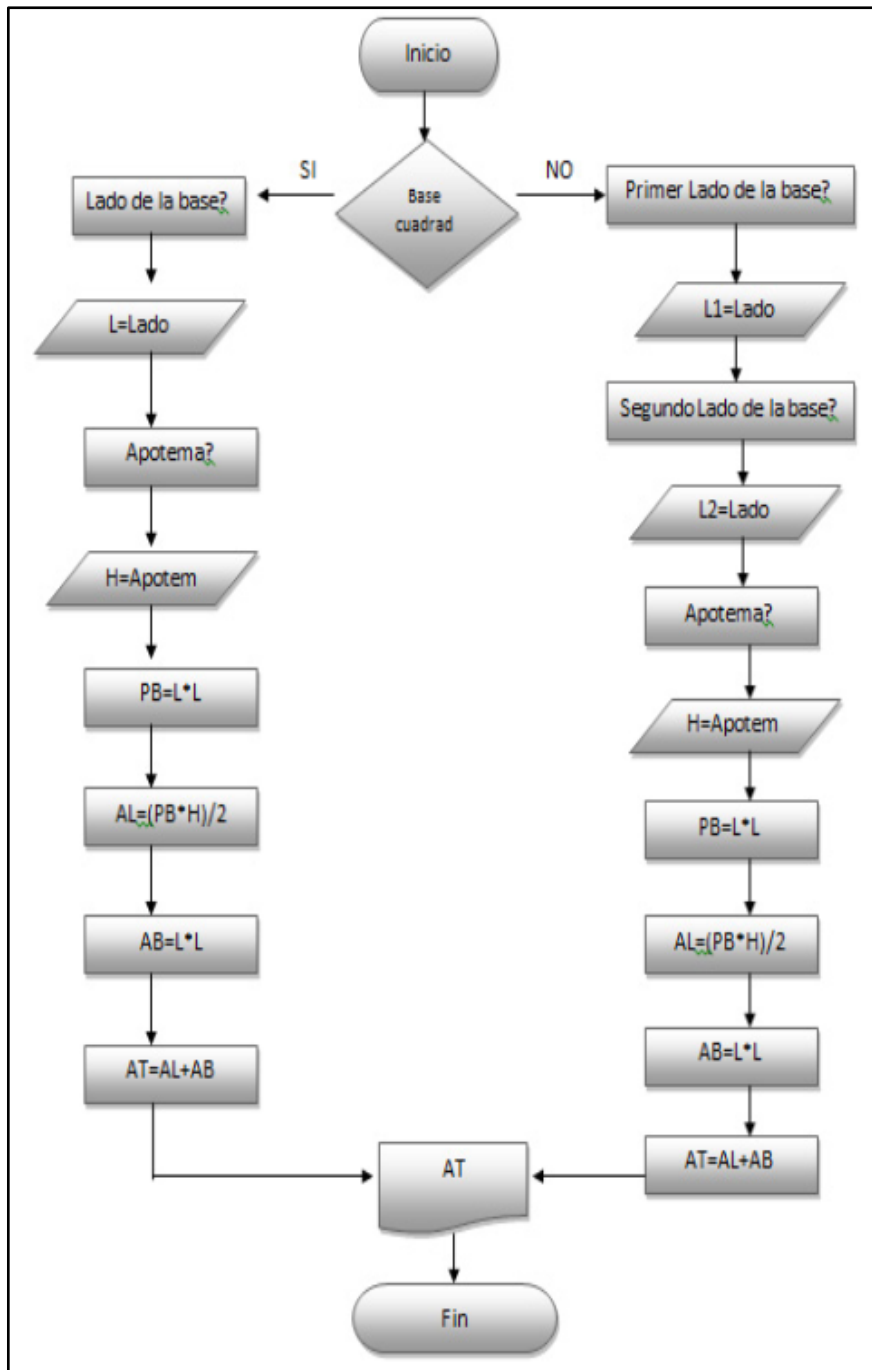
Fuente. Ejemplo de DMAIC de XR Industrial (2023). <https://www.xr-industrial.com/post/metodolog%C3%ADa-dmaic-en-seis-sigma>

2.2.4 Diagrama de Flujo

“Con este tipo de gráficas se analiza la totalidad de las actividades llevadas a cabo en la elaboración de un producto o en la prestación de un servicio. Además, se muestra el recorrido de las diferentes operaciones y actividades y los tiempos necesarios para realizar estas” (Ortiz, 2024, p. 84)

González Ortiz, O. C. (2024). Fundamentos de ingeniería industrial – 1ra edición: Una visión actualizada desde su definición, currículo, estudio y aplicaciones. Colombia: Ecoe Ediciones México.

Ilustración 3 Diagrama de flujo.



Fuente. Ejemplo de formato de diagrama de flujo tomado de Revista Unimar (2021).

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/447/4471982003/>

2.2.5 Gemba Walk

“En la realización del *Gemba Walk*, el recorrido por los puestos de trabajo es su parte principal. Todos los que participan en el paseo deben practicar una escucha activa y respetuosamente realizar preguntas de sondeo. Cuando se va al gemba, se da uno cuenta de que algunas cosas que se supone que están sucediendo, de hecho, no ocurren, y además ocurren otras cosas que nunca se previeron”

Según (Bremer, 2021) Un *gemba walk* permite observar directamente si las personas que trabajan en la organización:

- A) Comprenden el propósito de su trabajo.
- B) Entienden y siguen las prácticas de trabajo estándar.
- C) Tienen claro lo que se espera de sus rendimientos.
- D) Utilizan el pensamiento científico para identificar problemas y analizar sus causas raíz.
- E) Establecen planes y acciones efectivas para mejorar los procesos y alcanzar las metas.
- F) Son capaces de mantener los logros o, en su defecto, los procesos fuera de control afectan su eficiencia.
- G) El hacer lo correcto se ve minimizado o incluso prohibido debido a que prevalece una mentalidad departamentalista.

Bremer, M. (2021). *Cómo hacer un Gemba Walk: Visitar los puestos de trabajo para conocer la realidad y mejorar los procesos y los resultados*. España: Profit Editorial.

2.3 Marco Conceptual Referente al Impacto del Proyecto

2.3.1 Impacto en Calidad y Satisfacción del Cliente

Según Olivella toda innovación persigue una meta. Si se sugiere un proyecto de innovación, se considera que su desarrollo e implementación van a generar algún tipo de ventaja para la entidad de la que se trate. En otras palabras, se considera que la iniciativa producirá un efecto beneficioso desde algún aspecto. No obstante, este impacto puede materializarse en contextos muy diferentes. La repercusión anticipada podría aludir, por ejemplo, a elementos como la calidad, la confiabilidad, la satisfacción del cliente, las ventas, la seguridad o el costo, entre otros. (Nadal, 2020)

“La diversidad de objetivos dificulta la valoración de las distintas iniciativas de innovación y la posterior evaluación de sus resultados. Una buena opción es analizar que es de verdad lo importante, y centrarse en ello. Se podría tener en cuenta, por ejemplo, el valor para el cliente y el beneficio de la organización, sea cual sea el ámbito o ámbitos a los que se refiere el impacto esperado, la mejora y el beneficio deberían acabar repercutiendo en el valor para el cliente y, finalmente en el resultado financiero. Siendo este planteamiento coherente, en muchos casos no es directamente aplicable. En efecto, en muchos casos, la repercusión final no se puede evaluar con precisión. El caso de una innovación que permite que unas determinadas tareas se automaticen. La automatización, probablemente, disminuirá los costes laborales y aportará estabilidad a la tarea en términos de tiempo y de procedimientos de trabajo. Sin embargo, ¿podremos identificar claramente cuáles van a ser los beneficios para el cliente o para el resultado financiero? No siempre.” (Nadal, 2020)

Nadal, J. O. (2020). *Gestión eficiente de proyectos de innovación*. Profit Editorial.

2.4 Antecedentes de Proyectos o Experiencias Semejantes

2.4.1 Proyectos de Mejora en la Industria de Dispositivos Médicos

Como menciona Laisequilla un caso de aplicación de la metodología *Six Sigma* es en la fabricación de aparatos médicos. En este proyecto, es posible detectar los procesos que provocan fallos y recolectar información para evaluar el desempeño del proceso. La metodología *Six Sigma* emplea instrumentos estadísticos para detectar las raíces de los problemas y optimizar el procedimiento con el fin de minimizar los fallos y potenciar la calidad del producto final. (Laisequilla I. , 2023)

La biblia de la Industria - Ingeniería, Métodos, Calidad y Estadística. (2023). (s. p.): IL Publishing house.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología para la definición del problema

En este proyecto, se utilizó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) para abordar la identificación y definición del problema que afecta el área de recubrimiento químico en la empresa. El uso de DMAIC permitió una estructura objetiva para definir el problema que afecta la eficiencia operativa y los costos de manufactura.

En esta primera fase de Definir, el objetivo será definir claramente los objetivos del proyecto. Para lograr esto, se comenzará con la identificación de los recursos necesarios, los objetivos específicos y los puntos clave. Se emplearán técnicas como la observación directa, se realizará un diagrama de flujo para entender de mejor manera el recorrido que hacen las unidades a lo largo del área, se documentará cuáles son las tareas o actividades realizadas en cada proceso para medir las cargas de trabajo junto con una toma de tiempos para obtener el número de capacidad adecuado y de la utilización del personal según lo descrito.

Esta información es esencial para delinear los flujos, entender los procesos, identificar el problema principal y analizar sus posibles causas.

3.1.1 Actividades o herramientas para definir el problema

Observación directa: Como primer paso se realizó una observación directa del trabajo en el área de recubrimiento químico para evaluar cómo se realizaban los procesos, cómo se utilizaban los recursos (materiales, equipos y personal) y cuáles eran las prácticas que generaban ineficiencias. Esto permitió obtener información sobre las condiciones actuales del trabajo

Este recorrido de observación proporcionó una visión integral sobre la infraestructura y la mano de obra disponible, permitiendo una mejor comprensión de la dinámica de trabajo del área

de recubrimiento químico y sus posibles puntos de mejora en cuanto a la eficiencia y la distribución de los recursos.

Diagrama de Flujo: Se desarrolló un diagrama de flujo detallado para visualizar los procesos paso a paso, lo que ayudó a identificar posibles cuellos de botella, duplicación de esfuerzos y oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso. El diagrama de flujo ayuda a desglosar las actividades en pasos detallados, lo que permitió identificar las actividades ineficientes o mal gestionadas.

Entrevistas: Como se mencionó en las limitaciones, no fue posible realizar entrevistas extensivas debido a las restricciones de tiempo y horarios. Sin embargo, se llevaron a cabo preguntas breves con los involucrados en los procesos, lo que permitió profundizar en los aspectos operativos y obtener una comprensión detallada del flujo de trabajo, así como del entendimiento de las diferentes tareas y actividades que deben realizar durante los procesos. Estas conversaciones con los colaboradores resultaron clave para identificar posibles mejoras, dada su experiencia directa y su conocimiento integral del proceso.

Tabla 2 Fase DMAIC Definir.

Actividad	Herramienta	Descripción
Observación para familiarizarse con el proceso	<i>Gemba Walk</i>	Evaluar de cerca y en tiempo real el comportamiento del área
Identificar el flujo de los procesos	Diagrama de Flujo	Desglosar gráficamente los procesos
Hacer preguntas a los colaboradores	Entrevistas	Escuchar a los involucrados en el proceso, opiniones y comentarios sobre el proceso

Fuente. Elaboración propia.

3.2 Metodología para la medición y respaldo de proyecto.

En esta etapa de Medir, se abordará la metodología empleada para la medición y el respaldo cualitativo del proyecto, centrada en identificar y analizar las causas del problema utilizando diversas herramientas, para recopilar datos sobre la utilización de los recursos (equipos, materiales, operarios) y establecer una línea base de los procesos actuales. Las herramientas utilizadas permiten obtener datos objetivos para respaldar el diagnóstico del proyecto. Las actividades que se realizaron son las siguientes:

3.2.1 Actividades y herramientas utilizadas para medir el problema

Descripción de datos: Se organizaron y resumieron los datos clave de manera clara para el análisis y la cuantificación, utilizando herramientas como Excel, la cual facilita la gestión, análisis y visualización de datos, permitiendo interpretar con precisión la magnitud del problema.

Análisis de tiempos y movimientos: Para evaluar la eficiencia en el uso del tiempo por parte de los operarios y equipos.

Diagrama de Pareto: Para identificar los problemas que afectan la mayor parte de los resultados. (ej. Tiempos muertos, sobrecarga de trabajo, desperdicio de materiales).

Tabla 3 Fase DMAIC Medir.

Actividad	Herramienta	Descripción
Toma de tiempos y movimientos.	Análisis de tiempos y movimientos	Permite identificar ineficiencias en la utilización del tiempo por parte de operarios y equipos.
Recopilación de datos actuales del área	Descripción de datos.	Se utilizan para evaluar la cantidad de personas, equipos, etc., que tienen en el área.
Identificar los principales problemas del área.	Diagrama de Pareto	Ayuda a identificar los problemas más significativos que afectan la productividad, basándose en la regla 80/20.

Fuente. Elaboración propia.

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

Con base en el análisis y datos obtenidos, el objetivo principal fue desarrollar e implementar soluciones para las ineficiencias detectadas en el área de recubrimiento químico. El enfoque se centró en optimizar los recursos clave: equipos, materiales y personal, utilizando herramientas y metodologías que favorecieran la mejora continua y la eficiencia operativa. Las actividades y herramientas actualizadas fueron las siguientes:

3.3.1 Actividades y herramientas utilizadas para realizar la propuesta de mejora

Análisis de causa raíz utilizando las 5 “Por qué”: El análisis de las causas raíz se centró en identificar las razones detrás de la falta de control y visibilidad en la utilización de equipos, materiales y personal. Estas preguntas permitieron descubrir que la falta de medición y la falta de herramientas apropiadas eran las causas fundamentales del problema, lo que impedía tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos.

