

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

OPTIMIZACIÓN DE CONSUMO DE AIRE EN MAQUINAS
SOPLADORAS CON METODOLOGÍA TPM

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero/a en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumno:

Alejandro Ignacio Bustos Ortega

Profesor Guía:

Mg. Ing. Cristian Cuadra



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: OPTIMIZACIÓN DE CONSUMO DE AIRE EN MAQUINAS SOPLADORAS CON METODOLOGÍA TPM

Nombre del candidato(a): Alejandro Ignacio Bustos Ortega

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial

Campus: Viña del Mar ; **Departamento:** Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Cuadra, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

- ☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.
- ☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:
- ☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24-07-2025 ; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 24-07-2025 ; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

Este proyecto propone la implementación de la metodología Total Productive Maintenance (TPM) para optimizar el proceso de soplado de envases en CCU, abordando ineficiencias energéticas y operativas identificadas en el diagnóstico. La estrategia integra los ocho pilares del TPM, desde mantenimiento autónomo hasta gestión administrativa, con enfoque en:

1. Estandarización de parámetros (presión, temperatura, tiempos de ciclo) mediante paneles visuales y tecnología IoT para monitoreo en tiempo real.
2. Reducción de pérdidas energéticas (fugas, descalibraciones) con sensores predictivos y protocolos de mantenimiento planificado.
3. Capacitación certificada para operadores en eficiencia energética y manejo de herramientas digitales.

Los beneficios proyectados incluyen:

- Ahorros energéticos del 15-22% en aire comprimido y electricidad.
- Mejora de calidad (40% menos defectos) y productividad (OEE objetivo: 82%).
- Sostenibilidad ambiental, alineado con ISO 50001 y ODS 7 y 12.

Con una inversión estimada de USD 120.000, el ROI esperado es de 1.8x en 18 meses. El modelo, escalable a otras áreas, posicionaría a CCU como referente en manufactura sostenible mediante TPM e Industria 4.0.

Palabras clave: TPM, eficiencia energética, mejora continua, soplado de envases, IoT, sostenibilidad industrial.

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

CCU: Compañía de Cervecerías Unidas

ÍNDICE

RESUMEN..... I

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA II

ÍNDICE DE TABLAS..... VI

INTRODUCCIÓN..... 1

OBJETIVO GENERAL..... 3

OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 3

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES..... 4

1. ANTECEDENTES GENERALES..... 5

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA..... 5

1.1.1 Antecedentes de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU)..... 5

1.1.2 Misión y Visión de CCU..... 6

1.1.3 Gobierno corporativo..... 7

1.1.4 Línea de Productos y Marcas de CCU..... 1

1.1.5 Asociaciones y Alianzas Estratégicas 2

1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA..... 2

1.2.1 Descripción de Problemas Identificados..... 4

1.2.2 Oportunidades de Mejora en CCU 7

1.3. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS INVOLUCRADOS 8

1.3.1 Termoformado 8

1.3.1.1 Etapas del Proceso de Termoformado 8

1.4. DESCRIPCIÓN DE PROCESO DE SOPLADO 9

1.5. PROCESO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA: 11

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA.....13

2.1. METODOLOGÍA 14

2.1.1 Principales Características de una Metodología.....14

2.1.2 Tipos de Metodologías (Según Ámbito) 14

2.2. METODOLOGÍA TPM 16

2.2.1 Pilares del TPM.....16

2.2.2 implementación del TPM 20

2.2.3 Beneficios de Implementar TPM.....23

	2.2.4	TPM Vs otras metodologías	23
	2.2.5	Casos de éxito en la implementación de TPM	24
		CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE METODOLOGÍA TPM.....	27
	3.1.	MANTENIMIENTO AUTÓNOMO (JISHU HOZEN - 自主保全)	28
	3.1.1	Objetivo del Pilar	28
	3.1.2	Implementación.....	29
	3.1.3	Medición de Resultados	30
	3.1.4	Cronograma de Implementación.....	31
	3.2.	MANTENIMIENTO PLANIFICADO (KEIKAKU HOZEN - 計画保全).....	31
	3.2.1	Objetivo del Pilar	31
	3.2.2	Implementación.....	32
	3.2.3	Cronograma de Implementación.....	37
	3.3.	MEJORAS FOCALIZADAS (KOBETSU KAIZEN - 個別改善).....	37
	3.3.1	Objetivo del Pilar	37
	3.3.2	Implementación de Proyectos Kaizen	38
	3.3.3	Herramientas Kaizen Aplicadas.....	40
	3.3.4	Cronograma de implementación	40
	3.4.	GESTIÓN TEMPRANA DE EQUIPOS (EARLY EQUIPMENT MANAGEMENT - 早期設備管理).....	41
	3.4.1	Objetivo del Pilar	41
	3.4.2	Metodología de Implementación	41
	3.4.3	Indicadores Clave (KPI).....	42
	3.4.4	Cronograma de Implementación.....	42
SOPLADO	3.5.	CONTROL DE CALIDAD EN PROCESO (HINSHITSU HOZEN - 品質保全) PARA EL PROCESO DE	
		42	
	3.5.1	Objetivo del Pilar	42
	3.5.2	Enfoque Específico	43
	3.5.3	Sistema de Control Integrado.....	43
	3.5.4	Control Estadístico de Procesos (SPC)	43
	3.5.5	Tecnologías Implementadas.....	44
	3.5.6	Cronograma de Implementación.....	45
EN SOPLADO	3.6.	EDUCACIÓN Y CAPACITACIÓN (KYOIKU KUNREN - 教育訓練) PARA LA OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA	
		45	

3.6.1	Objetivo del Pilar	45
3.6.2	Programa de Capacitación por Niveles	46
3.6.3	Métodos Pedagógicos Innovadores	46
3.6.4	Programa de Certificación.....	47
3.6.5	Indicadores de Efectividad	47
3.6.6	Cronograma y Presupuesto	48
3.7.	SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIO AMBIENTE (ANZEN, EISEI, KANKYO - 安全・衛生・環境)	48
3.7.1	Objetivo del Pilar	48
3.7.2	Sistema de Gestión Integral	48
3.7.3	Tecnologías Implementadas.....	49
3.7.4	Indicadores Clave.....	50
3.7.5	Cronograma de Implementación	50
3.8.	TPM EN ÁREAS ADMINISTRATIVAS (SHIGOTO NO KAIZEN - 事務所の改善).....	51
3.8.1	Objetivo del Pilar	51
3.8.2	Proyectos de Mejora	51
3.8.3	Indicadores de Desempeño	52
3.8.4	Plan de Implementación	52
3.9.	DISEÑO DE PLANES DE ACCIÓN PARA GENERAR ESTÁNDARES DE SOPLADO EN CCU	53
3.9.1	. Estándar de Parámetros Operativos	53
3.9.2	Protocolo de Cambio de Moldes.....	55
3.9.3	Control de Fugas y Eficiencia Energética.....	56
3.9.4	Capacitación y Certificación Operativa	56
3.9.5	Sistema de Gestión Visual	57
CONCLUSIONES		59
RECOMENDACIONES		61
REFERENCIAS		63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1. COMPARATIVA DE METODOLOGÍAS 23

TABLA 3.1. CHECKLIST DIARIO PARA LA ESTIRADORA-SOPLADORA CONTIFORM HOTFILL.....29

TABLA 3.2. CHECKLIST DIARIO PARA EL COMPRESOR L 9 B.....29

TABLA 3.3. INDICADORES CLAVE 30

TABLA 3.4. COMPONENTES CRÍTICOS IDENTIFICADOS 32

TABLA 3.5. PMBC PARA LA ESTIRADORA-SOPLADORA CONTIFORM HOTFILL.....32

TABLA 3.6. PMBC PARA EL COMPRESOR L 9 B 33

TABLA 3.7. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ANUAL 34

TABLA 3.8. DETALLE TÉCNICO ESTIRADORA-SOPLADORA CONTIFORM HOTFILL.....36

TABLA 3.9. DETALLE TÉCNICO COMPRESOR L 9 B.....36

TABLA 3.10 INDICADORES DE CUMPLIMIENTO 36

TABLA 3.11 PÉRDIDAS CRÍTICAS IDENTIFICADAS EN CCU 37

TABLA 3.12. AMFE PARA RIESGOS.....40

TABLA 3.13 PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LA CONTIFORM HOTFILL: 41

TABLA 3.14 PROBLEMAS EN EL COMPRESOR L 9 B:.....41

TABLA 3.15 KPIS.....42

TABLA 3.16. ENFOQUE ESPECIFICO 43

TABLA 3.17. MATRIZ DE CORRELACIÓN CALIDAD-ENERGÍA.....44

TABLA 3.18. INDICADORES CLAVE (KPI) 44

TABLA 3.19. MATRIZ DE COMPETENCIAS.....46

TABLA 3.20. NIVELES.....47

TABLA 3.21. KPIS.....47

TABLA 3.22. DATOS CRÍTICOS.....48

TABLA 3.23. PROTOCOLO PARA LA ESTIRADORA-SOPLADORA CONTIFORM HOTFILL 48

TABLA 3.24. PROTOCOLO PARA EL COMPRESOR L 9 B 49

TABLA 3.25. KPIS.....50

TABLA 3.25. PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN CCU 51

TABLA 3.26. INDICADORES PARA TABLERO.....51

TABLA 3.27 ANTES VS. DESPUÉS.....52

TABLA 3.28. KPIS.....52

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la industria manufacturera contemporánea, la eficiencia energética se ha erigido como un pilar indispensable para garantizar la competitividad, sostenibilidad y rentabilidad de los procesos productivos. Este imperativo adquiere especial relevancia en sectores de alto consumo energético, como la producción de envases plásticos mediante técnicas de soplado, donde la optimización de recursos no solo impacta en los costos operativos, sino también en el cumplimiento de normativas ambientales y compromisos corporativos de responsabilidad social. En este contexto, la Compañía de Cervecerías Unidas, líder en la industria de bebidas en Latinoamérica, enfrenta desafíos críticos en sus máquinas sopladoras, caracterizados por un consumo excesivo de aire comprimido, fugas recurrentes y una falta de estandarización en los parámetros operativos.

Esta investigación propone la implementación sistemática de la metodología Total Productive Maintenance (TPM) como estrategia integral para abordar estas problemáticas, integrando principios técnicos, organizacionales y culturales que permitan alcanzar mejoras sustanciales en la eficiencia energética y operativa.

a industria del plástico, y en particular la fabricación de envases mediante soplado, representa un segmento clave en la cadena de suministro de bebidas. Según datos de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (2023), este proceso consume aproximadamente el 40% de la energía total utilizada en una planta de envasado, con los sistemas neumáticos como principales responsables. Estudios recientes, como el publicado por el Departamento de Energía de Estados Unidos (2022), revelan que hasta el 30% del aire comprimido en instalaciones industriales se pierde debido a fugas, diseños ineficientes o mantenimiento inadecuado, lo que se traduce en costos energéticos superfluos y un incremento innecesario de la huella de carbono.