Enlistamiento de Posibles propuestas de mejora para la gestión de recursos: Se desarrollaron diversas propuestas para mejorar el control y la visibilidad de los recursos, las cuales fueron evaluadas con base en criterios como la reducción de costos, la viabilidad de implementación y el impacto en la productividad.

Implementación de la Filosofía *Kaizen* para mejoras en la gestión de los recursos: Se adoptó la filosofía *kaizen* para hacer mejoras pequeñas y continuas en los procesos de producción y gestión de recursos. El objetivo fue involucrar a personas que conozcan el proceso para identificación y resolución de problemas de manera constante, debido a limitaciones de tiempo y horarios, la participación directa del personal operativo en eventos *kaizen* fue limitada.

Selección y priorización de las mejoras propuestas: El objetivo es utilizar la matriz de selección de proyectos para evaluar todas las propuestas en términos de impacto, costo y viabilidad.

Tabla 4 Fase DMAIC Analizar.

Actividad	Herramienta	Descripción
Identificar las causas raíz	Análisis 5 "Por qué"	Identificar las causas fundamentales de la falta de control de recursos
Recopilar y evaluar propuestas y criterios de selección	Enlistamiento de propuestas y criterios de selección	Recopilar propuestas y evaluar con base en costos, viabilidad e impacto
Implementar la filosofía <i>kaizen</i> para mejoras continuas	<i>Kaizen</i> (mejoras continuas)	Hacer pequeñas mejoras continuas en los procesos de gestión de recursos, aumentando la eficiencia operativa
Seleccionar la propuesta más adecuada	Matriz de selección de proyectos	Evaluar y seleccionar las propuestas con mayor impacto en eficiencia y reducción de costos

Fuente. Elaboración propia.

3.4 Metodología para la implementación del proyecto.

Con base en el análisis, en esta etapa vamos a la mejora, donde se propone implementar las mejoras propuestas en el área de recubrimiento químico, optimizando la utilización de recursos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los costos a través de un plan de implementación, claro, medido y controlado.

3.4.1 Actividades y herramientas utilizadas para la propuesta de implementación

Elaboración del Diagrama de Gantt para la propuesta de implementación: Se va a utilizar un Diagrama de Gantt para establecer el cronograma de actividades detallado para la propuesta, asegurando que cada fase fuera ejecutada dentro del tiempo previsto.

Evaluación de Beneficios Económicos: Se diseñaron cuadros comparativos para analizar la viabilidad económica y retorno de inversión del proyecto, contrastando los costos actuales de operación con los beneficios proyectados derivados de la implementación de las mejoras propuestas.

Análisis de *stakeholders* (interesados) para la propuesta de implementación del proyecto: Se realizará un análisis de los *stakeholders* para identificar a todas las partes interesadas en el proyecto, evaluando su nivel de influencia e interés en el mismo.

Desarrollo y ejecución de planes de acción: Se desarrollarán planes de acción para cada fase de la propuesta.

Tabla 5 Fase DMAIC Mejorar.

Actividad	Herramienta	Descripción
Planificar la implementación del proyecto	Diagrama de Gantt	Definir todas las actividades a realizar en el proyecto con plazos y responsables asignados.
Análisis financiero comparativo	Análisis de beneficios económicos	Comparar los costos actuales con los beneficios proyectados para la propuesta del proyecto.
Identificar y gestionar a los <i>stakeholders</i> clave.	Análisis de <i>stakeholders</i>	Identificar y clasificar a los <i>stakeholders</i> para planificar estrategias de comunicación efectivas
Crear planes de acción detallados para la ejecución de la propuesta	Planes de acción	Planificar actividades específicas, asignar responsabilidades y evaluar riesgos

Fuente. Elaboración propia.

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

En esta etapa, se implementa un proceso sistemático de verificación, aseguramiento, control y seguimiento de los resultados obtenidos tras la ejecución de las mejoras propuestas. Este proceso metodológico permite evaluar continuamente la efectividad de las acciones implementadas, garantizando que los beneficios se mantengan en el tiempo y que cualquier desviación sea identificada y corregida oportunamente. Además, el control adecuado contribuye a la sostenibilidad de las mejoras, asegurando que las prácticas optimizadas se consoliden dentro de la operación habitual y evitando la regresión a condiciones previas ineficientes.

3.5.1 Herramientas utilizadas en la verificación, control y seguimiento

Cuadros de control: Ayuda a visualizar el rendimiento de los procesos en tiempo real, se diseñarán para monitorear las métricas que permitan verificar el cumplimiento de los objetivos de la mejora propuesta, mediante análisis regulares para evaluar el cumplimiento de las metas establecidas.

Procedimientos: Se definirán procedimientos estandarizados para asegurar que la verificación, control y seguimiento de los resultados se realice de manera sistemática y consistente, con esto se garantiza que todos los aspectos del proceso sean revisados y auditados de forma periódica para asegurar que los cambios realizados sean sostenibles.

Indicadores: Ayudará a medir de forma objetiva los resultados de las mejoras propuestas, las cuales serán la eficiencia de la producción, el costo de operación, la utilización de equipos y recursos humanos, y la calidad de los productos.

Tabla 6 Fase DMAIC Control.

Actividad	Herramienta	Descripción
Monitoreo constante de indicadores clave y evaluación periódica del desempeño.	Cuadros de Control	Permite el monitoreo de <i>KPIs</i> y detectar desviaciones.
Desarrollo de procedimientos para revisiones de procesos.	Procedimientos	Procedimientos estandarizados para asegurar que las revisiones de los procesos se realicen de manera correcta.
Seguimiento de indicadores clave para evaluar la eficiencia, costos y calidad.	Indicadores	Medición objetiva de los resultados a través de <i>KPIs</i> establecidos.

Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE CAUSA

4.1 Introducción

La finalidad de desarrollar este apartado del proyecto es almacenar y obtener la información necesaria que ayude a comprender cuáles son las causas raíz del problema detectado en el área de recubrimiento químico de la empresa.

A partir de los datos recopilados durante la fase de medición, se utilizó un enfoque sistemático para determinar los factores que contribuyen a las ineficiencias en el uso de los recursos (equipos, materiales y personal), y cómo estas afectan la productividad general del proceso.

La investigación se apoyó en herramientas cuantitativas como el análisis de tiempos y movimientos, diagramas de Pareto y el método de los 5 “Por qué”, con el fin de establecer un diagnóstico sólido y basado en evidencia.

4.2 Descripción del comportamiento actual del proceso

4.2.1 Observación directa y gemba walk

Durante esta actividad se observó que en el área se llevan a cabo un total de 5 procesos, los cuales son los siguientes: Calentamiento en Plasma, Mezcla B, Horneado de Mezcla B, Mezcla T y Horneado de Mezcla T. Este conjunto de procesos se organiza de manera completamente secuencial, lo que significa que para poder iniciar el segundo proceso, todas las unidades deben haber pasado previamente por el primer proceso (Calentamiento en Plasma). Esto asegura una estructura de trabajo lineal y organizada.

Un aspecto importante para destacar es que las unidades no se procesan de forma continua durante los turnos de trabajo. En su lugar, se manejan en lotes de 40 unidades, de los cuales se procesan 3 lotes por turno del producto denominado “*W Soft*”. Los 5 procesos del área anteriormente mencionados son los siguientes:

Calentamiento en Plasma: Esta etapa inicial consiste en la preparación térmica de los materiales mediante tecnología de plasma, un procedimiento esencial para garantizar las condiciones físicas y químicas óptimas antes de las mezclas. Este paso requiere precisión en la temperatura y el tiempo de exposición, ya que influye directamente en la calidad de los productos posteriores, es por eso que tiene parámetros específicos de ejecución y un tiempo establecido en el procedimiento de manufactura, es de 14 minutos. Las unidades son colocadas individualmente en bandejas (una unidad por bandeja) antes de ser introducidas en los equipos de tratamiento. Cada equipo de plasma tiene una capacidad máxima de 10 bandejas por ciclo, lo que equivale a 10 unidades procesadas simultáneamente. Al finalizar el ciclo de tratamiento en plasma, las unidades son cuidadosamente retiradas y organizadas en un *rack* específico, a cada *rack* le caben un total de 50 unidades, el cual facilita su traslado al siguiente proceso.

Mezcla B: En este paso, los materiales previamente tratados se combinan de acuerdo con una formulación específica. La mezcla B requiere una dosificación controlada de insumos y un tiempo de mezclado determinado para asegurar que el químico se adhiera correctamente al producto. Este proceso se realiza mediante una torre automatizada con una capacidad máxima de 10 unidades por ciclo. Las unidades se colocan en la torre, la cual ejecuta un movimiento vertical controlado bajando y subiendo con el fin de asegurar que toda la superficie de cada pieza sea completamente cubierta por la Mezcla B, que se encuentra contenida en tubos largos colocados en la parte inferior de la torre. Una vez finalizado el ciclo de inmersión y recubrimiento, las unidades son retiradas de la torre y reubicadas en *racks*, donde son trasladadas al siguiente proceso.

Horneado de Mezcla B: Una vez obtenida la Mezcla B, esta se somete a un horneado que busca solidificar o activar ciertos componentes a través del calor. Es una etapa crítica, ya que requiere condiciones controladas de temperatura y humedad. Este proceso consiste en

introducir el *rack*, con las unidades previamente procesadas, dentro del horno para llevar a cabo el horneado correspondiente. Según lo establecido en las especificaciones del proceso de manufactura, el tiempo de horneado es de aproximadamente 30 minutos por ciclo. Una vez transcurrido este tiempo, el *rack* es retirado del horno y trasladado al siguiente proceso, asegurando así la continuidad del flujo.

Mezcla T: Posteriormente, se lleva a cabo una segunda etapa de recubrimiento, conocida como Mezcla T, la cual incorpora nuevos componentes que confieren mayor resistencia al producto final. Al igual que en el proceso de Mezcla B, esta etapa exige altos niveles de control, precisión y uniformidad. Sin embargo, se realiza en una torre distinta, diseñada con parámetros y especificaciones técnicas diferentes, adaptadas a las características particulares de la Mezcla T. El procedimiento operativo es similar: las unidades son retiradas del *rack* y colocadas cuidadosamente en la torre. Una vez todo está listo, se activa el ciclo mediante el botón de *start*, tras lo cual la torre realiza un movimiento automático de ascenso y descenso que garantiza la cobertura completa y uniforme de la unidad. Finalizado el ciclo, las piezas son nuevamente colocadas en los *racks* para ser trasladadas al último proceso del flujo.

Horneado de Mezcla T: Finalmente, la Mezcla T es sometida a un proceso de horneado, siguiendo un procedimiento similar al utilizado con la Mezcla B. No obstante, a diferencia del proceso anterior, en esta etapa no se asignan hornos específicos, por lo que puede utilizarse cualquiera de los equipos disponibles en el área, siempre que estén operativos y cumplan con los requisitos del proceso. La única condición definida por el estándar de manufactura es que el ciclo de horneado debe tener una duración exacta de 2 horas. Esta etapa es fundamental, ya que sella las propiedades finales del producto, consolidando su resistencia y estabilidad. Por lo tanto, cualquier variación en tiempo, temperatura o condiciones del horno puede tener un impacto significativo en la calidad y desempeño del producto final.

4.2.2 Descripción de datos

Durante la observación, se detectaron un total de 12 equipos distribuidos de la siguiente manera:

- 2 plasmas para el Calentamiento en Plasma
- 3 torres para procesar la Mezcla B
- 2 hornos para el Horneado de la Mezcla B
- 3 torres para procesar la Mezcla T
- 2 hornos para el Horneado de la Mezcla T

Además, en la observación también se registró que en área trabajan un total de 10 personas, distribuidas en dos turnos. En el Turno A laboran 5 personas, y en el Turno B trabajan también 5 personas. Este total de 10 trabajadores asegura que el área mantenga la operatividad durante toda la jornada.

A continuación, se presenta de forma más detallada la distribución de los equipos y las personas involucradas en cada proceso:

Tabla 7 Distribución de equipos y de personal.

Equipos	Cantidad
Plasmas para el Calentamiento en Plasma	2
Torres para procesar la Mezcla B	3
Hornos para el Horneado de la Mezcla B	2
Torres para procesar la Mezcla T	3
Hornos para el Horneado de la Mezcla T	2
Total	12

Turnos	Número de personas
Turno A	5
Turno B	5
Total	10

Fuente. Elaboración propia.

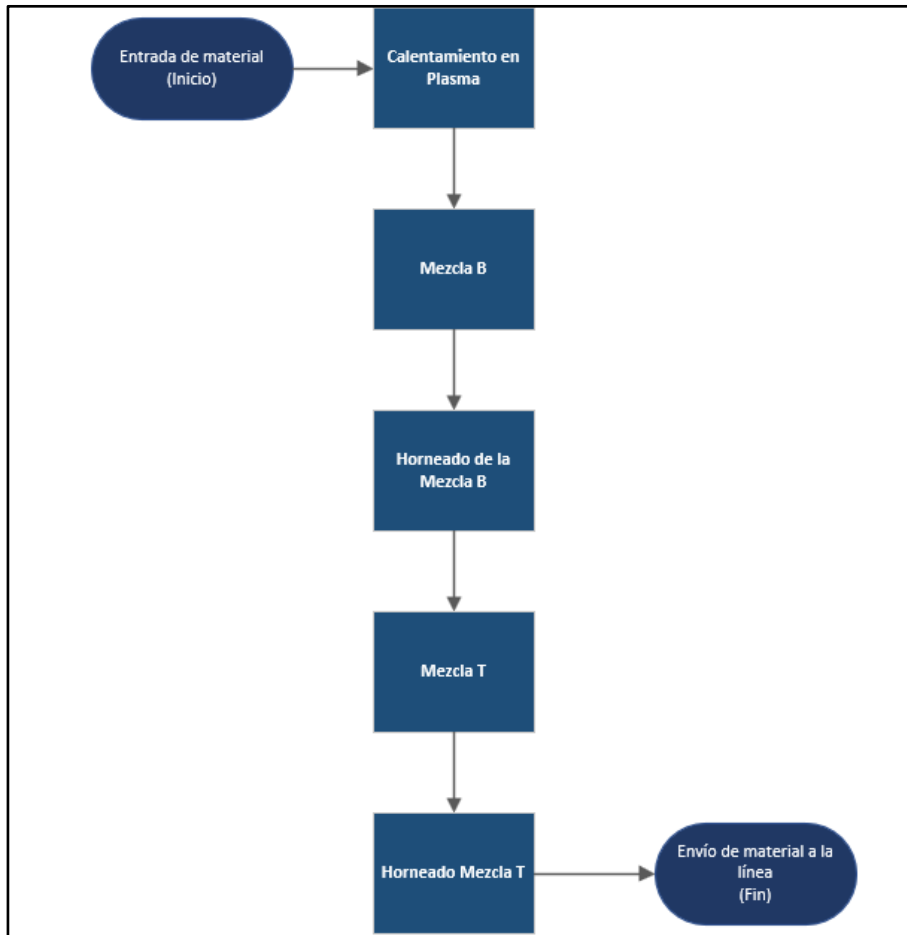
4.2.3 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo presentado en la Ilustración 6 muestra la estructura secuencial del proceso en el área de recubrimiento químico. Este proceso está compuesto por las cinco etapas anteriormente mencionadas (Calentamiento en Plasma, Mezcla B, Horneado de Mezcla B, Mezcla T y Horneado de Mezcla T). Este diagrama de flujo permite visualizar la rigidez del proceso y la sensibilidad a cuellos de botella, especialmente en etapas que dependen de disponibilidad de equipos o tiempos de ciclo largos, como es el caso del horneado de la Mezcla T, que exige un tratamiento técnico de 2 horas.

En resumen, el diagrama de flujo representa la secuencia lógica del proceso y también destaca la necesidad de una coordinación controlada tanto de los operadores como de los equipos para poder garantizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

Ilustración 4 Diagrama de Flujo área de recubrimiento químico.

Área de recubrimiento químico



Fuente. Elaboración propia.

Al representar el proceso es el diagrama de flujo anterior, se evidencian claramente la secuencia rígida y la dependencia entre procesos, lo que genera una alta sensibilidad a retrasos en cualquier etapa.

4.2.4 Aportes del personal operativo (entrevistas)

Aunque el enfoque principal del diagnóstico se centró en herramientas cuantitativas, también se consideraron insumos cualitativos clave obtenidos a través de preguntas breves y

espontaneas realizadas al personal de la línea durante los recorridos en el área. Estas preguntas, aunque no estructuradas en un formato de entrevista formal debido a la poca disponibilidad de los operarios aportaron información valiosa sobre las condiciones reales del trabajo diario y la percepción de los operarios respecto a los problemas del área.

Tipo de preguntas realizadas:

- ¿Qué parte del proceso consideras más tardada o complicada?
- ¿Por qué hay tiempos muertos entre procesos?
- ¿Qué harías diferente para que el trabajo fluya mejor?
- ¿Tienes todo lo necesario (material, equipo, información) cuando inicias una tarea?

A pesar de no haber tenido una entrevista formal con los operadores y no haber seguido un formato de entrevista estructurado, las respuestas obtenidas permitieron identificar temas recurrentes que revelan aspectos críticos de la operación. A continuación, se presentan las respuestas categorizadas:

1. Falta de asignación óptima y polivalencia del personal.

Respuesta 1: “No siempre hay alguien para preparar la siguiente mezcla, entonces tenemos que esperar.”

Esta respuesta indica desajustes en la asignación de tareas o una falta de polivalencia del personal, lo cual genera cuellos de botella entre procesos. La dependencia de que una persona específica esté disponible para continuar con el flujo interrumpe la secuencia del trabajo y contribuye a los tiempos muertos.

Respuesta 2: “Solo hay dos personas que saben operar cierto equipo, si no vienen, se retrasa todo.”

En este caso se refuerza el punto anterior, al evidenciar una alta dependencia de personal clave, lo que expone al área a riesgos de detención parcial o total ante ausencias. Se hace evidente la necesidad de capacitación entre procesos para asegurar la continuidad operativa.

2. Falta de estandarización en procedimientos.

Respuesta: “Cada uno hace las mezclas un poco diferente, aunque es el mismo producto.”

En esta respuesta se refleja una ausencia de estandarización en los métodos de trabajo, lo que puede derivar en variabilidad del producto y potenciales problemas de calidad. También sugiere que no hay un protocolo claramente definido o que, si existe, no se está respetando de manera uniforme.

3. Limitaciones técnicas de los equipos.

Respuesta: “Los hornos son el proceso más lento del área debido a su larga espera en el proceso de calentado.”

Esta observación identifica un cuello de botella técnico, en este caso relacionado con la duración prolongada del horneado, especialmente en el proceso de Mezcla T (2 horas por ciclo). Sin embargo, en este caso se debe de revisar la cantidad de hornos disponibles lo que puede mitigar el impacto del proceso.

4. Subutilización de personal y capacidad operativa.

Respuesta: “A veces hay mucho tiempo libre entre procesos, podríamos sacar más material o incluso trabajar con menos personas.”

Esta respuesta muestra como los operadores reportan tener tiempos ociosos y percepción de capacidad ociosa en el área.

Estas entrevistas revelan que existen desafíos como la gestión grupal, la falta de estandarización, la baja polivalencia del personal y poca alineación entre capacidad instalada y planificación operativa.

4.3 Análisis cuantitativo del uso de recursos

4.3.1 Tiempos de Ciclo

En esta etapa del análisis de causa se llevó a cabo un estudio de tiempos para cuantificar la duración real de cada una de las etapas que conforman el flujo de producción en el área de recubrimiento químico. Esta medición funciona para identificar tiempos improductivos, desequilibrios entre procesos, posibles cuellos de botella y oportunidades de mejora en la distribución de recursos humanos y materiales.

Cada uno de los cinco procesos fue analizado considerando las siguientes variables:

- Tiempo total por ciclo
- Capacidad máxima por equipo
- Tiempo muerto entre procesos

Las mediciones se realizaron durante el turno A y se observaron y cronometraron los tiempos de los 3 lotes que se procesaron durante el turno, la toma se realizó durante condiciones reales del área. Esta toma permitió captar variaciones significativas entre ciclos, generadas por factores como:

- Disponibilidad de operarios capacitados
- Ocupación simultanea de equipos

- Momentos de espera entre procesos

Para facilitar la comprensión de las tablas que se presentan a continuación, es importante explicar que para estos ejercicios se utilizó una plantilla de toma de tiempos y un cronómetro, la plantilla se compone de un encabezado donde se incluye información clave como: nombre de la operación, nombre del producto, persona encargada del análisis de tiempos, departamento y fecha. En el cuerpo de la plantilla se enlistan las tareas del proceso en la primera columna, la columna de la derecha se encuentra la cantidad de unidades procesadas por toma, seguida por siete columnas que representan los tiempos de ciclo en segundos registrados para cada una de las muestras capturadas (en este caso se capturaron 4 ciclos de un lote para los procesos de Calentamiento en Plasma, Mezcla B y Mezcla T, para los procesos de Horneado de Mezcla B y Mezcla T se capturaron 3 lotes debido a que el proceso por lote solo realiza un ciclo del lote completo) y en las dos últimas columnas a la derecha, se calcula el promedio y la desviación estándar de los tiempos registrados. Por último, en las dos tablas de abajo se va a mostrar el tiempo de ciclo clasificado de persona y de equipo tanto en segundos como en minutos y en la tabla de la derecha el tiempo total de duración del lote de 40 unidades.

Es importante mencionar que para determinar la cantidad de muestras requeridas en la toma de tiempos se utilizó la siguiente fórmula:

Ilustración 5 Fórmula de muestreo.

$$n = \left(\frac{Z \cdot s}{E} \right)^2$$

Fuente. Fórmula de muestreo estadístico.

Esta es una fórmula estadística utilizada para calcular el tamaño de muestra en una estimación de una media o proporción poblacional. Se utiliza cuando se quiere determinar cuántas observaciones se deben tomar en una muestra para estimar con precisión una media poblacional con un cierto nivel de confianza y margen de error.

Donde:

- N: Cantidad de muestra.
- Z: Valor de la distribución normal para un 95% del nivel de confianza.
- S: Desviación estándar.
- E: Margen de error (5% x Promedio).

Para el cálculo de los cinco procesos se observa que el tiempo total está determinado por el equipo, mientras que la participación del operario representa un periodo considerablemente menor. Esto genera que la variación entre muestras sea mínima, lo cual se traduce en una baja desviación estándar. Como resultado, al aplicar la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra, se obtiene un valor muy reducido, ya que la homogeneidad de los tiempos reduce la necesidad de un mayor número de observaciones.

Por esta razón, no se incluirán las tablas de cálculo en todos los procesos, ya que en todos los casos el tamaño de muestra resultante es cero, como se muestra en el ejemplo del proceso de calentamiento de plasma a continuación:

Tabla 8 Fórmula de muestreo aplicada.

Cálculo para determinar cantidad de muestras							
Total por unidad	Muestras				Promedio	Desv. Estándar	Tamaño de muestra
	893	894	892	898			

Fuente. Elaboración propia.

Debido a que en los 5 procesos el tamaño de muestra es 0 no se estará colocando la tabla en todos los casos.

Las mediciones para cada proceso se realizaron de la siguiente manera:

Calentamiento de Plasma:

1. Observación directa del proceso para un mejor entendimiento.
2. Debido a que los lotes son de 40 unidades y la capacidad del equipo de plasma es de 10 unidades los ciclos se dividen en 4 y de esta manera se registran los tiempos no solo del ciclo en plasma si no de los demás pasos (limpiar unidades, colocar y retirar las unidades de la bandeja) para determinar cuál es el tiempo del proceso.
3. El tiempo de ciclo del equipo de plasma esta por escrito en el procedimiento de manufactura lo que significa que las muestras del tiempo del equipo no van a variar, solamente el tiempo de la persona.
4. Se registró un solo tiempo de traslado debido a que en el rack caben las 40 unidades del lote.

Tabla 9 Calentamiento de Plasma.

Operación:	Calentamiento en Plasma		Analista:	Maikol Chinchilla						
Número de parte:	N/A		Departamento:	Proyecto de graduación						
Orden de trabajo:	N/A		Fecha:	Abril						
Tareas	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desv. Estándar
Limpiar unidades	10	10 s	11 s	9 s	13 s	N/A			11	1.48
Colocar unidades dentro de Plasma	10	25 s	23 s	27 s	29 s				26	2.24
Ciclo de Plasma	10	840 s	840 s	840 s	840 s				840	0.00
Retirar unidades y colocarlas en Rack	10	18 s	20 s	16 s	16 s				18	1.66
Traslado de Rack a siguiente proceso	40	15 s	N/A	N/A	N/A				15	N/A

Resultados tiempos de ciclo (10 unidades)			Duración de un lote = 4 ciclos (40 unidades)	
Persona/Equipo	Segundos	Minutos	60.62 min	
Persona	69.25	1.15		
Equipo	840.00	14.00		
Total	909.25	15.15		

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado: El tiempo por cada ciclo de 10 unidades (capacidad del equipo de plasma) es de 15.15 minutos si el lote se realiza en un solo equipo de plasma el tiempo total de procesamiento de las 40 unidades (4 ciclos) es de 60.62 minutos.

Tiempo de persona: 1.15 minutos por ciclo de 10 unidades (4.60 minutos por lote).

Tiempo de equipo: 14.00 minutos por ciclo de 10 unidades (56 minutos por lote).

Mezcla B:

1. Para este proceso también se capturaron los 4 ciclos de un lote debido a la capacidad que tiene la torre de procesar 10 unidades a la vez en la inmersión y recubrimiento del químico de mezcla B.
2. El tiempo de ciclo de la torre no está establecido por el procedimiento de manufactura, sin embargo, los tiempos de procesamiento de la torre son muy similares y consistentes.

3. Se incluyó en la toma de tiempos la colocación de unidades en la torre, la activación del proceso, el ciclo del equipo, el retiro posterior de las piezas y el tiempo transfiriendo las unidades de la torre al *rack*.
4. Se registro el tiempo de traslado del *rack* con las 40 unidades al próximo proceso de horneado de esta mezcla.

Tabla 10 Mezcla B.

Operación:	Mezcla B		Analista:	Maikol Chinchilla						
Número de parte:	N/A		Departamento:	Proyecto de graduación						
Orden de trabajo:	N/A		Fecha:	Abril						
Tareas	Unid	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desv. Estándar
Colocar Mezcla B en embudos	10	17 s	15 s	14 s	16 s	N/A			16	1.12
Pasar unidades del rack a la torre	10	25 s	24 s	23 s	25 s				24	0.83
Ciclo de la torre	10	400 s	401 s	405 s	403 s				402	1.92
Pasar unidades de torre al rack	10	15 s	13 s	14 s	13 s				14	0.83
Traslado de Rack a siguiente proceso	40	15 s	N/A	N/A	N/A				15	N/A

Resultados tiempos de ciclo (10 unidades)			Duración de un lote = 4 ciclos (40 unidades) 31.38 min
Persona/Equipo	Segundos	Minutos	
Persona	68.50	1.14	
Equipo	402.25	6.70	
Total	470.75	7.85	

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado: El tiempo total por ciclo es de 7.85 minutos en una sola torre, considerando las actividades realizadas por el operario como el tiempo de operación del equipo. Al multiplicar este valor por cuatro ciclos correspondientes a un lote de 40 unidades en la Mezcla B, se obtiene un tiempo de procesamiento de 31.38 minutos por lote.