En América Latina, donde el costo de la energía eléctrica ha experimentado un aumento del 18% en el último quinquenio (CEPAL, 2023), la optimización de estos procesos no es solo una ventaja competitiva, sino una necesidad estratégica. Empresas como CCU, con operaciones en seis países y una producción anual superior a los 5000 millones de envases, deben alinear sus prácticas con estándares globales de sostenibilidad, tales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y de Producción y consumo responsables. Sin embargo, la complejidad técnica de las máquinas sopladoras, sumada a la variabilidad en la demanda de productos, exige metodologías robustas y adaptables que trasciendan el mantenimiento correctivo tradicional.

Un diagnóstico realizado en la planta de producción de CCU identificó cinco problemáticas centrales que justifican la intervención propuesta:

1. **Fugas de aire en sellos de varillas de estirado:** Estimadas en un 12-15% del consumo total de aire comprimido, estas pérdidas se asocian a un mantenimiento reactivo y a la falta de inspecciones autónomas por parte de los operadores.
2. **Operación subóptima de presión de soplado:** Las máquinas trabajan a 30 bar, valor dentro del rango industrial (20-40 bar), pero sin ajustes específicos para cada tipo de botella, lo que genera un sobredimensionamiento energético.
3. **Descalibración térmica en módulos de calefacción:** Variaciones de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ en los hornos, que incrementan el consumo eléctrico en un 7% y afectan la calidad dimensional de los envases.
4. **Ausencia de estandarización en procesos:** Falta de protocolos visuales para el cambio de moldes y validación de parámetros, derivando en tiempos muertos y reprocesos.
5. **Mantenimiento no sistematizado del compresor L 9 B:** Intervenciones correctivas con un MTBF (Mean Time Between Failures) de 120 horas, muy por debajo del estándar industrial de 400 horas.

Estas inefficiencias no solo representan un costo anual estimado de USD 185.000 en energía desperdiciada, sino que también limitan la capacidad de CCU para escalar su producción sin incrementar su impacto ambiental. Además, la falta de indicadores claros y sistemas de monitoreo en tiempo real dificulta la toma de decisiones proactivas, perpetuando un ciclo de gastos operativos elevados y productividad subóptima.

La implementación del TPM en CCU representa una oportunidad estratégica para transformar desafíos operativos en ventajas competitivas. Al combinar rigor técnico con un enfoque colaborativo, este proyecto no solo optimizará el consumo energético, sino que también sentará las bases para una cultura organizacional orientada a la excelencia operativa. Los resultados esperados, respaldados por datos cuantitativos y experiencias internacionales, posicionarán a CCU como un referente en la aplicación de metodologías avanzadas de mantenimiento en la industria latinoamericana, alineando sus operaciones con los estándares globales de sostenibilidad y eficiencia.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y optimizar el desempeño energético de los procesos de soplado en la planta de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) mediante la implementación de la metodología TPM, con el fin de reducir el consumo de energía, mejorar la eficiencia operativa y fomentar una cultura de mejora continua en la organización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del estado de las maquinas sopladoras y ver en que presión están trabajando.
- Proponer la metodología TPM para la implementación de los planes de mejora, mediante procedimientos y actividades programadas para tener mayor eficiencia energética en el proceso de soplado.
- Diseñar planes de acción para generar estándares de soplado.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.

1.1.1 Antecedentes de la Compañía de Cervecerías Unidas (CCU)

A solo 32 años de la independencia de Chile, en 1850, inició sus operaciones en Valparaíso la fábrica de cerveza de Joaquín Plagemann, seguida un año después por la fábrica de Carlos Anwandter en Valdivia. Estas iniciativas marcaron el origen de una de las tradiciones de sabor y calidad más emblemáticas del país. Este desarrollo tuvo lugar en un contexto de crecimiento económico y modernización en Chile, bajo el gobierno de Manuel Bulnes, período en el cual se consolidaron diversas instituciones académicas y se impulsaron obras de infraestructura clave, como la construcción de los primeros ferrocarriles.

En 1889, la cervecera de Valparaíso se fusionó con la Fábrica de Cerveza de Limache, dando origen a la Fábrica Nacional de Cerveza. Posteriormente, esta entidad amplió sus horizontes mediante la adquisición de la Fábrica de Cerveza y Hielo de Gubler y Cousiño. En enero de 1902, la Fábrica Nacional de Cerveza se constituyó como sociedad anónima bajo la denominación de Compañía Cervecerías Unidas (CCU), consolidando la experiencia, tecnología y tradición de sus predecesoras.

Durante el siglo XX, CCU expandió su influencia con la adquisición de la antigua fábrica de Anwandter y varias cerveceras regionales. Además, incursionó en otros sectores del mercado de bebestibles mediante la incorporación de plantas de agua mineral como Cachantún y Porvenir, así como la producción de Bilz, su primera bebida gaseosa.

En la década de 1990, la compañía expandió su alcance internacional al ingresar en el negocio cervecero de Argentina y Croacia. Asimismo, con la adquisición de Viña San Pedro S.A., sus productos alcanzaron más de cincuenta países en los cinco continentes, consolidando su presencia en la industria vitivinícola. Con el cambio de siglo, CCU también incursionó en el mercado del pisco, diversificando aún más su portafolio de productos.

En la actualidad, CCU es una sociedad anónima abierta, controlada por Inversiones y Rentas S.A. (IRSA), cuyos principales accionistas son Quiñenco S.A., holding de la familia Luksic, y Heineken Chile Ltda. IRSA posee el 65,87% del capital accionario de CCU, mientras que el resto es transado en los mercados bursátiles de Chile y Nueva York.

CCU es una empresa diversificada en el sector de bebestibles con operaciones en Chile, Argentina, Bolivia, Colombia, Paraguay y Uruguay. En Chile, la compañía se posiciona como el principal actor cervecero, el segundo mayor productor de bebidas gaseosas, el líder en la producción de aguas embotelladas, néctares y pisco, así como uno de los mayores productores y exportadores de vino. En Argentina, ocupa la segunda posición en el mercado cervecero y participa en la industria de sidras, aguas embotelladas, licores y vinos. Asimismo, en Uruguay y Paraguay opera en los mercados de cervezas, aguas embotelladas, gaseosas y néctares, mientras que en Bolivia se involucra en la producción de cerveza, aguas embotelladas, gaseosas y malta. En Colombia, su participación se centra en el mercado de cerveza y maltas.

Entre sus principales contratos de licencia, distribución y joint ventures destacan los acuerdos con Heineken Brouwerijen B.V., PepsiCo Inc., Seven-Up International, Schweppes Holdings Limited, Société des Produits Nestlé S.A., Pernod Ricard Chile S.A. y Coors Brewing Company.

Con más de 150 años de historia, CCU se ha consolidado como una multinacional chilena de bebestibles que ha trascendido su origen cervecero, diversificando su presencia en diversas categorías de productos y expandiendo su influencia en el mercado sudamericano y global. La compañía continúa su trayectoria con una visión de crecimiento y desarrollo sostenible, reafirmando su compromiso con la calidad y la innovación en la industria (Gerencia Asuntos Corporativos CCU S.A., 2023) (CCU S.A., 2018).



Fuente: (CCU S.A., 2018)

Fig. 1-1. Logotipo corporativo

1.1.2 Misión y Visión de CCU

- Misión: Ser una empresa líder en la producción de bebidas, comprometida con la sostenibilidad y la calidad, buscando siempre la mejora continua de sus procesos para satisfacer las necesidades de sus consumidores de manera eficiente y responsable.

- Visión: Convertirse en un referente de la industria a nivel regional, consolidando su liderazgo a través de prácticas sostenibles, la innovación constante y la optimización de recursos en cada uno de sus procesos productivos.

1.1.3 Gobierno corporativo

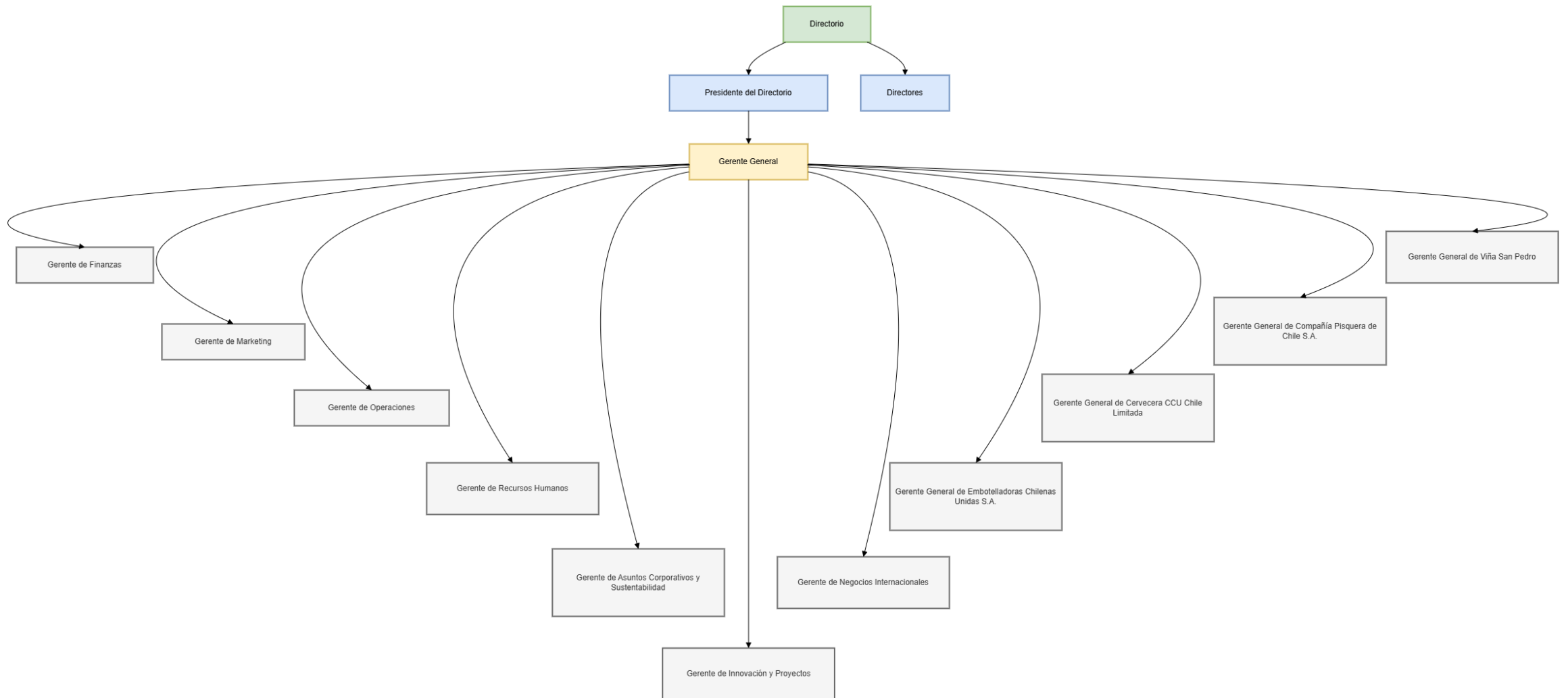
El control de CCU recae en Inversiones y Rentas S.A. (IRSA), cuyos accionistas en partes iguales son Quiñenco S.A., holding de la familia Luksic, y Heineken Chile Ltda. IRSA posee, directa e indirectamente a través de su filial Inversiones IRSA Limitada, el 65,87% del capital accionario de CCU

El gobierno corporativo de CCU se estructura en torno a un directorio compuesto por destacados profesionales que aportan una amplia experiencia en diversas áreas. A continuación, se presenta el directorio actual de la compañía:

- **Presidente del Directorio:** José Francisco Pérez Mackenna
- **Vicepresidente del Directorio:** Carlos Molina Solís
- **Directores:**
 - Vittorio Corbo Lioi
 - Pablo José Granifo Lavín
 - Rodrigo Hinzpeter Kirberg
 - Óscar Eduardo Hasbún Martínez
 - Rory Cullinan
 - Marc Gross
 - María Gabriela Cadenas

La administración de CCU está liderada por el Gerente General, Patricio Jottar Nasrallah (RUT: 7.005.063-3), quien ocupa este cargo desde 1998.