Tiempo de persona: 1.14 minutos por ciclo de 10 unidades (4.56 minutos por lote).

Tiempo de equipo: 6.70 minutos por ciclo de 10 unidades (26.80 minutos por lote).

Horneado Mezcla B:

1. Se cronometró el tiempo de ingreso y retiro del *rack* al horno.
2. Se registró el tiempo de ciclo del horno, el cual está definido por el procedimiento de manufactura, lo que implica que debe permanecer constante y no tener variaciones.
3. En este proceso de horneado de Mezcla B, al igual que en el de la Mezcla T, se captura una sola muestra por lote, ya que el horno recibe el *rack* con las 40 unidades del lote. Para verificar la consistencia del tiempo de horneado y asegurar que no existan variaciones, se registraron datos de tres lotes diferentes.

Tabla 11 Horneado Mezcla B.

Operación:	Horneado Mezcla B				Analista:	Maikol Chinchilla					
Número de parte:	N/A				Departamento:	Proyecto de graduación					
Orden de trabajo:	N/A				Fecha:	Abril					
Tareas	Unid	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desv. Estándar	
Colocar rack dentro del horno	40	16 s	15 s	17 s	N/A				16	0.82	
Ciclo del horno	40	1800 s	1800 s	1800 s					1800	0.00	
Retirar rack del horno	40	12 s	15 s	14 s					14	1.25	
Traslado de Rack a siguiente proceso	40	15 s	N/A	N/A					15	N/A	

Resultados tiempos de ciclo (40 unidades)			Duración de un lote = 1 ciclo (40 unidades) 30.74 min
Persona/Equipo	Segundos	Minutos	
Persona	44.67	0.74	
Equipo	1800.00	30.00	
Total	1844.67	30.74	

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado: El tiempo total del ciclo de horneado es de 30 minutos por lote, esto exclusivamente por el funcionamiento del horno, ya que procesa el *rack* con las 40 unidades en un mismo ciclo. La intervención de la persona que incluye el ingreso y el retiro del *rack*, así como el traslado al siguiente proceso representa solo 0.75 minutos por lote, lo que indica que este es un proceso muy automatizado.

Tiempo de persona: 0.74 minutos por lote.

Tiempo de equipo: 30 minutos por lote.

Mezcla T:

1. En este proceso también se registraron los cuatro ciclos correspondientes a un lote completo, ya que la torre tiene capacidad de procesar 10 unidades simultáneamente.
2. También se observó que, aunque el tiempo de ciclo de la torre tampoco está formalmente definido en ningún procedimiento de manufactura, se capturaron y se confirmó que los tiempos registrados son bastante consistentes entre sí.
3. La toma de tiempos incluyó todas las actividades relevantes: la colocación de las unidades en la torre, el inicio del proceso, el ciclo, el retiro de las piezas una vez finalizado el ciclo, y la transferencia de las unidades al *rack* de vuelta.
4. También se capturó el tiempo de traslado del *rack* al siguiente proceso.

Tabla 12 Mezcla T.

Operación:	Mezcla T		Analista:	Maikol Chinchilla						
Número de parte:	N/A		Departamento:	Proyecto de graduación						
Orden de trabajo:	N/A		Fecha:	Abril						
Tareas	Unid	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desv. Estándar
Colocar Mezcla T en embudos	10	19 s	17 s	15 s	17 s	N/A			17	1.41
Pasar unidades del rack a la torre	10	25 s	24 s	23 s	25 s				24	0.83
Ciclo de la torre	10	820 s	821 s	820 s	819 s				820	0.71
Pasar unidades de torre al rack	10	19 s	25 s	19 s	24 s				22	2.77
Traslado de Rack a siguiente proceso	40	15 s	N/A	N/A	N/A				15	N/A

Resultados tiempos de ciclo (10 unidades)			Duración de un lote = 4 ciclos (40 unidades)
Persona/Equipo	Segundos	Minutos	
Persona	78.00	1.30	
Equipo	820.00	13.67	
Total	898.00	14.97	
			59.87 min

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado: Este análisis es similar al realizado para la Mezcla B, ya que el proceso también se divide en cuatro ciclos para completar un lote de 40 unidades. En este caso, el tiempo total por ciclo es de 14.97 minutos, resultado de la suma del tiempo de la persona y del funcionamiento del equipo. Al multiplicar por los cuatro ciclos, se obtiene un tiempo total de procesamiento de 59.87 minutos por lote en una torre.

Tiempo de persona: 1.30 minutos por ciclo de 10 unidades (5.20 minutos por lote).

Tiempo de equipo: 13.67 minutos por ciclo de 10 unidades (54.68 minutos por lote).

Horneado Mezcla T:

1. Se cronometró el tiempo de ingresar y retirar el *rack* del horno.
2. Se registró el tiempo del ciclo del horno, el cual, al estar definido por el procedimiento de manufactura, debe mantenerse constante sin presentar variaciones.

3. En este proceso de horneado de la Mezcla T, al igual que en el caso de la Mezcla B, se capturó una sola muestra por lote, ya que el horno procesa el *rack* completo con las 40 unidades. Para confirmar la estabilidad del tiempo de horneado, se tomaron mediciones en tres lotes distintos, lo que permitió verificar que no existían variaciones.

Tabla 13 Horneado Mezcla T.

Operación:	Horneado Mezcla T				Analista:	Maikol Chinchilla					
Número de parte:	N/A				Departamento:	Proyecto de graduación					
Orden de trabajo:	N/A				Fecha:	Abril					
Tareas		Unid	1	2	3	4	5	6	7	Promedio	Desv. Estándar
Colocar rack dentro del horno		40	13 s	15 s	15 s	N/A				5	1.90
Ciclo del horno		40	7200 s	7200 s	7200 s					7200	0.00
Retirar rack del horno		40	14 s	10 s	12 s					4	1.67
Traslado de Rack a siguiente proceso		40	15 s	N/A	N/A					5	N/A

Resultados tiempos de ciclo (40 unidades)			Duración de un lote = 1 ciclo (40 unidades)	
Persona/Equipo	Segundos	Minutos	120.23 min	
Persona	14.00	0.23		
Equipo	7200.00	120.00		
Total	7214.00	120.23		

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado: El tiempo total del del horneado para Mezcla T es de 120.23 minutos (2 horas), por lote, principalmente por el funcionamiento del horno, que procesa el *rack* con las 40 unidades en un solo ciclo. La participación de la persona que realiza el ingreso y el retiro del *rack*, así como el traslado al siguiente proceso, representa únicamente 0.23 minutos por lote, lo que confirma que se trata de un proceso con una mínima participación manual.

Tiempo de persona: 0.23 minutos por lote.

Tiempo de equipo: 120 minutos por lote.

Conclusión toma de tiempos

Durante la toma de tiempos uno de los hallazgos más relevantes es que, en casi todos los procesos, el tiempo total está determinado principalmente por el funcionamiento del equipo, mientras que la intervención de la persona representa una fracción mínima del ciclo total. Esto resalta la importancia de garantizar una adecuada disponibilidad de los equipos o una programación eficiente para maximizar la productividad.

Los tiempos registrados varían según el proceso y la mezcla analizada. Por ejemplo:

- El horneado de Mezcla T representa el tiempo de ciclo más largo con 120.23 minutos por lote, principalmente determinado por el horno.
- Procesos como calentamiento en plasma, y las torres de recubrimiento para las mezclas de B y T, presentan una estructura cíclica por sublotes de 10 unidades, destacando la posibilidad de optimizar tiempos mediante el uso simultáneo de equipos.
- La intervención humana, aunque limitada, debe seguir siendo gestionada eficientemente, ya que los tiempos de manipulación, carga y traslado influyen en la fluidez general del proceso.

4.3.2 Análisis de Capacidad

Este análisis de capacidad tiene como objetivo identificar la capacidad instalada y la capacidad utilizada en cada proceso, así como detectar posibles cuellos de botella que estén limitando el rendimiento general del sistema. Además, permite calcular indicadores clave como la holgura, el aprovechamiento de los recursos y el número máximo de lotes que pueden ser procesados por día o por turno, considerando las restricciones físicas y operativas del sistema.

4.3.2.1 Recopilación de información inicial:

La siguiente tabla resume los datos operativos más importantes de los procesos involucrados en la producción, permitiendo identificar la relación entre los tiempos de atención por parte del personal y los tiempos de uso de los equipos.

Tabla 14 Recopilación de información.

Información General						
Procesos	Tiempo persona por lote (min)	Tiempo equipo por lote (min)	Equipos en el área	Personas por turno	Tiempo disponible por turno (min)	Tiempo disponible diario (min)
Calentamiento en Plasma	4.62	56.00	2	1	480	960
Mezcla B	4.57	26.82	3	1	480	960
Horneado Mezcla B	0.74	30.00	2	1	480	960
Mezcla T	5.20	54.67	3	1	480	960
Horneado Mezcla T	0.23	120.00	2	1	480	960

Fuente. Elaboración propia.

En procesos como Horneado Mezcla T, se observa un tiempo muy alto de uso de equipo (120 min) frente a un tiempo muy bajo del personal (0.23 min). Esto sugiere un alto grado de automatización o supervisión mínima, en donde el cuello de botella es el equipo y no el personal. Lo contrario a procesos como Mezcla T requieren una mayor interacción humana (5.20 min por lote), lo que puede generar una mayor carga de trabajo para el operador.

Como se ha mencionado anteriormente, se considera una jornada de 2 turnos diarios (480 min por turno), totalizando 960 minutos de disponibilidad por recurso (persona y equipo). Este dato es clave para comparar contra la demanda y calcular el porcentaje de uso o nivel de saturación de cada recurso.

Los cinco procesos cuentan con 2 o 3 equipos, lo que permite la paralelización de lotes y aumenta la productividad.

4.3.2.2 Unidades de tiempo utilizadas:

Para efectos de claridad y consistencia en el análisis, todos los cálculos de capacidad, tiempos de proceso y disponibilidad de recursos se expresarán en minutos. Esto permite una comparación directa entre procesos, así como mayor precisión en la estimación de cargas y rendimientos operativos.

4.3.2.3 Requerimiento de personal

Una vez obtenidos los tiempos del personal por lote en cada proceso, se procedió a calcular el requerimiento de personal por turno, considerando la ejecución de 3 lotes por turno, según la planeación operativa diaria.

En esta tabla se multiplica el tiempo persona por lote por 3 (lotes por turno), y luego se compara contra el tiempo disponible por operario por turno (480 minutos). Esta relación permite calcular el porcentaje del tiempo total que cada trabajador dedica a su proceso. A partir de ese resultado se determina cuántas personas serían necesarias por proceso, redondeándolo a uno.

Tabla 15 Requerimiento de personal.

Requerimiento de Personal				
Procesos	Tiempo persona por 3 lotes (min)	Tiempo disponible por turno (min)	Tiempo de 3 lotes entre tiempo disponible	Personas requeridas (redondeado)
Calentamiento en Plasma	$4.62 \times 3 = 13.86$	480	$13.86 / 480 = 0.029$	1
Mezcla B	$4.57 \times 3 = 13.71$	480	$13.71 / 480 = 0.029$	1
Horneado Mezcla B	$0.74 \times 3 = 2.22$	480	$0.74 / 480 = 0.002$	1
Mezcla T	$5.20 \times 3 = 15.60$	480	$5.20 / 480 = 0.011$	1
Horneado Mezcla T	$0.23 \times 3 = 0.69$	480	$0.69 / 480 = 0.001$	1

Fuente. Elaboración propia.

Todos los procesos requieren solo una persona por turno, ya que el tiempo de la persona es bajo en comparación con la jornada disponible de 480 minutos.

Procesos como Horneado de Mezcla B y Mezcla T requiere una dedicación mínima de la persona (menos del 1% del turno), lo que refleja un alto grado de automatización y baja carga manual.

Aunque los procesos de Mezcla T y Calentamiento en Plasma demandan un poco más de tiempo del operario, aún están muy por debajo de la capacidad máxima de una persona, con apenas un 3% de ocupación del turno.

El análisis en resumen muestra que con una persona por proceso por turno se cubre adecuadamente la demanda, sin necesidad de personal adicional, y con holgura suficiente para garantizar continuidad operativa.

4.3.2.4 Cálculo de capacidad

Se calculó la capacidad máxima de producción diaria en función del número de equipos y el tiempo disponible de operación por día (960 minutos, considerando los dos turnos de 8 horas).

El cálculo se realizó dividiendo el tiempo disponible diario por el tiempo de proceso por lote, lo que indica cuántos lotes puede completar cada equipo. Luego, este valor se multiplicó por el número de equipos disponibles en cada proceso para determinar la capacidad total en lotes por día.

Tabla 16 Capacidad de producción.

Capacidad de Producción					
Procesos	Tiempo equipo por lote (min)	Equipos	Tiempo disponible por día	Tiempo disponible entre tiempo de un lote	Capacidad total (lotes/día)
Calentamiento en Plasma	56.00	2	960	$960 / 56.00 = 17.14$	$17.14 \times 2 = 34$
Mezcla B	26.82	3	960	$960 / 26.82 = 35.79$	$35.79 \times 3 = 107$
Horneado Mezcla B	30.00	2	960	$960 / 30.00 = 32.00$	$32.00 \times 2 = 64$
Mezcla T	54.67	3	960	$960 / 54.67 = 17.56$	$17.56 \times 3 = 53$
Horneado Mezcla T	120.00	2	960	$960 / 120.00 = 8.00$	$8.00 \times 2 = 16$

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17 Resumen de capacidad por día.