La estructura organizacional de CCU se complementa con un equipo de gerentes y ejecutivos principales que supervisan diversas áreas estratégicas de la compañía. A continuación, se presenta en la figura 1-2 un organigrama simplificado de la empresa:



Fuente: Elaboración propia con base en (CCU S.A., 2018)

Fig. 1-2. Organigrama de la empresa

1.1.4 Línea de Productos y Marcas de CCU

CCU maneja una amplia cartera de productos en distintas categorías de bebestibles, entre las cuales destacan:

- **Cervezas:** Cristal, Escudo, Royal Guard, Kunstmann, Austral, Heineken, Morenita, entre otras.
- **Bebidas Gaseosas:** Bilz, Pap, Kem, Pepsi, 7Up, Crush, Canada Dry.
- **Aguas Embotelladas:** Cachantún, Porvenir, Mas.
- **Néctares y Jugos:** Watt's, Vivo, Sprim
- **Vinos:** Gato, Misiones de Rengo, Viña San Pedro, Tarapacá, Santa Helena, Altair.
- **Pisco:** Mistral, Campanario, Control C.
- **Energéticas y Deportivas:** Red Bull, Gatorade, Rockstar
- **Sidras:** Cygan, Villa Pehuenia
- **Licores y Destilados:** Wyborowa, Ballantine's, Havana Club, Beefeater, Jameson, The Glenlivet.
- **Hard Seltzer:** Hard Fresh



Fuente: Elaboración propia con base en (CCU S.A., 2025)

Fig. 1-3. Algunas marcas de la empresa

1.1.5 Asociaciones y Alianzas Estratégicas

CCU ha establecido diversas asociaciones y alianzas estratégicas con importantes compañías internacionales para fortalecer su posición en el mercado. Estas alianzas incluyen contratos de licencia, distribución y joint ventures con empresas líderes del sector de bebestibles:

- **Heineken Brouwerijen B.V.:** Alianza estratégica para la producción y comercialización de la marca Heineken en Chile y otros mercados sudamericanos.
- **PepsiCo Inc.:** Licencia exclusiva para la producción y distribución de bebidas gaseosas como Pepsi, 7Up y Gatorade en Chile.
- **Seven-Up International y Schweppes Holdings Limited:** Acuerdos para la distribución de sus productos en la región.
- **Société des Produits Nestlé S.A.:** Asociación en la comercialización de productos de aguas embotelladas.
- **Pernod Ricard Chile S.A.:** Alianza para la comercialización de licores y destilados.
- **Coors Brewing Company:** Acuerdo de distribución para introducir sus productos en mercados estratégicos.

Estas alianzas permiten a CCU ampliar su portafolio, fortalecer su presencia en diferentes categorías y consolidar su expansión internacional. En la figura 1-4 se pueden apreciar algunas marcas asociadas.



Fuente: (CCU S.A., 2018)

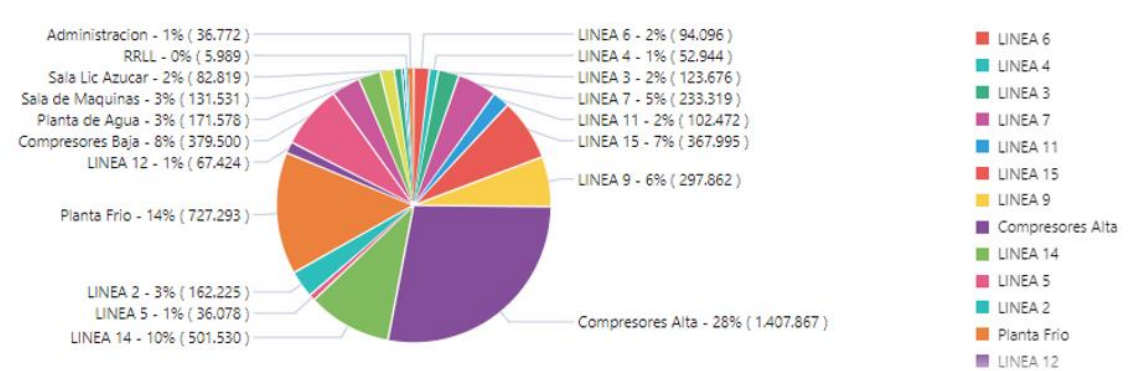
Fig. 1-4. Asociaciones estratégicas

1.2. Situación Actual de Eficiencia Energética

En el marco de la industria de bebidas, la eficiencia energética es un factor clave para garantizar la sostenibilidad y competitividad de las operaciones. En el caso de CCU, empresa líder en la producción y distribución de bebidas en Chile y otras latitudes

sudamericanas, el consumo energético asociado a los procesos de producción representa un desafío importante.

Un análisis reciente realizado en una de sus plantas de producción (ver Fig. 1-5) reveló que el 28% del consumo total de energía se atribuye al área de compresores de alta presión, los cuales suministran aire a las máquinas sopladoras utilizadas en la fabricación de envases plásticos (por ejemplo, botellas PET). Este hallazgo destaca la necesidad de implementar medidas de eficiencia energética para reducir costos operativos y alinear las operaciones con los compromisos de sostenibilidad de la empresa.



Fuente: Elaboracion propia

Fig. 1-5. Consumo energetico en CCP

En la planta analizada de CCU, el proceso de soplado de envases opera actualmente a una presión de 30 bar, un valor que se encuentra dentro del rango de referencia de la industria (20 a 40 bar). Sin embargo, este rango es amplio y permite margen para optimizar la presión de operación según las necesidades específicas de cada tipo de envase. Aunque la presión de 30 bar no es excesiva, podría no ser la más eficiente para todas las aplicaciones, lo que sugiere un potencial de ahorro energético mediante la reducción de la presión de soplado y la optimización del funcionamiento de las máquinas sopladoras.

Además, el consumo energético de los compresores de alta presión está directamente relacionado con la demanda de aire comprimido, que a su vez depende de factores como:

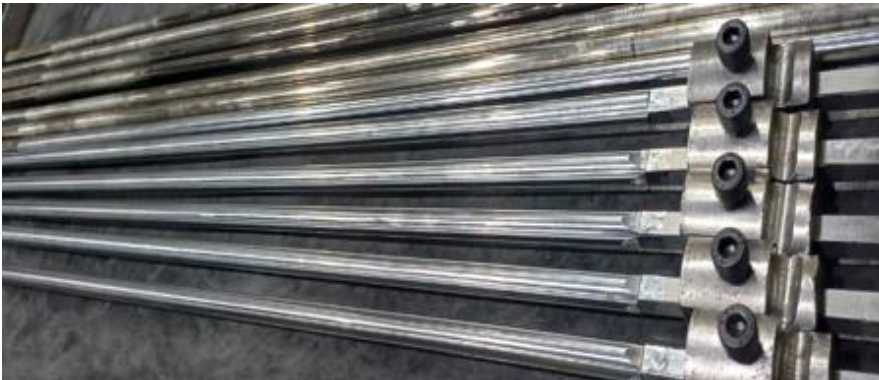
- La eficiencia de las máquinas sopladoras.
- El diseño de los moldes utilizados en la producción de envases.
- La frecuencia de mantenimiento de los equipos.
- La configuración de los parámetros de operación (presión, tiempo de ciclo, temperatura).

1.2.1 Descripción de Problemas Identificados

En el análisis realizado en la planta de producción de CCU, se identificaron varios problemas que afectan la eficiencia energética, la consistencia de las operaciones y la capacidad de implementar mejoras en los procesos de soplado de envases. A continuación, se describen los principales problemas detectados:

1. Fallas Técnicas en las Sopladoras

- **Fugas de aire en los sellos de las varillas de estirado:** Estas fugas generan pérdidas de presión y aumentan el consumo de aire comprimido, lo que impacta negativamente en la eficiencia energética.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 24/07/2024

Fig. 1-6. Varillas de estirado

- **Problemas de funcionamiento en los motores de ventilación de los módulos de calefacción:** Estos motores son críticos para mantener una temperatura uniforme durante el proceso de soplado. Su mal funcionamiento puede provocar inconsistencias en la calidad de los envases y aumentar el consumo de energía.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 24/07/2024

Fig. 1-7. Módulos de calefaccion

Impacto: Estas fallas comprometen la eficiencia energética, aumentan los costos operativos y afectan la calidad de los envases producidos.

2. Falta de Moldes Originales

- **Ausencia de moldes originales para algunos formatos de botellas:** La falta de moldes específicos limita la capacidad de la planta para implementar cambios en las recetas de producción de manera efectiva en todas las líneas.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 23/07/2024

Fig. 1-8. Moldes

Impacto: Esto genera restricciones en la flexibilidad de producción y puede llevar a la utilización de moldes no optimizados, lo que afecta la calidad y la eficiencia del proceso.

3. Configuraciones de Presión Elevadas

- **Configuración actual de 30 bar:** Aunque este valor está dentro del rango de referencia de la industria (20-40 bar), es superior a los estándares óptimos identificados para algunas aplicaciones específicas. Esto genera un consumo energético elevado en los compresores de alta presión.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 04/06/2024

Fig. 1-9 Presion del sistema

Impacto: La presión elevada incrementa el consumo de energía y los costos operativos, sin necesariamente aportar beneficios significativos en la calidad del producto.

4. Falta de Estándar de Proceso de Soplado

- **Ausencia de gestión visual para validar la presión de soplado:** No existe un sistema visual que permita verificar la presión de soplado adecuada para cada formato de botella en las 5 máquinas sopladoras de la planta.
- **Desconocimiento por parte del personal operativo:** Los operadores no cuentan con la información necesaria para ajustar y validar la presión de soplado según el formato de botella que se está produciendo.

Impacto: Esto genera inconsistencias en el proceso, afectando la calidad de los envases y aumentando el riesgo de desperdicio de materiales y energía.

5. Falta de Estándar de Cambio de Filtros de Horno

- **Ausencia de un plan de recambio de filtros:** No existe un programa establecido para el reemplazo periódico de los filtros de los hornos de las sopladoras.
- **Falta de un plan de inspección:** No se realiza una revisión sistemática de los filtros en todas las sopladoras de la planta.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada 24/07/2024.

Fig. 1-10 Filtros

Impacto: Los filtros obstruidos o en mal estado reducen la eficiencia térmica de los hornos, aumentan el consumo de energía y pueden afectar la calidad del proceso de soplado.

1.2.2 Oportunidades de Mejora en CCU

1. Reducción de la Presión de Soplado:

- Evaluar la posibilidad de reducir la presión de soplado a niveles inferiores dentro del rango de referencia para envases que no requieran una presión elevada.
- Implementar sistemas de control automatizado que ajusten la presión de soplado según las especificaciones de cada tipo de envase.

2. Optimización del Funcionamiento de las Sopladoras:

- Realizar mantenimiento preventivo en los compresores y las máquinas sopladoras para garantizar su eficiencia operativa.
- Revisar y ajustar los parámetros de operación, como el tiempo de ciclo y la temperatura, para minimizar el consumo de aire comprimido.

3. Creación de Nuevas Recetas de Producción:

- Desarrollar recetas de producción que optimicen el uso de aire comprimido, considerando las características específicas de cada tipo de envase.
- Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar el impacto de las nuevas recetas en el consumo energético.

4. Implementación de Tecnologías Eficientes:

- Incorporar compresores de alta eficiencia energética y sistemas de recuperación de calor.
- Utilizar válvulas de control de flujo y reguladores de presión para reducir el desperdicio de aire comprimido.

5. Capacitación y Concientización:

- Capacitar al personal operativo en prácticas de eficiencia energética y uso responsable de los recursos.
- Fomentar una cultura de sostenibilidad dentro de la empresa, alineada con los objetivos corporativos de CCU (CCU S.A., 2023).

1.3. Descripción de procesos involucrados

1.3.1 Termoformado

El termoformado es un proceso de manufactura que consiste en calentar una lámina de plástico hasta su temperatura de transición vítrea (T_g) o de ablandamiento, para luego darle forma mediante la aplicación de presión (vacío o presión positiva) sobre un molde. Este método es ampliamente utilizado en la industria para la producción de envases, piezas automotrices, componentes médicos y otros productos de plástico. El proceso se caracteriza por su versatilidad, eficiencia y capacidad para producir piezas con geometrías complejas.

se basa en principios termodinámicos y de comportamiento de materiales poliméricos. Cuando un material plástico se calienta, sus cadenas moleculares adquieren mayor movilidad, lo que permite su deformación bajo presión. Una vez enfriado, el material retiene la forma del molde debido a la pérdida de energía cinética y la reestructuración de las cadenas poliméricas.

1.3.1.1. Etapas del Proceso de Termoformado

1. **Calentamiento de la lámina:** La lámina de plástico se calienta uniformemente hasta alcanzar su temperatura de ablandamiento. Este paso es crucial, ya que un calentamiento insuficiente puede resultar en deformaciones incompletas, mientras que un sobrecalentamiento puede degradar el material.
2. **Conformado:** La lámina caliente se coloca sobre un molde y se aplica vacío o presión positiva para que adopte la forma del molde. El vacío es el método más común, ya que permite un contacto uniforme entre la lámina y el molde.
3. **Enfriamiento:** Una vez conformada, la pieza se enfría rápidamente para solidificar su estructura. Este enfriamiento puede ser natural o asistido por sistemas de refrigeración.
4. **Recorte y acabado:** Finalmente, la pieza se recorta para eliminar el exceso de material y se somete a procesos de acabado, como pulido o decoración.

1.4. Descripción de proceso de soplado

El proceso de soplado de botellas en CCU es una etapa crítica dentro de la producción de envases PET, ya que define la forma, calidad y propiedades mecánicas de las botellas utilizadas para envasar bebidas. A continuación, se describe detalladamente cada etapa del proceso de soplado, tal como se lleva a cabo en la planta de CCU:

1. Calentamiento de la Preforma

- **Descripción:** La preforma de PET (politereftalato de etileno) se introduce en un horno donde se calienta a una temperatura adecuada, generalmente entre **90°C y 120°C**. Este calentamiento ablanda el material sin derretirlo, preparándolo para el proceso de estirado y soplado.
- **Variables clave:**
 - **Temperatura:** Depende de las condiciones de la preforma (espesor, material) y de la presión de soplado requerida.
 - **Uniformidad:** Es crucial que el calentamiento sea uniforme para evitar deformaciones o defectos en la botella final.
- **Equipos involucrados:** Horno de calentamiento con módulos de calefacción y sistemas de ventilación.

2. Transferencia a la Estación de Soplado

- **Descripción:** Una vez calentada, la preforma se transfiere automáticamente a la estación de soplado. Aquí, se coloca dentro de un molde que tiene la forma de la botella final.
- **Variables clave:**
 - **Precisión en la transferencia:** La preforma debe colocarse correctamente en el molde para evitar defectos en la botella.
 - **Tiempo de transferencia:** Debe ser rápido para evitar que la preforma se enfríe antes del soplado.
- **Equipos involucrados:** Sistema de transferencia automatizado (brazos robóticos o transportadores).

3. Estirado y Soplado

- **Descripción:** Esta etapa se subdivide en dos pasos simultáneos:
 1. **Estirado:** Un mandril de estirado (varilla) se inserta en la preforma y la estira longitudinalmente para alargarla.
 2. **Soplado:** Simultáneamente, se introduce aire a alta presión (**actualmente 30 bar en la planta**) en la preforma estirada, lo que fuerza al material a expandirse y tomar la forma del molde.
- **Variables clave:**
 1. **Presión de soplado:** Actualmente configurada en 30 bar, aunque podría optimizarse según el tipo de botella.
 2. **Velocidad de estirado:** Debe ser controlada para evitar rupturas o deformaciones.
- **Equipos involucrados:** Máquina sopladora, mandril de estirado y sistema de inyección de aire comprimido.

4. Enfriamiento

- **Descripción:** Una vez que la botella ha tomado la forma del molde, se enfría rápidamente mediante un sistema de refrigeración por agua integrado en el molde. Este enfriamiento rápido es crucial para solidificar la botella y asegurar que mantenga su forma y propiedades mecánicas.
- **Variables clave:**

- **Tiempo de enfriamiento:** Debe ser suficiente para garantizar la solidificación completa.
- **Temperatura del agua de refrigeración:** Debe controlarse para evitar defectos como deformaciones o tensiones internas.
- **Equipos involucrados:** Moldes con sistema de refrigeración integrado.

5. Expulsión de la Botella

- **Descripción:** Una vez que la botella se ha enfriado y solidificado, se libera del molde y se expulsa de la máquina sopladora. La botella terminada está lista para continuar con el proceso de envasado.
- **Variables clave:**
 - **Precisión en la expulsión:** Debe garantizar que la botella no sufra daños durante la liberación del molde.
 - **Velocidad del proceso:** Debe ser consistente con el ritmo de producción.
- **Equipos involucrados:** Mecanismo de expulsión automatizado.

1.5. Proceso de recolección de datos de energía eléctrica:

Producción: la medición del volumen de producción abarca 13 líneas dedicadas a la elaboración y envasado de diversos productos, como bebidas analcohólicas carbonatadas y no carbonatadas, jugos, néctares, aguas, bebidas funcionales y a base de té. Los envases utilizados incluyen PET, vidrio y latas, tanto desechables como retornables.

La medición del consumo total de energía eléctrica se realiza a partir de las subestaciones Quilicura y Altamirano pertenecientes a la empresa Enel Distribución, en una tensión media de 12 kV cada una, para conectarse a los 8 transformadores internos de la planta y operar 380/220 V.

Planta Modelo cuenta con dos empalmes eléctricos, el Empalme 1 proviene de la Subestación Quilicura ubicada en la Autopista Panamericana Norte y el Empalme 2 proviene de la Subestación Altamirano ubicada en la calle Domingo Santa María Altura.

El primer empalme abastece principalmente a las líneas del 1 al 9, compresores de baja y servicios generales, mientras que el segundo abastece principalmente a las líneas 10, 11, 12, 14, 15, compresores de alta y baja, sistema de frío y planta de agua.

Consumo Electrico Empalmes CCU			
MESES	Consumo Panamericana KW	Consumo Santa Maria KW	Consumo Transporte KW
enero	5.803,791	2.091,584	0
septiembre	47.466,615	98.665,167	0
septiembre	47.475,080	87.587,508	0
septiembre	42.796,278	77.859,470	0
septiembre	22.688,666	45.954,447	0
septiembre	5.432,134	2.761,187	0
septiembre	5.655,255	2.603,664	0
septiembre	5.480,639	2.517,941	0
septiembre	7.351,984	5.330,453	0
septiembre	31.691,776	67.064,512	0
septiembre	38.513,544	87.984,682	0
septiembre	21.220,682	34.230,750	0
septiembre	7.080,790	4.836,064	0
septiembre	38.940,551	64.563,100	0
septiembre	49.265,323	92.108,616	0
septiembre	59.000,000	109.000,000	0
septiembre	49.000,000	95.000,000	0
septiembre	43.000,000	88.000,000	0
septiembre	25.000,000	29.000,000	0

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a consumo

Fig. 1-11 Detalle del consumo

Gestión de datos eléctricos: Para el registro del consumo de energía total de la planta, un trabajador asignado por el área de Suministros debe recopilar la información de los medidores generales ID – 1A e ID – 2B asignados a cada empalme e ingresar en el documento “ECCUSA INGRESO DE DATOS MEDIDORES” (Pestaña “Consumo Empalmes”), de forma diaria a las 7 AM. De la misma forma, para los consumos por línea o sistema, un trabajador asignado por el área de Suministros debe recopilar la información de los medidores especificados en el documento “Plan de verificación de medidores CCU Planta Modelo” e ingresar en el documento “ECCUSA INGRESO DE DATOS MEDIDORES” (Pestaña “CNS – GNRL – ECCUSA”).

A	B	C	E	F	G	I	J	K	O	P	Q	R
CONSUMO GENERAL ECCUSA												
ÁREA	UBICACIÓN	DEPARTAMENTO	DÍAS	SEMANA	MES	DETALLE	KWH-REAL	HL	PPTO	EMPALME	TRAFO	ID
mpalme	Panamericana	General Planta	lunes	1	enero		7707	0	4,38			ID 1-A
mpalme	Dgo. Santa Maria	General Planta	lunes	1	enero		5147					ID 2-B
inea 1	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 1	0	0	1,04	1	2	ID 200-A
inea 2	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 2	0	0	0,63	1	2	ID 200-H
inea 2	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Lavadora Línea 2	0			1	2	ID 200-B
inea 3	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 3	0	0	6,89	1	2	ID 200-C
inea 3	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	APV	0			2	6	ID 600-A
inea 4	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 4	0	0	2,42	1	2	ID 200-D
inea 4	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Cto 2 Línea 4	0			2	6	ID 600-M
inea 5	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 5	0	0	0,63	1	2	ID 200-E
inea 5	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Reempaque Línea 5	0			1	3	ID 300-A
inea 6	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 6	0	0	2,93	1	2	ID 200-F
inea 6	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Alumbrado Línea 6 y 7	0			1	3	ID 300-B
inea 7	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 7	0	0	3,86	1	2	ID 200-G
inea 7	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Alumbrado Línea 6 y 7	0			1	3	ID 300-B.2
inea 8	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 8	0	0	3,63	1	4	ID 400-D
inea 8	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	TDF y CI Nº8	0			1	4	ID 400-E
inea 8	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Tab sala preparación L8	0			1	4	ID 400-F
inea 8	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	TDA Línea 8	0			1	2	ID 400-A
inea 9	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Gral Línea 9	0	0	1,96	1	4	ID 400-G
inea 9	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	Sala Soplado L9	0			2	6	ID 600-B
inea 9	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	TDA y Servicio L9	0			1	4	ID 400-H
inea 9	Sub Estacion 2	Envasado	lunes	1	enero	T.C. Aux. C. Envasado L9	0			1	4	ID 400-B
CNS-GNRL-ECCUSA							consumo-sala-de-maquina1	consumo-elec-sub2	CC ...			