Capacidad máxima por día (lotes)	
Procesos	Capacidad de lotes por día
Calentamiento en Plasma	34
Mezcla B	107
Horneado Mezcla B	64
Mezcla T	53
Horneado Mezcla T	16

Fuente. Elaboración propia.

4.3.2.5 Análisis de resultados:

Mezcla B presenta la mayor capacidad diaria con 107 lotes por día, gracias a un tiempo de proceso relativamente corto (26.82 min) y la disponibilidad de 3 torres, lo que le otorga una alta rotación.

Horneado de Mezcla B también muestra buena capacidad (64 lotes al día), beneficiado por el uso de 2 hornos y un tiempo de cocción moderado (30 min).

El Horneado de Mezcla T es el proceso con menor capacidad, limitado a 16 lotes diarios por sus 120 minutos de horneado por lote, incluso contando con 2 hornos. Este dato lo posiciona como un posible cuello de botella dentro del flujo productivo.

Mezcla T y Calentamiento en Plasma tienen capacidades intermedias (53 y 34 lotes por día respectivamente), en línea con la cantidad de equipos asignados y los tiempos de procesamiento.

Este análisis evidencia que la capacidad del área no está limitada por la disponibilidad de personal, sino principalmente por los tiempos de proceso de los equipos y su cantidad.

4.3.2.6 Cálculo de porcentaje de utilización y holgura del personal por proceso:

Para evaluar la eficiencia del uso del recurso humano en cada proceso, se calcularon los porcentajes de utilización y holgura de los operarios por turno, considerando la ejecución de 6 lotes diarios (3 por turno), dentro de una jornada de 960 minutos disponibles por día (dos turnos de 480 minutos cada uno).

El cálculo parte del tiempo que un operario dedica por ciclo, multiplicado por la cantidad de ciclos que conforman un lote y luego por la cantidad de lotes diarios. Este tiempo requerido se compara con el tiempo total disponible para obtener el porcentaje de utilización, y su complemento para conocer la holgura.

Fórmulas utilizadas:

Porcentaje de utilización = $(\text{Tiempo requerido} / \text{Tiempo disponible}) \times 100$.

Porcentaje de holgura = $100\% - \% \text{ utilización}$.

Tabla 18 Porcentaje de utilización y holgura por persona.

Porcentaje de utilización y holgura por persona				
Procesos	Tiempo persona por lote (min)	Tiempo requerido para 6 lotes (min)	% Utilización	% Holgura
Calentamiento en Plasma	1.15 x 4 ciclos = 4.60	4.60 x 6 = 27.60	$27.60 / 960 \times 100 =$ 2.88%	97.12%
Mezcla B	1.14 x 4 ciclos = 4.56	4.56 x 6 = 27.36	$27.36 / 960 \times 100 =$ 2.85%	97.15%
Horneado Mezcla B	0.74	0.74 x 6 = 4.44	$4.44 / 960 \times 100 =$ 0.46%	99.54%
Mezcla T	1.30 x 4 ciclos = 5.20	5.20 x 6 = 31.20	$31.20 / 960 \times 100 =$ 3.25%	96.75%
Horneado Mezcla T	0.23	0.23 x 6 = 1.38	$1.38 / 960 \times 100 =$ 0.14%	99.86%

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 19 Resumen porcentaje utilización y holgura por persona.

Resumen porcentajes Personal		
Procesos	% Utilización	% Holgura
Calentamiento en Plasma	2.88%	97.12%
Mezcla B	2.85%	97.15%
Horneado Mezcla B	0.46%	99.54%
Mezcla T	3.25%	96.75%
Horneado Mezcla T	0.14%	99.86%

Fuente. Elaboración propia.

En todos los procesos la utilización del personal es considerablemente baja, lo que indica que los trabajadores cuentan con un alto nivel de holgura operativa.

Calentamiento en Plasma y Mezcla B presentan una utilización de apenas 2.88% y 2.85% respectivamente, lo que se traduce en una holgura superior al 97%. Esto sugiere que los operarios están ampliamente disponibles durante el turno y podrían absorber otras tareas sin

comprometer su función principal. Los procesos con menor utilización aún son más notorios; Horneado Mezcla B: 0.46% de utilización y Horneado Mezcla T: apenas 0.14%.

Estos valores reflejan una carga de trabajo mínima, debido a que el proceso es completamente hecho por los hornos y requiere poco involucramiento de la persona, limitada al ingreso y retiro del *rack*.

Mezcla T muestra la mayor utilización con 3.25%, aunque igualmente mantiene una holgura del 96.75%, que sigue indicando subutilización del personal.

4.3.2.7 Cálculo de porcentaje de utilización y holgura de los equipos por proceso:

Se realizó un análisis de utilización y holgura considerando una demanda diaria de 6 lotes, distribuidos en dos turnos. Este análisis se basa en los tiempos de operación requeridos por cada equipo, comparados contra el tiempo total disponible por día (960 minutos). Se calculó el tiempo total requerido por proceso y se dividió entre la cantidad de equipos disponibles, obteniendo así el tiempo de uso por unidad. Finalmente, se relacionó este tiempo con el total disponible, obteniendo los porcentajes de utilización y holgura.

Tabla 20 Porcentaje de utilización y holgura por equipo.

Porcentaje de utilización y holgura por equipo						
Procesos	Tiempo equipo por lote (min)	Demanda diaria (6 lotes)	Tiempo requerido para 6 lotes (min)	Tiempo requerido por equipo	% Utilización	% Holgura
Calentamiento en Plasma	56.00	6	$56.00 \times 6 = 336.00$	$336.00 / 2 = 168.00$	$168.00 / 960 \times 100 = 17.50\%$	82.50%
Mezcla B	26.82	6	$26.82 \times 6 = 160.92$	$160.92 / 3 = 53.64$	$53.64 / 960 \times 100 = 5.60\%$	94.40%
Horneado Mezcla B	30.00	6	$30.00 \times 6 = 180.00$	$180.00 / 2 = 90.00$	$90.00 / 960 \times 100 = 9.40\%$	90.60%
Mezcla T	54.67	6	$54.67 \times 6 = 328.02$	$328.02 / 3 = 109.34$	$109.34 / 960 \times 100 = 11.40\%$	88.60%
Horneado Mezcla T	120.00	6	$120.00 \times 6 = 720.00$	$720.00 / 2 = 360.00$	$360.00 / 960 \times 100 = 37.5\%$	62.50%

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21 Resumen porcentaje utilización y holgura por equipo.

Resumen porcentajes Equipos		
procesos	% Utilización	% Holgura
Calentamiento en Plasma	17.50%	82.50%
Mezcla B	5.60%	94.40%
Horneado Mezcla B	9.40%	90.60%
Mezcla T	11.40%	88.60%
Horneado Mezcla T	37.50%	62.50%

Fuente. Elaboración propia.

En general, se observa que todos los equipos presentan subutilización importante, aunque en algunos casos más acentuada que en otros.

El equipo más utilizado es el de Horneado de Mezcla T, con una utilización del 37.5%. A pesar de ser el proceso con la operación más prolongada por lote (120 minutos), la disponibilidad de dos hornos permite cubrir la demanda con una holgura del 62.5%, lo cual sigue siendo un margen amplio para ajustes o contingencias.

Le sigue el Calentamiento en Plasma con una utilización del 17.5%, mostrando que los hornos están activos por periodos cortos y podrían atender mayor volumen si se incrementara la demanda.

Los procesos con menor uso de equipo son:

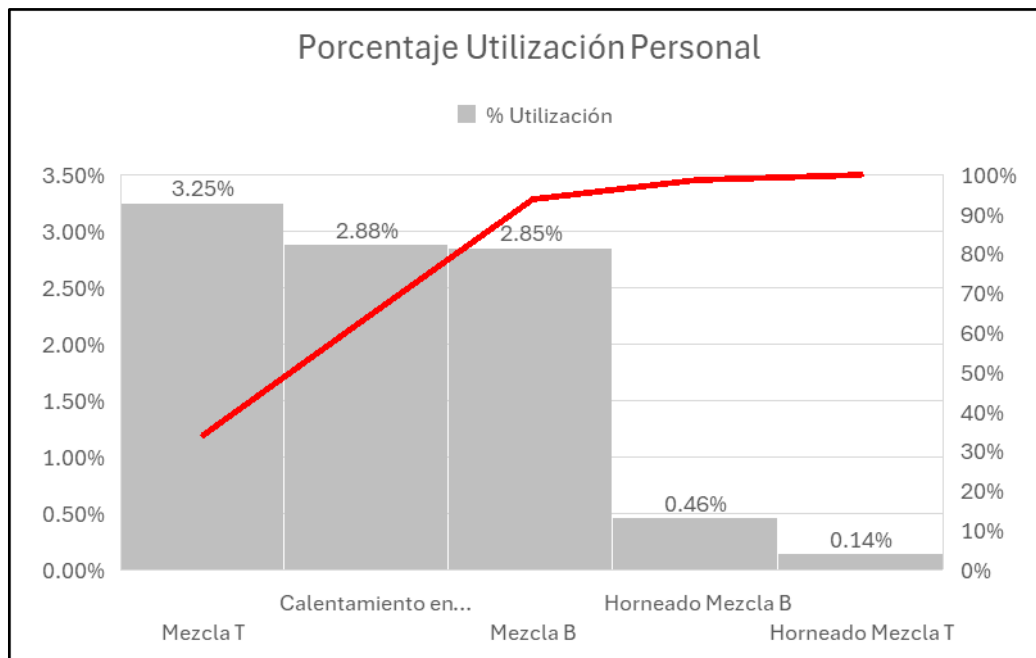
- Mezcla B: 5.60% de utilización.
- Horneado Mezcla B: 9.40%
- Mezcla T: 11.40%

Estos porcentajes indican que los equipos tienen una holgura de más del 88%, lo cual refleja una capacidad ociosa considerable. Esto puede deberse a que los tiempos de proceso por lote son bajos en relación con la disponibilidad diaria y al hecho de que se dé cuenta con varios equipos por área.

4.3.3 Diagramas de Pareto

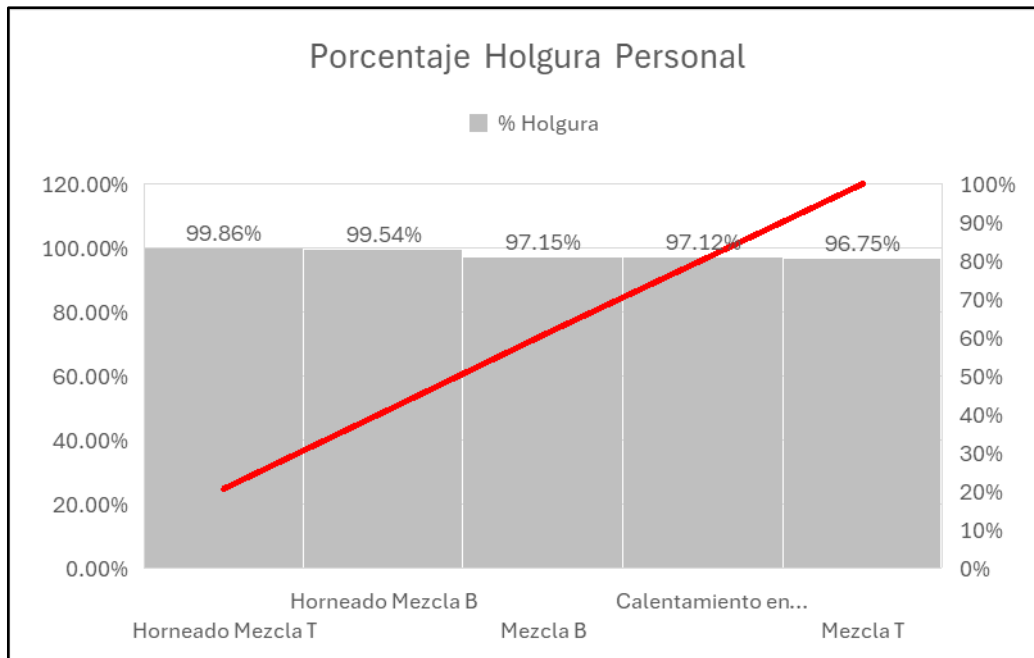
Para este último análisis de utilización, se elaboraron dos diagramas de Pareto que muestran claramente los procesos con mayor porcentaje de uso, tanto en términos de personal como de equipos. A continuación, se presentan los respectivos diagramas:

Ilustración 6 Gráfico de Pareto de utilización del personal.



Fuente. Elaboración propia.

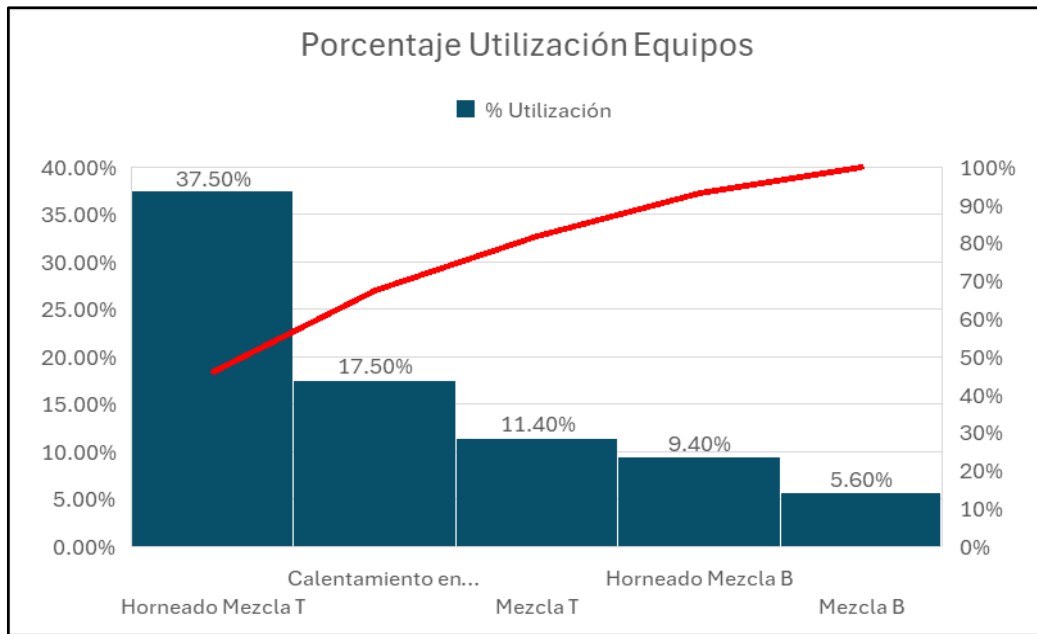
Ilustración 7 Gráfico de Pareto de holgura del personal.