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a consumo

Fig.1-12 Consumo eléctrico general de la empresa

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA.

2.1. Metodología

La metodología es un sistema estructurado y organizado de principios, técnicas, procedimientos y herramientas que guían el proceso de investigación, desarrollo o implementación de un proyecto, con el fin de alcanzar objetivos específicos de manera eficiente, reproducible y validable. Se basa en un marco teórico y práctico que permite estandarizar procesos, minimizar errores y garantizar la validez de los resultados.

En contextos académicos, científicos e industriales, la metodología proporciona un camino sistemático para abordar problemas complejos, ya sea en investigación básica, desarrollo tecnológico, gestión de proyectos o mejora continua. Su elección depende de factores como el ámbito de aplicación (ingeniería, ciencias sociales, salud, etc.), los recursos disponibles, las restricciones temporales y los estándares de calidad exigidos

2.1.1 Principales Características de una Metodología

1. **Sistematicidad:** Sigue un orden lógico y secuencial.
2. **Reproducibilidad:** Permite que otros repliquen el proceso bajo las mismas condiciones.
3. **Flexibilidad:** Puede adaptarse a diferentes contextos sin perder rigor.
4. **Validación científica o técnica:** Se sustenta en teorías y prácticas aceptadas en la disciplina.
5. **Enfoque orientado a resultados:** Busca soluciones prácticas y medibles.

2.1.2 Tipos de Metodologías (Según Ámbito)

1. Investigación científica

Es un conjunto de enfoques sistemáticos utilizados para generar conocimiento válido y confiable mediante la observación, experimentación y análisis. Estas metodologías se clasifican según su naturaleza y objetivos:

- **Experimental:** Manipulación controlada de variables para establecer relaciones causa-efecto (ej.: ensayos clínicos).
- **Cualitativa:** Explora fenómenos sociales o humanos mediante datos no numéricos (entrevistas, estudios etnográficos).
- **Cuantitativa:** Mide y analiza datos numéricos para generalizar resultados (encuestas estadísticas).
- **Mixta:** Combina métodos cualitativos y cuantitativos para una comprensión integral.
- **Ámbito de aplicación:** Ciencias sociales, salud, ingeniería básica.

2. Gestión de proyectos

Son metodologías que estructuran la planificación, ejecución y control de proyectos para alcanzar metas específicas dentro de restricciones de tiempo, costo y calidad. Incluye:

- **Metodologías Ágiles (Scrum, Kanban):** Iteraciones rápidas, adaptabilidad y colaboración multidisciplinaria (ej.: desarrollo de software).
- **PMBOK:** Estándar global que define buenas prácticas en gestión de proyectos.
- **Six Sigma:** Reduce variabilidad y defectos en proyectos mediante herramientas estadísticas (DMAIC, DMADV).
- **Ámbito de aplicación:** TI, construcción, manufactura, servicios.

3. Ingeniería y producción

Estas metodologías son para optimizar procesos productivos, mejorar calidad y eliminar ineficiencias en entornos industriales. Destacan:

- **Lean Manufacturing:** Elimina desperdicios (*muda*) para maximizar valor.
- **TPM (Total Productive Maintenance):** Mantenimiento preventivo y autónomo para garantizar disponibilidad de equipos.
- **DMAIC:** Ciclo estructurado (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar) para mejora continua.
- **Design Thinking:** Soluciones innovadoras centradas en necesidades del usuario (ej.: diseño de productos).
- **Ámbito de aplicación:** Automotriz, aeronáutica, logística, energía.

La elección de una metodología no es un ejercicio arbitrario, sino una decisión estratégica que debe alinearse con los objetivos específicos del proyecto o proceso en el que se trabaje. (Creswell & Creswell, 2018) (Womack & Jones, 2003) (Easterby-Smith, Thorpe, & Jackson, 2018) (Hernández-Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014) (Project Management Institute (PMI), 2021).

2.2. Metodología TPM

La metodología TPM (Total Productive Maintenance), o Mantenimiento Productivo Total, es un enfoque de gestión que busca maximizar la eficiencia de los equipos y procesos, involucrando activamente a todo el personal de una organización, desde operadores hasta gerentes. Su objetivo principal es eliminar las pérdidas asociadas a fallas, tiempos muertos, defectos y accidentes, promoviendo una cultura de mejora continua en el entorno laboral, es decir busca maximizar la eficiencia de los equipos mediante la participación de todos los empleados en actividades de mantenimiento

Esta metodología se originó en Japón en los años 60, desarrollada por Nippon Denso (parte de Toyota) y popularizada por el JIPM (Japan Institute of Plant Maintenance) y para su correcta aplicación se debe analizar información sobre calidad, accidentes y / o paradas de producción (Lean Manufacturing, 2025).

2.2.1 Pilares del TPM

TPM se fundamenta en 8 pilares que abarcan todas las áreas involucradas en la gestión y mejora de los equipos de producción. A continuación, se describen en detalle:

1. Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen - 自主保全)

Este pilar promueve que los operadores sean responsables del mantenimiento básico de los equipos. Se les capacita para realizar inspecciones, limpieza, lubricación y pequeñas reparaciones, reduciendo así la dependencia del departamento de mantenimiento.

Objetivos:

- Reducir averías por descuido o falta de limpieza.
- Fomentar el sentido de pertenencia y responsabilidad en los operadores.
- Detectar problemas antes de que se conviertan en fallos graves.

Principales acciones:

- Limpieza y lubricación periódica.
- Inspección visual de los equipos.
- Identificación y corrección de anomalías menores.

2. Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen - 計画保全)

Se centra en la planificación y ejecución de mantenimiento preventivo y predictivo, basado en datos históricos y análisis de fallas. Su objetivo es eliminar las paradas imprevistas y aumentar la vida útil de los equipos.

Objetivos:

- Reducir fallos imprevistos en maquinaria.
- Optimizar la programación de mantenimientos.
- Aumentar la confiabilidad de los equipos.

Principales acciones:

- Uso de mantenimiento predictivo (análisis de vibraciones, termografía, ultrasonido).
- Programación estratégica de paradas de mantenimiento.
- Evaluación continua del estado de los equipos.

3. Mejora Focalizada (Kobetsu Kaizen - 個別改善)

Basado en la metodología Kaizen (mejora continua), este pilar busca eliminar las 6 grandes pérdidas de producción, tales como tiempos de inactividad, defectos y cambios de herramientas.

Objetivos:

- Eliminar pérdidas de eficiencia en la producción.
- Reducir costos de operación.
- Implementar mejoras con bajo costo y alto impacto.

Acciones clave:

- Análisis y eliminación de cuellos de botella.
- Implementación de mejoras en procesos.
- Uso de herramientas de Lean Manufacturing.

4. Gestión Temprana de Equipos (Early Equipment Management - 早期設備管理)

Consiste en aplicar la experiencia del mantenimiento y producción en el diseño y adquisición de nuevos equipos para mejorar su operatividad, facilidad de mantenimiento y rendimiento desde el inicio.

Objetivos:

- Reducir fallos y defectos en nuevos equipos.
- Diseñar máquinas más eficientes y fáciles de mantener.
- Disminuir costos de mantenimiento a largo plazo.

Principales acciones:

- Evaluar diseños de equipos antes de su adquisición.
- Involucrar a operarios y técnicos en el diseño de nuevas máquinas.
- Aplicar estándares TPM en la compra de equipos.

5. Control de Calidad en Proceso (Hinshitsu Hozen - 品質保全)

Este pilar se enfoca en evitar defectos de fabricación a través del control riguroso de los procesos y equipos. Su meta es garantizar la calidad desde el origen y evitar reprocesos.

Objetivos:

- Reducir defectos de fabricación.
- Eliminar la variabilidad en los procesos.
- Prevenir desperdicios de materiales.

Principales acciones:

- Implementación de Poka-Yoke (sistemas a prueba de errores).
- Uso de análisis de causa raíz (Ishikawa, 5 porqués).
- Control estadístico de procesos (SPC).

6. Educación y Capacitación (Kyoiku Kunren - 教育訓練)

Para que el TPM tenga éxito, es fundamental que todo el personal reciba formación continua en mantenimiento, operación y gestión de procesos.

Objetivos:

- Mejorar las habilidades del personal.
- Fomentar la cultura de mejora continua.
- Reducir errores por falta de conocimiento.

Principales acciones:

- Programas de capacitación para operarios y técnicos.
- Formación en resolución de problemas y análisis de fallas.
- Desarrollo de competencias en mantenimiento autónomo.

7. Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (Anzen, Eisei, Kankyo - 安全・衛生・環境)

Este pilar busca garantizar un entorno de trabajo seguro y libre de riesgos, minimizando accidentes y protegiendo la salud de los trabajadores.

Objetivos:

- Eliminar accidentes laborales.
- Reducir el impacto ambiental de los procesos.
- Promover una cultura de seguridad en la empresa.

Principales acciones:

- Implementación de 5S para mejorar el orden y limpieza.
- Uso de equipos de protección personal (EPP).
- Evaluación de riesgos y prevención de accidentes.