Fuente. Elaboración propia.

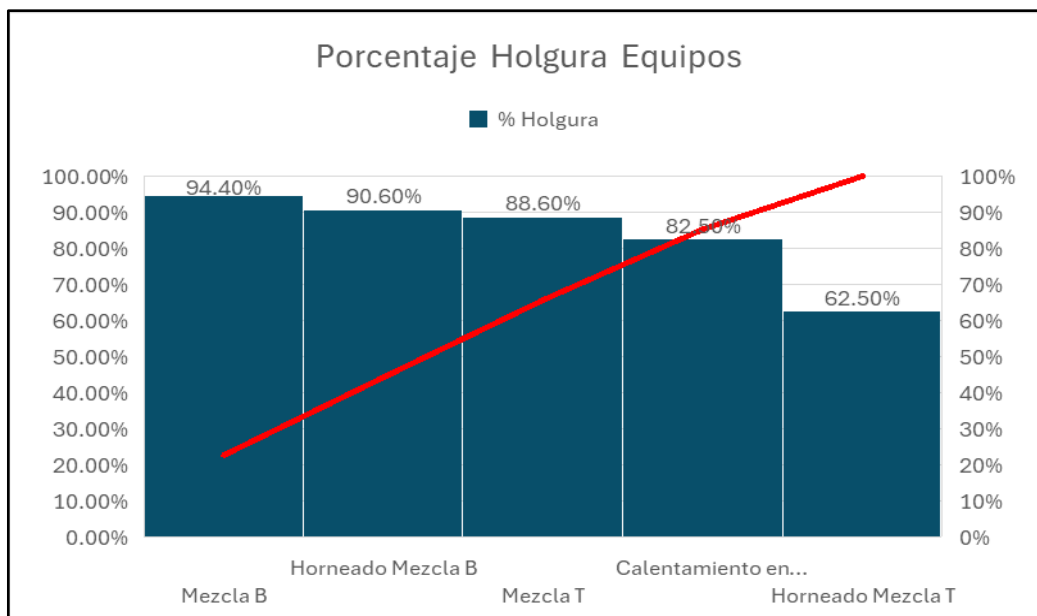
Como se observa en el gráfico, los procesos de Calentamiento de Plasma y Mezcla B presentan los porcentajes más altos de utilización del personal, con un 23% y 15% respectivamente. Aunque estos valores son los más altos, siguen siendo bajos, lo que sugiere una subutilización general del recurso humano. Por otro lado, procesos como el Horneado de Mezcla B y Mezcla T muestran un porcentaje cercano al 0% ya que su ejecución depende principalmente del funcionamiento automático de los equipos, requiriendo mínima intervención del operario.

Ilustración 8 Gráfico de Pareto de utilización de los equipos.



Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 9 Gráfico de Pareto de holgura de los equipos.



Fuente. Elaboración propia.

En el diagrama correspondiente al uso de equipos, se evidencia una concentración significativa en el proceso de Horneado de Mezcla T, que presenta el porcentaje más alto con un 38%, marcando una diferencia considerable respecto a los demás procesos. Le sigue Horneado de la Mezcla B con un 6%, mientras que los otros tres procesos analizados registran apenas un 1% de utilización cada uno. Esta distribución pone en evidencia que el Horneado de la Mezcla T representa la mayor carga sobre los equipos, lo que podría señalar un posible cuello de botella o una oportunidad de redistribución de carga para mejorar la eficiencia del sistema.

Fuente: Es importante recordar que los diagramas de Pareto y los cálculos de utilización presentados se realizaron tomando como base la meta de producción actual de 6 lotes diarios (3 por turno), así como la cantidad de equipos físicos actualmente disponibles en el área. Cualquier cambio en estos parámetros podría modificar significativamente los resultados obtenidos.

4.3.4 Análisis de utilización de recursos por proceso

Cronograma operativo de recursos

Con el fin de identificar las causas del bajo aprovechamiento de recursos, se elaboró un cronograma operativo de las actividades productivas para un día típico, considerando 3 lotes por turno (6 diarios), 16 horas de operación (2 turnos), y la asignación actual de personal y equipos.

La ilustración 10 muestra la distribución horaria de los procesos de Plasma, Mezcla B, Horneado de Mezcla B, Mezcla T y Horneado de Mezcla T, incluyendo los tiempos reales de uso de cada equipo por lote, así como los periodos de espera, inactividad y saturación.

Ilustración 10 Cronograma operativo.

Lote 1	Procesos	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM	5:00 PM	6:00 PM	7:00 PM	8:00 PM	9:00 PM	10:00 PM	
Lote 2		6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	
Lote 3											
	Plasma	1h - plasma 1 1h - plasma 2 Espera	30 min - plasma 1-2								
	Mezcla B		30min - torre 1 30min - torre 2 30min - torre 1-2								
	Horneado MB		30min - horno 1 30min - horno 2	30min - horno 1							
	Mezcla T			1h - torre 1 1h - torre 2	30min - torre 1-2						
	Horneado MT					2h - horno 1 2h - horno 2					
						Espera	2h - horno 1				

Fuente. Elaboración propia.

- Torre 3 de MB y MT no se utilizan.
- Plasma se detiene a las 7:30 am.
- Torres 1-2 de MB se detiene a las 8:00 am.
- Horneado MB se detiene a las 8:30 am.
- Torres 1-2 de MT se detiene a las 9:30 am.
- Horneado MT se detiene a las 12:00 md.

Como se observa, procesos como Horneado de Mezcla T presentan mayor ocupación de equipos de comparación con el resto, mientras que Plasma y Mezcla B concluyen su actividad antes de las 8:00 am., generando una holgura operativa considerable. Esta diferencia sugiere una desbalanceada distribución de carga, lo cual constituye una causa raíz de ineficiencia.

4.4 Análisis de causa raíz

4.4.1 Técnica de los 5 Por qué

Se utilizó la herramienta 5 Por Qué para llegar a la causa raíz del problema relacionado con el bajo control de recursos, revelando la siguiente cadena lógica:

Tabla 22 Técnica de los 5 Porqués.

Planteamiento del problema	¿Por que se tiene baja gestión de los recursos ?
Pregunta 1	¿Por qué no se sabe cuántos operarios, equipos y materiales se necesitan? R/ Porque no existe un sistema de monitoreo y medición en tiempo real.
Pregunta 2	¿Por qué no existe un sistema de monitoreo y medición? R/ Porque no se han implementado herramientas adecuadas para recopilar datos sobre los recursos.
Pregunta 3	¿Por qué no se han implementado herramientas adecuadas? R/ Porque no se han identificado las necesidades de medición específicas.
Pregunta 4	¿Por qué no se han identificado esas necesidades específicas? R/ Porque no se ha realizado un diagnóstico técnico detallado de los procesos que permita reconocer los puntos críticos de control y las variables clave a monitorear.
Pregunta 5	¿Por qué no se ha realizado un diagnóstico técnico detallado? R/ Porque no se ha priorizado esta actividad dentro de la planificación operativa ni se han asignado los recursos necesarios para llevarla a cabo.

Fuente. Elaboración propia.

El problema inicial es la baja gestión de los recursos. La primera causa identificada corresponde a la falta de conocimiento preciso sobre la cantidad exacta de operarios, equipos y materiales necesarios, lo cual se debe a la inexistencia de un sistema de monitoreo y medición en tiempo real. Este sistema no ha sido implementado porque no se han adoptado herramientas adecuadas para la recopilación de datos. La ausencia de estas herramientas se relaciona con la

falta de identificación de necesidades de medición específicas, lo cual, a su vez, se debe a que no se ha realizado un diagnóstico técnico detallado de los procesos. Finalmente, esta última situación tiene su origen en la falta de priorización dentro de la planificación operativa y en la no asignación de los recursos necesarios para ejecutar dicho diagnóstico.

Este análisis revela que la raíz del problema no es técnica, sino organizacional: la falta de priorización y planificación estratégica adecuada ha impedido implementar medidas clave para mejorar la gestión de recursos.

4.5 Análisis de costos asociados a la capacidad instalada y utilización

4.5.1 Introducción

Este análisis tiene como objetivo cuantificar en moneda local el costo del tiempo ocioso (holgura) del personal y equipos, así como el costo de oportunidad de no aprovechar al máximo la capacidad instalada. Esto permitirá justificar decisiones como la redistribución de recursos, aumento de la carga productiva o ajustes en el dimensionamiento del personal.

4.5.2 Costos de Personal

Costos por operador:

\$10 por hora = \$0.167 por minuto.

Fórmulas usadas:

Tiempo ocioso diario (min/día) = Porcentaje de Holgura x Tiempo disponible diario (960 minutos).

Costo diario (\$) = Tiempo ocioso diario x \$0.167 minutos.

Costo mensual (\$) = Costo diario x 22 días laborales.

Tabla 23 Costos de personal.

Costos de Personal				
Procesos	Holgura (%)	Tiempo ocioso (minutos al día)	Costo diario	Costo mensual (22 días)
Calentamiento en Plasma	97.12%	932.35	\$ 155.70	\$ 3,425.46
Mezcla B	97.15%	932.64	\$ 155.75	\$ 3,426.52
Horneado Mezcla B	99.54%	955.58	\$ 159.58	\$ 3,510.82
Mezcla T	96.75%	928.80	\$ 155.11	\$ 3,412.41
Horneado Mezcla T	99.86%	958.66	\$ 160.10	\$ 3,522.10
			Total Mensual	\$ 17,297.31

Fuente. Elaboración propia.

Total mensual por personal subutilizado:

\$17,297.31

Se evidencia una ineficiencia significativa en la asignación de personal, lo que genera un gasto considerable sin retorno productivo. Es recomendable redistribuir las tareas, incrementar la producción o reducir la cantidad de personal en ciertas áreas para mejorar la relación costo-utilidad.

4.5.3 Costos de Equipos

Costos por equipo (energía + depreciación + mantenimiento):

\$30 por hora = \$0.50 por minuto.

Fórmulas usadas:

Tiempo ocioso diario total (min/día) = Holgura % x 960 min x número de equipos.

Costo diario (\$) = Tiempo ocioso total x \$0.50 minutos.

Costo mensual (\$) = Costo diario x 22 días laborales.

Tabla 24 Costos de equipos.

Costos de Equipos					
Procesos	Holgura (%)	Equipos	Tiempo ocioso (minutos al día)	Costo diario	Costo mensual (22 días)
Calentamiento en Plasma	82.50%	2	$(82.50\% \times 960) \times 2 =$ 1584 min	\$ 792.00	\$ 17,424.00
Mezcla B	94.40%	3	$(94.40\% \times 960) \times 3 =$ 2719 min	\$ 1,359.36	\$ 29,905.92
Horneado Mezcla B	90.60%	2	$(90.60\% \times 960) \times 2 =$ 1740 min	\$ 869.76	\$ 19,134.72
Mezcla T	88.60%	3	$(88.60\% \times 960) \times 3 =$ 2552 min	\$ 1,275.84	\$ 28,068.48
Horneado Mezcla T	62.50%	2	$(62.50\% \times 960) \times 2 =$ 1200 min	\$ 600.00	\$ 13,200.00
Total Mensual				\$	107,733.12

Fuente. Elaboración propia.

El exceso de equipos disponibles para la carga real de producción está generando una pérdida innecesaria. Esto genera un costo mensual por subutilización de equipos aproximado de \$107,733.12, lo cual representa un gasto fijo muy elevado con bajo retorno operativo.

4.5.4 Análisis consolidado

En la siguiente tabla podemos ver de una manera resumida cual está siendo el costo de la subutilización tanto del personal como de los equipos:

Tabla 25 Resumen de costos.

Análisis consolidado		
Procesos	Costo diario	Costo mensual
Subutilización de Personal	\$ 786.24	\$ 17,297.31
Subutilización de Equipos	\$ 4,896.96	\$ 107,733.12
Total Pérdida Mensual		\$ 125,030.43

Fuente. Elaboración propia.

El análisis muestra una pérdida mensual total aproximadamente de \$125,030.43 derivada de la subutilización de recursos y capacidad productiva. Este valor representa un desperdicio significativo de la inversión operativa y una oportunidad desaprovechada de generar ingresos.

CAPÍTULO V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

5.1 Introducción

Este capítulo presenta la propuesta de mejora desarrollada a partir del diagnóstico realizado en los capítulos anteriores, centrado en la subutilización de recursos humanos y equipos en el proceso productivo. Se busca, a través del rediseño de la planificación y la redistribución de recursos, mejorar la eficiencia operativa, optimizar el uso de la capacidad instalada y reducir los costos asociados a recursos ociosos.

La solución planteada tiene como foco la redistribución de cargas de trabajo, el balanceo de líneas de producción, la reasignación de tareas auxiliares al personal subutilizado y el aprovechamiento estratégico de la capacidad ociosa para aumentar la producción o diversificar productos.

Previo al desarrollo de esta propuesta de mejora, el área de recubrimiento químico presentaba una debilidad significativa en cuanto a la gestión de información operativa y control de recursos. No existía un sistema formal o herramienta digitalizada que permitiera conocer en detalle el nivel de utilización de los equipos, el tiempo efectivo de trabajo del personal, los periodos de holgura o la capacidad real instalada de cada proceso.

Esta ausencia de visibilidad impedía identificar objetivamente los cuellos de botella, los recursos subutilizados y las oportunidades de optimización dentro del proceso productivo. Como consecuencia, las decisiones de planificación y asignación de recursos se tomaban con base en criterios empíricos o estimaciones generales, lo que afectaba directamente la eficiencia, los costos y la competitividad de la empresa.

Ante esta situación, como parte del desarrollo del diagnóstico, se diseñó y construyó una herramienta de análisis en formato Excel, específicamente adaptada a las características de la operación, esta herramienta permite:

- Registrar los tiempos de ciclo por proceso.
- Incorporar la cantidad de personal y equipos asignados.
- Simular escenarios de carga de trabajo según la demanda diaria.
- Calcular automáticamente los niveles de utilización, holgura y capacidad de cada proceso.
- Visualizar cuantitativamente los costos asociados al tiempo ocioso tanto de personal como de equipos.

Gracias a esta herramienta de capacidad, fue posible obtener, por primera vez, una representación clara y numérica del nivel de subutilización de recursos existente, evidenciando oportunidades concretas de mejora que antes no eran plenamente visibles para la organización. Este diagnóstico numérico constituye la base objetiva sobre la cual se fundamenta la propuesta de optimización planteada en este capítulo.

5.2 Principales causas y soluciones propuestas

A partir del análisis de la situación actual se identificaron las siguientes causas fundamentales:

Tabla 26 Comparación de causas y propuestas.

Principales Causas		Potenciales Propuestas	
Causa 1	Alta subutilización de personal	Solución 1	Redistribución de tareas y asignación a funciones auxiliares
Causa 2	Capacidad ociosa en equipos	Solución 2	Optimización del uso de equipos con nueva planificación y mantenimiento preventivo
Causa 3	Cuello de botella en el proceso de Homeado Mezcla T	Solución 3	Balanceo de producción para evitar que este proceso limite la producción general
Causa 4	Falta de aprovechamiento de capacidad instalada	Solución 4	Aumento de lotes diarios hasta el límite operativo (16 lotes/día)

Fuente. Elaboración propia.

5.3 Argumentos de la propuesta

5.3.1 Subutilización de recursos humanos

El análisis de capacidad reveló que el personal operativo presenta una holgura promedio superior al 96%. Por ejemplo, cada persona cuenta con 960 minutos diarios, pero más de 920 no son utilizados de forma productiva. Esto representa un costo diario estimado de \$786.24 y pérdidas mensuales de \$17,297.31.

Las oportunidades identificadas son:

5.3.1.1 Reasignar personal a actividades de valor agregado

Mantenimiento preventivo, limpieza profunda, apoyo en inspección de calidad y capacitación continua. Al aprovechar al menos el 50% del tiempo ocioso, se estima un ahorro mensual de \$8,648.64.

Beneficio por nuevo costo diario “no productivo”:

Reducción del 50%: $\$786.24 \times 50\% = \393.12 diarios.

Ahorro mensual potencial: $393.12 \times 22 \text{ días} = \$8,648.64$ mensuales.

5.3.1.2 Evitar contratación adicional en caso de aumento moderado de demanda.

En un escenario donde haya un incremento en la demanda de un 10% normalmente se va a requerir:

- Aumento proporcional en la producción
- Normalmente implicaría contratar más personal.

Como en esta área se tiene holgura, se puede absorber hasta un 20% extra de demanda sin contrataciones adicionales. Un operario adicional contratado costaría: \$10 la hora, \$80 el día, \$1,760 el mes.

Beneficio por cada contratación evitada:

Si evitamos contratar 2 operarios adicionales (por cubrir el incremento con personal actual):

$\$1,760 \times 2 = \$3,520$ ahorrados mensualmente.

5.3.1.3 Sistema rotativo para tareas auxiliares o imprevistos.

Con un sistema de este tipo se reduce la dependencia de personal adicional de soporte externo y podría disminuir los tiempos muertos ante contingencias.

Por ejemplo, si antes se contrataba eventualmente personal externo (terceros) para:

- Limpiezas profundas: \$700 (supuesto basado en promedios históricos de contrataciones eventuales en la planta).
- Mantenimiento básico: \$900 (supuesto estimado a partir de costos de servicios de mantenimiento reportados por el área de mantenimiento).

Beneficio adicional indirecto:

$\$700 + \$900 = \$1,600$ mensuales (supuestos) de costos evitados.

5.3.1.4 Reducción de personal operativo mediante optimización de recursos

El nivel de holgura identificado permite incluso plantear una reducción efectiva del personal sin comprometer la producción actual. Actualmente se asignan 5 operadores por turno, lo que equivale a 10 operadores totales considerando los dos turnos diarios. Sin embargo, el análisis muestra que con una correcta programación de tareas, es viable operar eficientemente con solo 3 operadores por turno (6 entre ambos turnos) manteniendo la producción actual.

Beneficio económico:

Disminución de 4 operadores ($10 - 6 = 4$)

Costo por operador: \$10 hora = \$80 al día = \$1,760 al mes.

Ahorro mensual: 4 operadores x \$1,760 = \$7,040 mensuales

Ahorro anual: \$7,040 x 12 = \$84,480 anuales

Además, el personal liberado puede ser reubicado estratégicamente en otras áreas de la empresa que requieran mayor soporte, evitando nuevas contrataciones y optimizando los recursos humanos a nivel global.

Tabla 27 Resumen de beneficios esperados

Descripción	Beneficio Mensual (\$)	Beneficio Anual (\$)
Reasignación parcial de tiempo ocioso a tareas de valor agregado (50% del tiempo)	\$ 8,648.64	\$ 103,783.68
Contrataciones evitadas ante crecimiento de demanda (2 operarios evitados)	\$ 3,520.00	\$ 42,240.00
Reducción de personal operativo (4 operarios menos)	\$ 7,040.00	\$ 84,480.00
Sistema rotativo de apoyo (ahorro por servicios externos evitados)	\$ 1,600.00	\$ 19,200.00
Total General \$	19,208.64 \$	230,503.68

Fuente. Elaboración propia.

Con estas tres oportunidades identificadas a pesar de seguir pagando el salario actual, estas medidas transforman tiempo ocioso en actividades productivas, generando valor interno, disminuyendo gastos externos y evitando costos de expansión de personal ante aumentos de

demanda, además, la empresa adquiere mayor flexibilidad operativa, capacidad de respuesta rápida, control de costos fijos y optimización de su personal actual.

5.3.2 Capacidad instalada y cuello de botella

5.3.2.1 Consolidación de lotes para maximizar la utilización de capacidad instalada

El análisis detallado de los procesos reveló que actualmente algunos lotes de producción se procesan por debajo de la capacidad técnica de los equipos de mezcla, principalmente por limitaciones de planificación o prácticas operativas heredadas. Sin embargo, los equipos cuentan con capacidad para procesar hasta 50 unidades por lote, sin afectar los estándares de calidad ni la estabilidad del proceso.

La consolidación de los lotes al máximo permitido trae consigo los siguientes beneficios:

- Reducción de la cantidad de ciclos operativos diarios: al producir más unidades por ciclo, disminuye el número total de operaciones de carga, descarga, limpieza y preparación.
- Disminución de tiempos muertos y “*setups*” entre lotes, mejorando el flujo de trabajo.
- Reducción del desgaste mecánico de los equipos, al disminuir la frecuencia de operación.
- Menor consumo energético e insumos auxiliares por unidad producida, mejorando la eficiencia energética global.
- Optimización del uso de personal operativo, ya que el mismo volumen de producción se logra con menor intervención.

Beneficio económico:

- Ahorro por reducción de tiempos muertos y ciclos no productivos: Aproximadamente 20% de ahorro operativo.
- Mejora directa del indicador de eficiencia global del sistema, lo que impacta favorablemente la productividad total.

Esta consolidación de lotes favorece la estrategia global de optimización al permitir procesar mayores volúmenes con menos ciclos, menor intervención humana, menos desgaste de maquinaria y menores costos asociados al ciclo completo de producción.

5.3.2.2 Cuello de botella identificado en el proceso de Horneado Mezcla T

El análisis de capacidad evidenció que, aunque la mayoría de los procesos de la línea de producción tienen capacidad suficiente, existe una restricción crítica ubicada en el proceso de Horneado Mezcla T, el cual limita la producción total a un máximo de 16 lotes diarios bajo las condiciones operativas actuales.

Actualmente el área procesa 6 lotes diarios, lo que deja un margen ocioso de 10 lotes adicionales que podrían ser aprovechados sin necesidad de incorporar recursos adicionales. Este cuello de botella, si bien constituye la principal restricción, también representa una oportunidad clara de optimización planificada.

Se propone como estrategia:

- Incrementar progresivamente la producción diaria hasta alcanzar el límite actual de 16 lotes diarios.
- Sincronizar los procesos previos para reducir acumulaciones, tiempos de espera, inventarios intermedios y descoordinaciones logísticas.

- Evaluar a futuro la posibilidad de realizar mejoras en el cuello de botella, ampliación de turnos o automatización parcial del proceso limitante para incrementar aún más la capacidad.

Beneficio económico:

- Beneficio económico diario: \$400 diarios.
- Beneficio mensual: 22 días laborales x \$400 = \$8,800 mensuales.
- Beneficio anual estimado: \$105,600 anuales.

Este beneficio se logra sin inversiones adicionales, ya que:

El personal actual tiene una holgura superior al 96%, lo que permite absorber el incremento de producción, además, los equipos previos al cuello de botella tienen suficiente capacidad disponible y la sincronización de procesos reducirá consumos energéticos, desgaste de equipos y tiempos improductivos.

Esta propuesta transforma una limitación operativa actual en una oportunidad concreta de mejora productiva, económica y organizacional, optimizando los recursos disponibles de forma eficiente y sostenible.

Tabla 28 Resumen de beneficios esperados

Descripción	Beneficio Mensual (\$)	Beneficio Anual (\$)
Incremento de producción en Horneado Mezcla T (de 6 a 16 lotes diarios)	\$ 8,800.00	\$ 105,600.00
Consolidación de lotes (20% de ahorro operativo + energía e insumos)	\$ 4,400.00	\$ 52,800.00
Total General \$	13,200.00 \$	158,400.00

Fuente. Elaboración propia.

Esta propuesta permite transformar una limitación operativa en una oportunidad concreta de mejora productiva, económica y organizacional, optimizando el sistema sin incurrir en sobrecostos relevantes, lo que representa un aprovechamiento eficiente de los recursos.

5.3.3 parque de equipos actual

El análisis de capacidad evidenció una baja utilización de los equipos de mezcla, con apenas un 5.60% para la Mezcla B y un 11.40% para la Mezcla T. Esta subutilización genera costos innecesarios en mantenimiento, energía y espacio.

Esta subutilización representa una oportunidad concreta de mejora en varios frentes:

5.3.3.1 Reducción de costos operativos:

Como los equipos operan por debajo de su capacidad, es posible desactivar temporalmente un mezclador de cada tipo sin afectar la producción, lo que permite generar ahorros económicos, como los que se estiman a continuación:

Beneficio económico:

Ahorro por mantenimiento anual por equipo: \$2,000 (estimación basada en costos promedios de mantenimiento preventivo y correctivo reportados por el área técnica).

Ahorro energético diario por equipo (8 horas de operación): \$10 (calculado a partir de consumo eléctrico promedio de 5 kW/h por equipo y tarifa eléctrica industrial vigente), lo que equivale a \$2,640 anuales por equipo.

Ahorro total anual por cada equipo: \$4,640.

Ahorro total al desactivar dos equipos: \$9,280 anuales.

5.3.3.2 Optimización de activos físicos:

Al confirmar que el parque de equipos actual podría estar sobredimensionado para la demanda real, surge la posibilidad de:

- Liberar espacio útil en la planta.
- Reubicar equipos en otras líneas o procesos.
- Vender equipos subutilizados y recuperar inversión de capital (supuesto de \$10,000 basado en estimaciones de valor de mercado para equipos usados similares en plataformas de compra-venta industrial y consultas al proveedor de los equipos).

Beneficios adicionales indirectos:

- Disminución del desgaste mecánico de equipos.
- Reducción del riesgo de fallos operativos por uso innecesario.
- Mejora de indicadores de eficiencia global de los equipos (OEE).
- Facilita el acceso para mantenimientos programados sin afectar la producción.

Tabla 29 Resumen de beneficios esperados

Descripción	Beneficio Mensual (\$)	Beneficio Anual (\$)
Ahorro mantenimiento y energía al desactivar 2 mezcladores	-	\$ 9,280.00
Posible recuperación de inversión por venta de equipos (supuesto)	-	\$ 10,000.00
Total General \$	- \$	19,280.00

Fuente. Elaboración propia.

5.4 Detalle de la solución propuesta

5.4.1 Redistribución del personal

- Reasignación de operadores ociosos a tareas auxiliares por turnos.
- Capacitación cruzada para que el personal pueda operar múltiples procesos.
- Eliminación de tiempos muertos mediante programación intercalada de tareas.

5.4.2 Optimización de equipos

- Calendario de mantenimiento preventivo mensual durante tiempos no productivos.
- Ajuste de los horarios de producción para mejorar la sincronización.
- Uso estratégico de equipos para pruebas de calidad o innovación de productos.