8. TPM en Áreas Administrativas (TPM en Oficinas) (Shigoto no Kaizen - 事務所の改善)

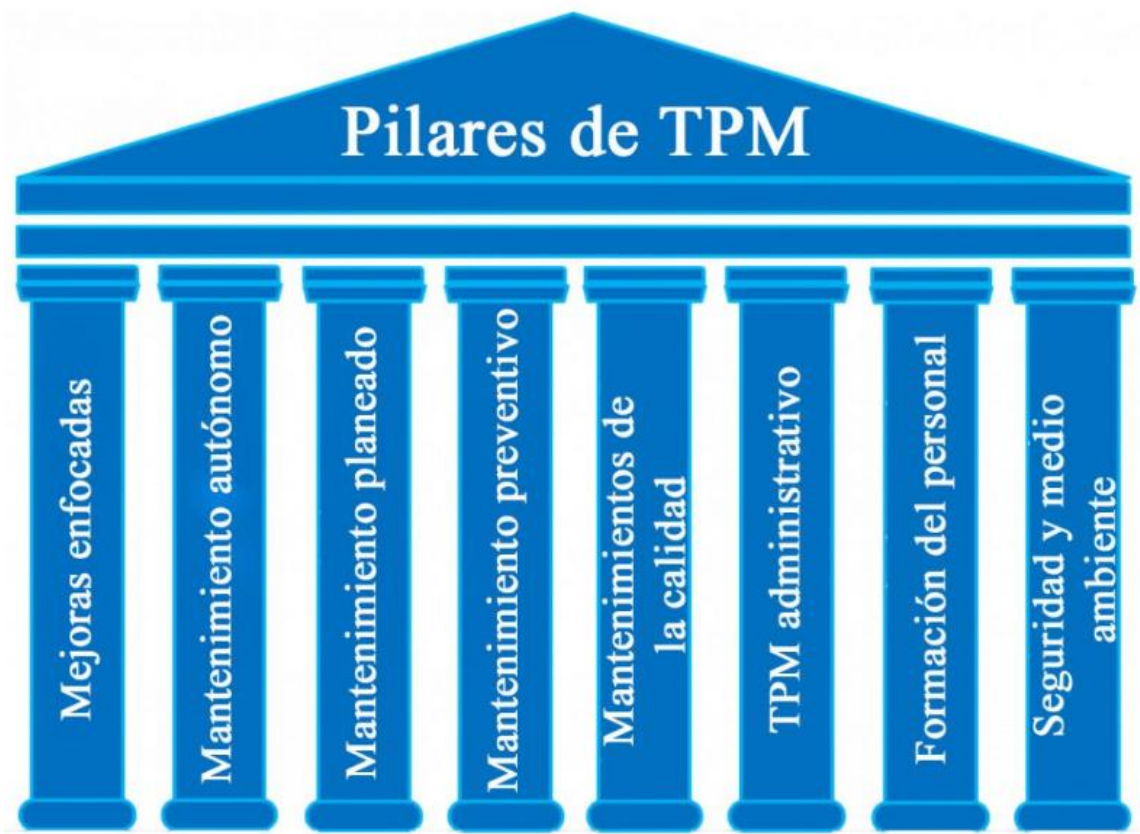
TPM no solo se aplica en la producción, sino también en las áreas administrativas, donde se optimizan procesos y se reducen desperdicios.

Objetivos:

- Mejorar la eficiencia en tareas administrativas.
- Reducir tiempos muertos y errores en la gestión.
- Apoyar la producción con procesos más eficientes.

Principales acciones:

- Digitalización y automatización de procesos administrativos.
- Eliminación de tareas repetitivas y burocráticas.
- Optimización del flujo de información.



Fuente: (Lean Manufacturing, 2025)

Fig. 2-1. Pilares de TPM

2.2.2 implementación del TPM

La implementación de esta metodología es un proceso estructurado que se desarrolla en diversas fases. Su éxito depende del compromiso de toda la organización, desde la alta dirección hasta los operarios de planta. A continuación, se describen las fases fundamentales para su correcta aplicación.

1. Preparación y Sensibilización

Antes de iniciar la implementación del TPM, es fundamental generar conciencia y compromiso en toda la empresa, garantizando que el cambio sea aceptado y comprendido en todos los niveles jerárquicos.

- **Compromiso de la Dirección**

- Definir los objetivos estratégicos del TPM y alinearlos con la visión de la empresa.
- Asignar los recursos necesarios y establecer un equipo responsable de la implementación.
- Designar un líder de TPM y conformar comités de trabajo para cada uno de los pilares.

- **Campañas de Comunicación y Sensibilización**

- Explicar a todos los trabajadores en qué consiste el TPM, sus beneficios y su impacto en el trabajo diario.
- Utilizar herramientas de comunicación como carteles, reuniones informativas, boletines internos y sesiones de capacitación.
- Organizar talleres de sensibilización para fomentar la participación y compromiso del personal.

- **Definición del Plan de Implementación**

- Establecer un cronograma con hitos clave.
- Identificar las áreas piloto donde se iniciará la implementación.
- Crear canales de retroalimentación para atender inquietudes y resolver dudas.

2. Evaluación Inicial

En esta fase, se realiza un diagnóstico del estado actual de la planta para identificar problemas y establecer una línea base de medición.

- **Auditoría de Pérdidas y Productividad**

- Realizar un análisis del OEE (Overall Equipment Effectiveness - Eficiencia Global del Equipo) para identificar pérdidas en tiempo, velocidad y calidad.
- Identificar las seis grandes pérdidas en la producción (averías, ajustes, tiempos muertos, fallos de calidad, entre otros).
- Evaluar el estado del mantenimiento actual (correctivo, preventivo o inexistente).

- **Evaluación de Indicadores importantes**

- **MTBF:** Tiempo medio entre fallos.
- **MTTR:** Tiempo medio de reparación.
- Disponibilidad, rendimiento y calidad de los equipos.
- **Identificación de Equipos Críticos**
 - Priorizar las máquinas y procesos con mayor impacto en la producción.
 - Analizar el historial de fallos y los costos asociados.

3. Implementación por Pilares

Una vez realizada la evaluación, se inicia la aplicación progresiva de los ocho pilares del TPM, organizando equipos de trabajo y estableciendo objetivos específicos.

- **Creación de Comités de Trabajo**
 - Asignación de un equipo responsable por cada pilar.
 - Capacitación en herramientas de mejora continua y mantenimiento.
- **Ejecución de Proyectos Piloto**
 - Selección de áreas clave para la implementación inicial.
 - Aplicación de técnicas de mejora como 5S, análisis de causa raíz y mantenimiento autónomo.
 - Establecimiento de indicadores para medir el impacto inicial.
- **Capacitación del Personal**
 - Entrenamiento práctico en mantenimiento y operación eficiente de los equipos.
 - Programas de formación en resolución de problemas.

4. Monitoreo y Mejora Continua

Una vez implementado el TPM, es fundamental mantener y mejorar los resultados mediante un seguimiento constante.

- **Medición de Indicadores importantes**
 - **OEE (Eficiencia Global del Equipo):** Evaluación de mejoras en productividad.
 - **MTBF y MTTR:** Medición de reducción de fallos y tiempos de reparación.
 - Reducción de costos de mantenimiento y mejora en la calidad.
- **Aplicación del Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act)**
 - **Plan (Planificar):** Identificación de problemas y establecimiento de mejoras.

- **Do (Hacer):** Implementación de acciones correctivas.
- **Check (Verificar):** Medición de resultados y comparación con los objetivos.
- **Act (Actuar):** Estandarización de mejoras y replicación en otras áreas.

2.2.3 Beneficios de Implementar TPM

- **Minimización de fallos:** Al mantener los equipos en óptimas condiciones, se reduce la producción de unidades defectuosas.
- **Implicación del personal:** Los operarios, como expertos en su trabajo, aportan información valiosa sobre los problemas del sistema.
- **Operario autónomo:** Se capacita al personal para realizar mantenimiento autónomo en su área de trabajo, priorizando inspecciones, limpieza y orden.
- **Mejora en la comunicación:** Se fomenta una comunicación efectiva entre operarios, mandos intermedios y directivos.
- **Incremento en la calidad:** La reducción de fallos de producción disminuye la cantidad de productos defectuosos, añadiendo valor al cliente final.
- **Aumento de la productividad:** La optimización de fallos libera tiempo operativo, permitiendo aumentar la producción de manera eficiente.
- **Reducción de costos:** Se minimizan gastos operativos, averías, productos defectuosos y compras urgentes.
- **Producción continua:** Se mejora la planificación y cumplimiento de objetivos al reducir la incertidumbre.

2.2.4 TPM Vs otras metodologías

En la tabla 2-1 se presenta una comparativa de metodologías de mantenimiento con base en algunos aspectos importantes.

Tabla 2-1. Comparativa de metodologías

Aspecto	TPM (Total Productive Maintenance)	Mantenimiento Correctivo	Lean Manufacturing
Enfoque Principal	Prevención + Participación activa de todos	Reparar fallos cuando ocurren	Eliminar desperdicios (Muda)
Responsabilidad	Todos los empleados (operarios,	Solo el departamento de mantenimiento	Equipos multifuncionales (Kaizen)

Objetivo Clave	mantenimiento, gerencia)		
	Cero paradas, cero defectos, cero accidentes	Minimizar tiempo de reparación	Maximizar flujo de valor
Tipo de Mantenimiento	Preventivo, predictivo y autónomo	Reactivo (correctivo)	Enfocado en procesos (no siempre en equipos)
Herramientas Principales	- OEE (Overall Equipment Effectiveness) - SMED (Cambio Rápido de Herramienta) - 5S (Orden y limpieza) - AMFE (Análisis de Modos de Fallo)	- Diagnóstico de fallos - Historial de reparaciones	- Kanban (Gestión visual) - VSM (Value Stream Mapping) - JIT (Just-in-Time) - Poka-Yoke (A prueba de errores)
Costo de Implementación	Alto (inversión en formación y cultura)	Bajo (solo reparaciones)	Medio (rediseño de procesos)
Impacto en la Cultura	Fomenta trabajo en equipo y mejora continua	Cultura reactiva	Enfoque en eficiencia y reducción de desperdicios
Indicadores Clave	- OEE (Disponibilidad × Rendimiento × Calidad) - MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos) - MTTR (Tiempo Medio de Reparación)	- Tiempo de reparación promedio - Costo de reparaciones	- Lead Time - Takt Time - Nivel de Inventario
Ámbito de Aplicación	Equipos y máquinas de producción	Equipos críticos o no críticos	Procesos productivos y logísticos
Ventaja Principal	Maximiza vida útil de equipos y reduce costos a largo plazo	Soluciona problemas inmediatos	Optimiza flujo y reduce inventarios

Fuente: elaboración propia, con base en (Lean Manufacturing, 2025)

2.2.5 Casos de éxito en la implementación de TPM

ha demostrado ser efectiva en diversas industrias para optimizar procesos, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia de los equipos. A continuación, se presentan algunos casos destacados de éxito:

1. **Toyota Motor Corporation**

Toyota es uno de los pioneros en la implementación de TPM como parte de su filosofía de producción Lean. La compañía utilizó TPM para:

- Reducir tiempos muertos en sus líneas de producción.
- Mejorar la vida útil de sus equipos mediante mantenimiento autónomo y planificado.
- Alcanzar niveles excepcionales de calidad y eficiencia operativa.

Resultados:

- Incremento significativo en la productividad.
- Reducción del tiempo entre fallas (MTBF).
- Mejora continua en los procesos, contribuyendo al liderazgo global de Toyota en la industria automotriz.

2. Unilever

Unilever implementó TPM en varias de sus plantas para optimizar procesos productivos y reducir costos operativos. En su planta de India, TPM permitió:

- Identificar y eliminar pérdidas relacionadas con tiempos muertos y defectos.
- Involucrar a los operadores en tareas de mantenimiento autónomo.

Resultados:

- Reducción del 15% en los costos operativos.
- Incremento del 10% en la eficiencia global del equipo (OEE).
- Mejora en la calidad del producto final.

3. Nestlé

Nestlé adoptó TPM para mejorar la eficiencia energética y reducir desperdicios en sus plantas de producción, especialmente en el área de empaques. La metodología ayudó a:

- Implementar rutinas de mantenimiento autónomo para prevenir fallas.
- Optimizar el consumo energético mediante ajustes específicos en los parámetros operativos.

Resultados:

- Disminución del consumo energético en un 20%.
- Reducción significativa en el tiempo perdido por fallas técnicas.
- Fomento de una cultura organizacional orientada a la mejora continua.