5.4.3 Aumento de la producción diaria

Actualmente se producen 6 lotes al día, pero la capacidad permite 16 (limitada por el cuello de botella). Se propone aumentar gradualmente la producción hasta alcanzar los 16 lotes diarios, lo cual representa:

Costo de oportunidad recuperado:

- Lotes adicionales: $10 \times \$40$ utilidad por lote = \$400 diarios.
- Mensual (20 días): \$8,800

5.4.4 Balanceo de carga

- Ajuste de planificación para balancear las cargas entre Mezcla B, Mezcla T y sus respectivos hornos.
- Estudio de tiempos para reducir las brechas de utilización entre procesos.
- Evaluación del tamaño óptimo del lote diario para maximizar flujo sin sobrecargar el cuello de botella.

5.5 Control y sostenibilidad de la solución

Aunque la propuesta no será implementada como parte del proyecto de bachillerato, se contempla una estrategia para su sostenibilidad en caso de ejecución futura:

Medidas de control propuestas:

- Indicadores de eficiencia por procesos (*KPI*): Utilización, disponibilidad, productividad.
- Registro diario de tiempos muertos, producción real y desvíos del plan.
- Revisión mensual de la planificación vs ejecución.

Plan de seguimiento:

- Reuniones quincenales de producción para analizar mejoras y cuellos de botella.
- Capacitación continua del personal.
- Auditorías internas de eficiencia operativa.

Gestión del cambio:

- Comunicación clara a los operadores sobre los objetivos de redistribución.
- Involucramiento del personal en la identificación de mejoras.
- Incentivos por desempeño vinculado a mejoras de productividad.

5.6 Evaluación económica general

A partir del diagnóstico realizado y las propuestas presentadas, se estiman los siguientes beneficios económicos consolidados:

Tabla 30 Resumen consolidado de beneficios económicos

Categoría	Beneficio Mensual (\$)	Beneficio Anual (\$)
Optimización personal	\$ 20,808.64	\$ 249,703.68
Optimización capacidad instalada	\$ 13,200.00	\$ 159,400.00
Optimización equipos	-	\$ 19,280.00
Total General \$	34,008.64 \$	428,383.68

Fuente. Elaboración propia.

Este análisis evidencia el alto potencial de mejora económica que se obtiene mediante la optimización integral de recursos humanos, capacidad productiva y activos físicos existentes, sin requerir inversiones significativas inmediatas, priorizando la eficiencia operacional sostenible.

5.6.1 Consideraciones de la evaluación económica

Impacto a corto plazo: La propuesta permite generar beneficios económicos inmediatos sin realizar grandes inversiones iniciales.

Impacto a mediano plazo: Se mejoraría significativamente la eficiencia operativa, generando una mayor rentabilidad y capacidad de respuesta ante aumentos de demanda.

Impacto a largo plazo: Al optimizar el uso de recursos existente, se sientan las bases para una estrategia de crecimiento controlado, evitando incrementos innecesarios de costos fijos.

Inversión inicial requerida: La propuesta planteada no requiere inversiones de capital, salvo en caso de que la empresa desee ampliar su capacidad futura con mejoras en el cuello de botella.

En resumen, la propuesta de mejora presenta un escenario económicamente atractivo, sostenible y factible, que permitiría transformar la actual situación de subutilización en una operación más eficiente y rentable.

5.6.2 Balance económico general

Con base en los datos obtenidos durante el diagnóstico y el consolidado de beneficios derivados de la propuesta de mejora, se presenta a continuación un análisis comparativo integral del escenario actual frente al proyectado tras la implementación de las soluciones propuestas.

Costo actual mensual de personal operativo (10 operadores): $10 \text{ operadores} \times \$1,760 = \$17,600$ mensual.

Costo anual actual de personal operativo: $\$17,600 \times 12 = \$211,200$ anual.

Costos operativos generales actuales (energía, insumos, mantenimiento, servicios externos, etc.) sumando consumos de energía, desgaste, contrataciones eventuales, servicios externos: aproximadamente \$80,000 anuales (supuesto basado en promedios de gastos operativos históricos del último año, provistos por el departamento de administración y mantenimiento).

Costo total actual anual estimado: Personal = $\$211,200$ + Operativo = $\$80,000$.

Total: $\$291,200$ anual.

Beneficio económico proyectado tras aplicar la propuesta:

De acuerdo con el consolidado de beneficios económicos en las secciones anteriores, se proyecta un beneficio económico total anual estimado de: $\$428,383.68$ anuales.

Tabla 31 Análisis comparativo económico de la propuesta de mejora

Concepto	Cálculo	Resultado
Costo total actual anual	Personal operativo (\$211,200) + Costos operativos generales (\$80,000)	\$291,200
Beneficio económico proyectado anual	Consolidado de beneficios estimados	\$428,383.68
Ganancia neta anual proyectada	\$428,383.68 - \$291,200	\$137,183.68
Porcentaje de mejora económica	$(\$137,183.68 \div \$291,200) \times 100$	47%

Fuente. Elaboración propia.

5.7 Riesgos y consideraciones

A continuación, se presentan los principales riesgos identificados para la futura implementación de la propuesta, su impacto potencial y las estrategias de mitigación recomendadas:

Tabla 32 Riesgos y consideraciones

Riesgo	Impacto potencial	Estrategia de Mitigación
Resistencia al cambio	Medio	Implementar un plan de gestión del cambio que incluya comunicación clara, talleres y retroalimentación continua.
Desajustes en la planificación inicial	Alto	Realizar una prueba piloto, evaluar resultados en fases tempranas y ajustar progresivamente los turnos y recursos.
Capacidad limitada del cuello de botella (Horneado Mezcla T)	Alto	Sincronizar procesos previos para reducir acumulaciones y estudiar a futuro su automatización o ampliación.
Subestimación de los tiempos de aprendizaje del personal	Medio	Aplicar capacitación cruzada progresiva y establecer un sistema de acompañamiento durante el periodo de transición.
Falta de seguimiento a indicadores de eficiencia	Medio	Establecer rutinas de revisión quincenal de KPIs operativos y asignar un responsable de seguimiento.

Fuente. Elaboración propia.

5.8 Conclusión del capítulo

La propuesta de mejora desarrollada responde directamente a las causas raíz identificadas en el diagnóstico. A través de la redistribución de cargas, optimización de planificación y uso estratégico de los recursos existentes, es posible obtener mejoras significativas en eficiencia operativa, reducción de costos y preparación para enfrentar aumentos futuros de demanda, sin necesidad de realizar inversiones de capital en infraestructura.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones Generales del Proyecto

Una vez alcanzados los objetivos planteados en el proyecto, se concluye que existe una significativa subutilización de recursos humanos y equipos dentro del proceso productivo de la empresa. El análisis de capacidad reveló que el personal operativo presenta una holgura superior al 96%, lo que implica que más de 920 minutos diarios por operario permanecen sin ser utilizados productivamente. Esta situación genera un costo mensual estimado de \$17,297.31 solo en tiempo no productivo del personal.

Por otra parte, el análisis evidenció un bajo nivel de utilización de los equipos de mezcla, con un porcentaje de uso inferior al 12%, generando costos innecesarios en mantenimiento, energía y depreciación, además de ocupar espacio físico que podría ser aprovechado de mejor manera. La capacidad ociosa actual se traduce en un costo de oportunidad mensual estimado en \$8,800 (10 lotes diarios x \$40 utilidad por lote x 22 días laborales), basado en la utilidad bruta por lote no producido al máximo de la capacidad instalada.

Los beneficiarios directos de esta propuesta de mejora son el área de producción, el departamento de planeación y la gerencia general, al disponer de información clara para la toma de decisiones. Los beneficiarios indirectos incluyen el personal operativo, al recibir capacitación y reasignación más eficiente de tareas, y la empresa en su conjunto, al elevar su competitividad y eficiencia.

6.2 Cumplimiento de Objetivos del Proyecto

Los objetivos del proyecto fueron alcanzados satisfactoriamente:

- Se diagnosticó la capacidad instalada real de los procesos.
- Se identificó y cuantificó la subutilización de personal y equipos.

- Se estimaron los costos económicos del tiempo ocioso y el costo de oportunidad.
- Se diseñó una propuesta de mejora basada en redistribución de tareas, balanceo de carga y optimización de la programación.

6.3 Beneficios Económicos Estimados

- Reducción potencial del costo de personal subutilizado: \$17,297.31 mensuales (según análisis de holgura de personal operativo, Capítulo V).
- Ingreso adicional potencial por incremento de producción: \$8,800 mensuales (10 lotes adicionales diarios x \$40 utilidad por lote x 22 días, Capítulo V).
- Ahorros en energía y mantenimiento: \$9,280 anuales (derivados de la desactivación temporal de dos equipos de mezcla ociosos, Capítulo V).

Estos beneficios, sumados, reflejan un impacto económico anual superior a \$428,000, evidenciando la rentabilidad y viabilidad de la propuesta.

6.4 Conclusiones Específicas de la Solución Propuesta

- La redistribución del personal permitirá una mejor utilización de la jornada laboral y podrá incorporar actividades de valor agregado.
- El balanceo de carga entre procesos minimizará cuellos de botella como el observado en Horneado Mezcla T, maximizando la producción sin necesidad de inversiones en equipos nuevos.
- La mejora en la programación y sincronización de tareas reducirá el tiempo de espera entre procesos, mejorando el flujo continuo.

6.5 Recomendaciones Generales

- Establecer indicadores de utilización de personal y equipos para un seguimiento continuo.
- Implementar mecanismos de capacitación para el personal a fin de que puedan asumir funciones cruzadas entre procesos.
- Aplicar herramientas de mejora continua como *Lean Manufacturing* para identificar y eliminar desperdicios sistemáticamente.
- Revisar periódicamente la planeación de la producción y ajustar los turnos según la demanda real.
- Considerar la automatización parcial en procesos de alta repetitividad con baja utilización de mano de obra.

6.6 Recomendaciones sobre la Implementación (para futuro trabajo)

Aunque este proyecto no contempla la implementación directa, se recomienda que futuras iniciativas incluyan:

- Una prueba piloto para validar la propuesta de redistribución y balanceo.
- Evaluaciones mensuales de indicadores clave (*KPI*) para medir el impacto de los cambios.
- Un plan de comunicación y gestión del cambio para involucrar al personal desde las etapas tempranas del rediseño.
- Documentación del nuevo proceso mediante estándares de trabajo y procedimientos operativos.

6.7 Implicaciones Económicas a Corto, Mediano y Largo Plazo

- Corto plazo (1-3 meses): Ahorro inmediato en horas improductivas, mejor moral del equipo, aumento leve en la producción sin inversión.
- Mediano plazo (4-12 meses): Reducción sostenida de costos operativos, incremento en la capacidad de respuesta ante demanda variable.
- Largo plazo (12+ meses): Aumento de competitividad de la empresa, posibilidad de atender nuevos mercados sin ampliar capacidad instalada, mejor posición financiera.

6.8 Inversiones Requeridas (estimadas)

La propuesta base planteada en este proyecto no requiere inversiones de capital para su implementación inicial, dado que se basa principalmente en la optimización de los recursos existentes. Sin embargo, en un escenario de implementación avanzada y sostenida, podrían contemplarse algunas inversiones adicionales para maximizar el impacto de las mejoras:

- Capacitación y desarrollo del personal: \$2,000 (talleres internos y formación continua).
- Consultoría externa para optimización y rediseño de procesos (opcional): \$3,000.
- Implementación de *software* para programación y control de producción (opcional): \$5,000.

Estas inversiones son opcionales y no condicionan la viabilidad económica de la propuesta inicial.

6.9 Consideraciones Finales

Este proyecto representa un paso clave hacia una gestión más eficiente de los recursos disponibles. La evidencia recopilada y analizada sustenta la necesidad de un rediseño operativo

orientado a reducir la holgura innecesaria, mejorar la productividad y disminuir costos asociados al tiempo improductivo. Las soluciones planteadas son viables, escalables y alineadas con los principios de la ingeniería industrial para la mejora continua.

CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA

- Bremer, M. (2021). *Cómo hacer un Gemba Walk*. Profit Editorial.
- Cardona, S. (2022). *Fundamentos de administración - 5ta edición*. Ecoe ediciones.
- García, I. A. (2024). *La Magia del Kaizen: Pequeños cambios, grandes resultados*. Ediciones doble A.
- Laisequilla, I. (2023). *La biblia de la Industria - Ingeniería, Métodos, Calidad y Estadística*. IL Publishing house.
- Laisequilla, I. (2023). *La biblia del Ingeniero Industrial - Ingeniería y Métodos*. IL Publishing house.
- Laisequilla, I. (2024). *Fundamentos de la Ingeniería Industrial: Ingeniería, Manufactura, Métodos, Calidad, Estadística, Cadena de Suministro*. IL Publishing house.
- Minetto, B. (2019). *Blog de la calidad*. Obtenido de Google: <https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/>
- Monsalve, N. A. (2023). *La gestión de proyectos sostenibles como herramienta para el fortalecimiento de la competitividad*. Universidad EAN.
- Mora, L. A. (2024). *Gestión y control moderno de inventarios*. Ediciones de la U.
- Nadal, J. O. (2020). *Gestión eficiente de proyectos de innovación*. Profit Editorial.
- Ortegón, A. M. (2023). *La gerencia de proyectos como impulsor de la estrategia organizacional*. Universidad EAN.
- Ortiz. (2024). *Fundamentos de ingeniería industrial– 1ra edición: Una visión actualizada desde su definición, currículo, estudio y aplicaciones*. Ecoe Ediciones.
- Reina, J. M. (2022). *OFICINA TÉCNICA DE PROYECTO EN INGENIERIA INDUSTRIAL*. Editorial Universitas.
- Vargas, J. H. (2024). *Gestión y control de inventarios*. Ediciones de la U.