4. Coca-Cola FEMSA

Coca-Cola FEMSA aplicó TPM para optimizar su proceso de embotellado, enfocándose en el mantenimiento preventivo y la capacitación del personal operativo. Esto permitió:

- Reducir el consumo energético asociado a las máquinas embotelladoras.
- Mejorar la calidad y consistencia del producto final.

Resultados:

- Incremento del 12% en la eficiencia global del equipo (OEE).
- Reducción del tiempo muerto por fallas técnicas.
- Mayor sostenibilidad operativa y alineación con objetivos ambientales.

5. Volvo Group

Volvo implementó TPM para mejorar la eficiencia operativa en sus plantas de fabricación de vehículos pesados. La metodología ayudó a:

- Identificar áreas críticas donde se generaban pérdidas significativas.
- Establecer programas sistemáticos de mantenimiento planificado.

Resultados:

- Reducción del 25% en los costos asociados a fallas técnicas.
- Mejora significativa en los tiempos de entrega gracias a una producción más eficiente.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE METODOLOGÍA TPM.

En el ámbito industrial contemporáneo, la eficiencia energética se ha consolidado como un pilar fundamental para garantizar la competitividad, sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones. En procesos intensivos en energía, como el soplado de envases plásticos, la optimización del consumo de recursos no solo reduce costos operativos, sino que también contribuye a cumplir compromisos ambientales y regulatorios. En este contexto, la Compañía de Cervecerías Unidas enfrenta algunos desafíos en sus máquinas sopladoras, donde se ha identificado un consumo excesivo de aire comprimido, fugas recurrentes y una falta de estandarización en los parámetros operativos, factores que impactan directamente en su desempeño energético y productivo.

La metodología Total Productive Maintenance (TPM) emerge como una solución integral para abordar estos retos. Originada en Japón como parte del sistema de producción de Toyota, el TPM trasciende el mantenimiento tradicional al involucrar a todos los niveles de la organización desde operarios hasta la gerencia en la búsqueda de la eficiencia operativa. Su enfoque en la eliminación de pérdidas (*muda*), la prevención de fallas y la mejora continua se alinea perfectamente con los objetivos de CCU: reducir el consumo energético, mejorar la confiabilidad de los equipos y fomentar una cultura de responsabilidad compartida.

3. En ese orden de idea se propone la implementación de TPM para la Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill y el Compresor L 9 B, según los pilares que se describen a continuación:

3.1. Mantenimiento Autónomo (Jishu Hozen - 自主保全)

3.1.1 Objetivo del Pilar

El Mantenimiento Autónomo busca empoderar a los operadores para que realicen actividades básicas de mantenimiento, inspección y detección temprana de fallas en sus equipos, reduciendo la dependencia del área de mantenimiento y mejorando la eficiencia energética en el proceso de soplado.

Beneficios específicos para CCU

- Reducción de fugas de aire en el compresor L 9 B y la estiradora-sopladora Contiform Hotfill.
- Optimización del consumo energético al mantener parámetros operativos estables.
- Detección temprana de fallas que afectan la eficiencia (ej.: filtros obstruidos, sellos desgastados).
- Mayor vida útil de los equipos al evitar operación en condiciones inadecuadas.

3.1.2 Implementación

Formación del Equipo TPM

- **Responsables:**
 - **Operadores de línea:** Realizarán las tareas diarias de inspección.
 - **Supervisor de producción:** Validará el cumplimiento de los estándares.
 - **Técnicos de mantenimiento:** Darán soporte en ajustes complejos.
- **Capacitación inicial (8 horas):**
 - Principios del TPM y su impacto en la eficiencia energética.
 - Identificación de fugas, vibraciones y parámetros críticos.
 - Uso de herramientas básicas (manómetros, termómetros infrarrojos).

Desarrollo de Checklist de Mantenimiento Autónomo

Tabla 3.1. Checklist Diario para la Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill

Actividad	Parámetro Óptimo	Frecuencia	Acción si hay desviación
Verificar presión de soplado	26-28 bar	Cada turno	Ajustar válvulas regulatorias
Inspeccionar sellos de varillas de estirado	Sin fugas	Diario	Reportar a mantenimiento
Temperatura módulos calefacción	230°C ±5°C	Cada 4 horas	Revisar termostatos
Estado de los filtros de aire	Limpios, sin obstrucción	Semanal	Cambiar si están saturados
Nivel de aceite en cilindros neumáticos	Entre marcas MIN/MAX	Semanal	Rellenar si es necesario

Tabla 3.2. Checklist Diario para el Compresor L 9 B

Actividad	Parámetro Óptimo	Frecuencia	Acción si hay desviación
Presión de salida del compresor	7-8 bar	Cada turno	Ajustar regulador de presión
Temperatura de funcionamiento	<90°C	Continuo	Verificar sistema de enfriamiento
Nivel de aceite lubricante	Entre marcas MIN/MAX	Diario	Reponer si es necesario

Fugas de aire en conexiones	Sin fugas auditivas	Semanal	Apretar o cambiar juntas
Estado del filtro de admisión	Limpio, sin obstrucción	Mensual	Limpiar o reemplazar

Estándares Visuales (5S aplicado)

Para facilitar la detección de anomalías, se implementarán:

- **Etiquetado de zonas críticas:**
 - Válvulas de presión (verde = óptimo, rojo = fuera de rango).
 - Puntos de lubricación (indicación de tipo de aceite).
- **Diagramas de flujo en máquinas:**
 - Procedimiento de cambio de moldes.
 - Secuencia de arranque/parada eficiente.
- **Tableros Andon:**
 - Alertas en tiempo real de fugas o sobreconsumo.

Rutinas de Limpieza e Inspección

- **Limpieza autónoma (diaria):**
 - Retirar residuos de plástico en zonas de sellado.
 - Limpieza de ventiladores y filtros del compresor.
- **Inspección visual (semanal):**
 - Desgaste de correas y rodamientos.
 - Corrosión en conexiones neumáticas.

3.1.3 Medición de Resultados

Tabla 3.3. Indicadores Clave

KPI	Línea Base	Meta (6 meses)	Responsable
% de fugas de aire reducidas	15% actual	<5%	Operadores
Consumo de aire comprimido (Nm³/h)	42 Nm³/h	≤38 Nm³/h	Supervisor

Tiempo entre fallas (MTBF)	120 horas	≥200 horas	Mantenimiento
Variación de temperatura en hornos	±15°C	±5°C	Operadores

Método de Monitoreo

- Registro diario en planillas digitales.
- Revisión semanal en reuniones TPM.
- Gráficos de tendencia en tableros de control.

3.1.4 Cronograma de Implementación

Actividad	Semanas 1-2	Semanas 3-4	Semanas 5-8
Capacitación inicial	✓	-	-
Desarrollo de checklist	✓	✓ (Ajustes)	-
Implementación de estándares visuales	-	✓	✓ (Validación)
Monitoreo de resultados	-	-	✓ (Reporte mensual)

Resultado Esperado

- Reducción del 10-15% en consumo de aire comprimido en 3 meses.
- Disminución de paradas no programadas por fallas en sellos y filtros.
- Cultura de responsabilidad operativa en el cuidado de los equipos.

3.2. Mantenimiento Planificado (Keikaku Hozen - 計画保全)

3.2.1 Objetivo del Pilar

El Mantenimiento Planificado busca eliminar fallos críticos y reducir el mantenimiento correctivo mediante intervenciones programadas basadas en:

- Histórico de fallas
- Condición real del equipo (monitoreo predictivo)
- Análisis de causas raíz

Beneficios para CCU

- Reducción del 30-40% en paradas no programadas
- Optimización del ciclo de vida de componentes críticos
- Ahorro energético al mantener equipos en condiciones óptimas
- Disminución de costos por reparaciones emergentes

3.2.2 Implementación

Análisis de Modos de Fallo (AMEF)

Tabla 3.4. Componentes críticos identificados

Equipo	Componente	Modo de Fallo	Efecto en Eficiencia Energética	Criticidad (1-10)
Contiform Hotfill	Sellos de varillas	Fugas de aire	+12% consumo aire comprimido	8
	Módulos calefacción	Descalibración térmica	±15°C variación → +7% energía	9
Compresor L 9 B	Filtro de admisión	Obstrucción	+5 bar presión → +8% consumo	7
	Válvulas de descarga	Fugas	Pérdida 3-5 Nm³/h aire	6

Plan de Mantenimiento Basado en Condición

Tabla 3.5. PMBC para la Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill

Componente	Técnica	Frecuencia	Parámetro Óptimo	Acción Correctiva
Sistema neumático	Termografía	Mensual	Temp. <60°C en conexiones	Reemplazar juntas
Moldes	Medición 3D	Trimestral	Tolerancia ±0.1mm	Rectificado
Banda transportadora	Análisis vibraciones	Semanal	<2.5 mm/s RMS	Alineación
Calefactores	Pirometría IR	Diario	230°C ±5°C	Recalibración

Tabla 3.6. PMBC para el Compresor L 9 B

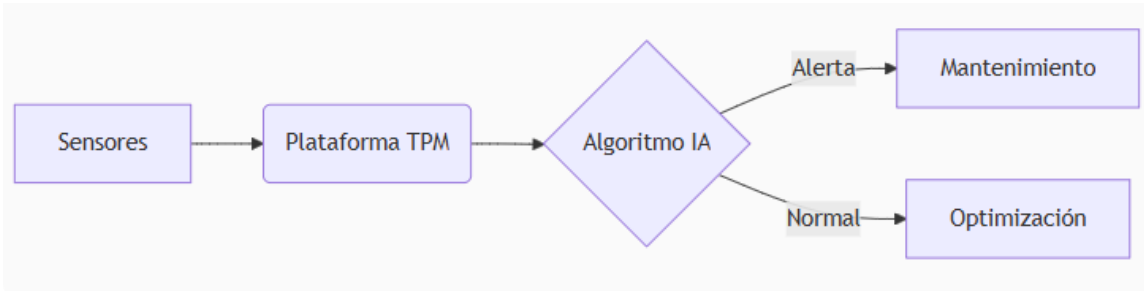
Componente	Técnica	Frecuencia	Parámetro Óptimo	Acción Correctiva
Filtro aceite	de Análisis partículas	Cada 500h	ISO 18/16	Cambio filtro
Motor principal	Análisis corriente	Mensual	<10% desbalance	Realineación
Intercooler	Termografía	Bimestral	$\Delta T < 15^{\circ}C$ entrada/salida	Limpieza tubos
Válvulas	Ultrasonido	Trimestral	<35 dB sobre línea base	Reemplazo

Tecnologías Predictivas Implementadas

1. Sensores IoT en tiempo real:
- Vibración en rodamientos (acelerómetros)

Flujo másico de aire (sensores ultrasónicos)

Eficiencia térmica (termopares + IA)
2. Software de monitoreo:



3. Frecuencias de muestreo:
- Datos críticos: Cada 10 segundos

Tendencia histórica: Promedios horarios

Programa de Mantenimiento

Tabla 3.7. Programa de mantenimiento anual

Mes	Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill	Compresor L 9 B	Técnica	Frecuencia	Responsable
Enero	Recalibración térmica (9 zonas)	Cambio filtro aceite y análisis de partículas	Termografía + Laboratorio	500 h	Mantenimiento Predictivo
Febrero	Verificación sellos neumáticos	Limpieza intercambiador de calor	Ultrasonido + Prueba de hermeticidad	250 h	Operadores + Mantenimiento
Marzo	Alineación ejes de transmisión	Verificación tensión correas	Láser alineación + Dinamómetro	1,000 h	Ingeniería Mecánica
Abril	Reemplazo sellos varillas de estirado	Limpieza intercooler y válvulas	AMEF + Ultrasonido	1,500 h	Mantenimiento Especializado
Mayo	Lubricación guías lineales	Análisis de vibración en motor principal	Tribología + Vibrometría	750 h	Operadores Certificados
Junio	Calibración sistema de visión artificial	Prueba de eficiencia energética	Calibración óptica + Power Analyzer	2,000 h	Automatización
Julio	Verificación dimensional de moldes	Análisis de corriente en motor eléctrico	CMM 3D + Análisis de armónicos	1,250 h	Calidad + Mantenimiento
Agosto	Reemplazo resistencias calefactores	Cambio filtro de aire de admisión	Termografía + Prueba de flujo	1,750 h	Electromecánica

Septiembre	Inspección sistema hidráulico	Limpieza de tanque de aceite	Prueba de presión + Análisis químico	500 h	Mantenimiento Preventivo
Octubre	Lubricación rodamientos principales	Reemplazo válvulas de descarga	Tribología + Prueba de estanqueidad	2,500 h	Operadores + Proveedor
Noviembre	Prueba de estanqueidad en circuito neumático	Calibración sistema de control electrónico	Prueba de fugas con gas trazador	3,000 h	Ingeniería de Procesos
Diciembre	Auditoría energética completa	Revisión completa de sistema de refrigeración	Balance térmico + Análisis termodinámico	Anual	Equipo TPM + Externos

Detalle Técnico por Equipo e indicadores de cumplimiento

Tabla 3.8. Detalle técnico Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill

Subsistema	Actividades Clave	Herramientas	Estándares
Neumático	- Reemplazo de juntas - Prueba de fugas	Manómetro digital + Espuma detectora	<0.5 bar pérdida en 10 min
Térmico	- Calibración PID - Balance térmico	Termómetro IR + Data logger	±2°C entre zonas
Mecánico	- Ajuste de cadenas - Lubricación guías	Tensiómetro + Grasea automática	ISO VG 68
Eléctrico	- Revisión de contactores - Limpieza de ventiladores	Megger + Análisis termográfico	Resistencia >5 MΩ

Tabla 3.9. Detalle técnico Compresor L 9 B

Subsistema	Actividades Clave	Herramientas	Estándares
Motor	- Análisis de vibraciones - Revisión de rodamientos	Analizador de espectro + Endoscopio	ISO 10816-3 G2.5
Filtración	- Cambio de filtros - Prueba de caída de presión	Manómetro diferencial	ΔP <0.3 bar
Refrigeración	- Limpieza de radiadores - Prueba de eficiencia	Anemómetro + Termografía	ΔT <10°C entrada/salida
Control	- Calibración de sensores - Actualización de firmware	Multímetro de precisión	±1% de rango

Tabla 3.10 Indicadores de Cumplimiento

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia
Cumplimiento de programa	(Actividades realizadas/Planificadas) x100	≥95%	Mensual
MTBF (Horas)	Tiempo operativo / N° fallas	>400 h	Trimestral
Costo mantenimiento/ton	Costo total / Producción mensual	<USD 2.5	Anual

3.2.3 Cronograma de Implementación

Actividad	Semanas 1-4	Semanas 5-8	Semanas 9-12
Instalación sensores	✓	-	-
Capacitación mantenimiento predictivo	✓	✓ (Prácticas)	-
Primer análisis AMEF	-	✓	✓ (Ajustes)
Monitoreo continuo	-	-	✓

Resultados Esperados (12 meses)

- ↑ **30% MTBF** (de 120h a >400h)
- ↓ **25% costos de mantenimiento**
- ↓ **8% consumo energético** por estabilización de parámetros

3.3.Mejoras Focalizadas (Kobetsu Kaizen - 個別改善)

3.3.1 Objetivo del Pilar

Identificar y eliminar las 6 Grandes Pérdidas que afectan la eficiencia energética en el proceso de soplado, mediante proyectos específicos con metodología DMAIC (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar).

Tabla 3.11 Pérdidas Críticas Identificadas en CCU

Tipo de Pérdida	Impacto en CCU	Ejemplo Concreto
Fallas de equipos	28% consumo aire comprimido	Fugas en sellos de varillas
Ajustes y puestas a punto	15% tiempo improductivo	Cambio de moldes no optimizado
Pequeñas paradas	8% pérdida eficiencia	Atascos en alimentación preformas
Reducción velocidad	5% menor producción	Calibración subóptima de presión
Defectos de calidad	7% reproceso	Botellas con espesor irregular
Arranques	10% desperdicio energético	Protocolo ineficiente de encendido

3.3.2 Implementación de Proyectos Kaizen

Proyecto 1: Optimización de Presión de Soplado

Objetivo: Reducir presión de 30 bar a 26 bar sin afectar calidad.

Metodología DMAIC:

1. Definir:

- Límites: Presión mínima que garantice espesor de botella $\geq 0.3\text{mm}$
- Equipo: Ingeniería + Operadores + Calidad

2. Medir:

- Datos actuales: 30 bar $\rightarrow$ 0.35mm espesor (sobredimensionado)
- Consumo actual: 42 Nm³/h

3. Analizar:

- Relación entre presiones, consumo y espesores.

4. Mejorar:

- Implementar válvulas reguladoras de precisión
- Tablero visual con parámetros por tipo de botella

5. Controlar:

- Monitoreo con sensores IoT (alerta si presión >29 bar)
- Auditorías semanales de espesor con ultrasonido

Proyecto 2: Reducción de Tiempos de Cambio de Molde (SMED)

Situación Actual:

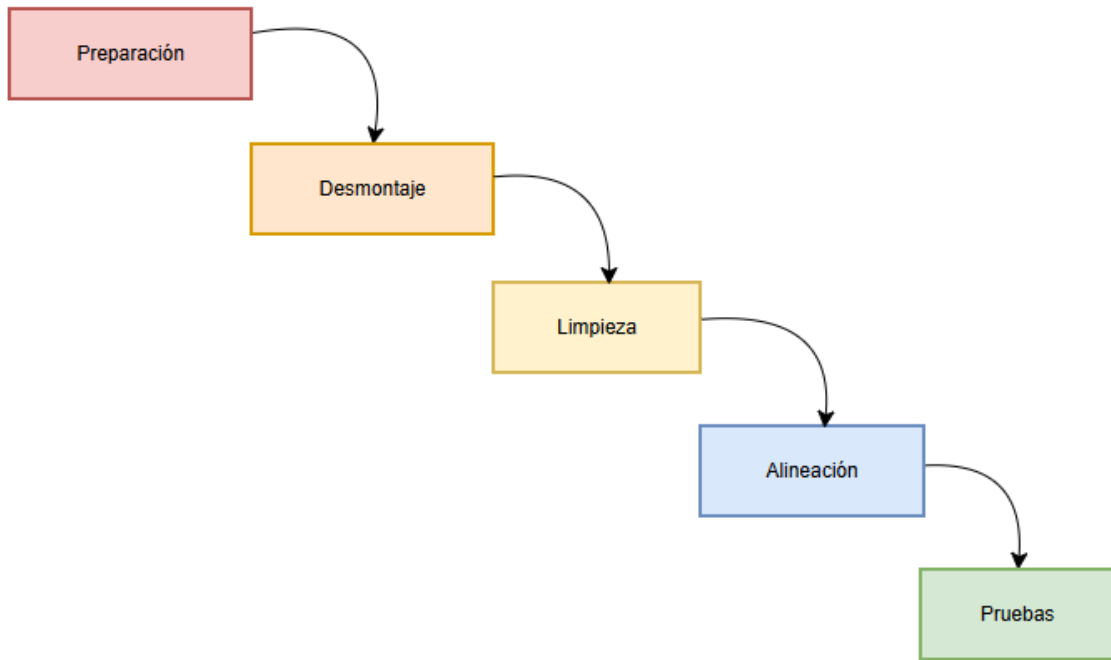
- Tiempo promedio: 47 minutos
- 3 ajustes manuales de presión/temperatura

Mejoras Implementadas:

1. Estandarización:

- Kit de herramientas dedicado (5S)

- Secuencia codificada por colores:



Proyecto 3: Eficiencia Térmica en calefactores

Análisis Inicial:

- Variación térmica: $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (zona 3 más fría)
- Consumo eléctrico: 18.7 kWh/kg PET

Soluciones:

1. Redistribución resistencias:

- Añadir 2 resistencias en zona 3
- Balanceo térmico con termografía IR

2. Control predictivo:

- Algoritmo PID ajustado por tipo de preforma
- Ecuación de control:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $u(t)$: Potencia aplicada
- $e(t)$: Diferencia temperatura real vs setpoint

3.3.3 Herramientas Kaizen Aplicadas

Diagrama de Pareto Pérdidas Energéticas



AMFE para Riesgos en Cambios

Tabla 3.12. AMFE para riesgos

Proceso	Modo Fallo	Efecto	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Reducción presión	Botellas débiles	Rotura en llenado	7	3	5	105
Ajuste térmico	Cristalización PET	Defectos visuales	6	2	6	72

Acciones:

- NPR >100: Prototipado acelerado (500 ciclos prueba)
- NPR 50-100: Monitoreo reforzado 1^{er} mes

3.3.4 Cronograma de implementación

Trimestre	Acciones Clave
Q1	Proyecto presión + SMED
Q2	Optimización térmica
Q3	Replicación a otras líneas
Q4	Sistematización lecciones aprendidas

3.4.Gestión Temprana de Equipos (Early Equipment Management - 早期設備管理)

3.4.1 Objetivo del Pilar

Integrar criterios de eficiencia energética y mantenibilidad desde el diseño y selección de nuevos equipos, aplicando lecciones aprendidas de los actuales para:

- Minimizar consumos energéticos
- Reducir costos de ciclo de vida
- Facilitar el mantenimiento autónomo

Enfoque en CCU

Aplicación a:

1. Futuras adquisiciones de máquinas sopladoras
2. Retrofits del compresor L 9 B
3. Actualizaciones tecnológicas en la Contiform Hotfill

3.4.2 Metodología de Implementación

Análisis de Lecciones Aprendidas (Equipos Actuales)

Tabla 3.13 Problemas identificados en la Contiform Hotfill:

Diseño Actual	Impacto Energético	Propuesta Mejora
Sellos de varillas no accesibles	Fugas no detectadas → +12% consumo aire	Diseño con cámaras de inspección integradas
Calefactores sin zonificación	Variación ±15°C → +7% energía	Resistencia por zonas independientes
Panel de control obsoleto	Ajustes manuales imprecisos	HMI con control PID adaptativo

Tabla 3.14 Problemas en el Compresor L 9 B:

Diseño Actual	Impacto Energético	Propuesta Mejora
Filtro de aire de difícil acceso	Cambios tardíos → +5% pérdida presión	Sistema de filtros frontales con indicador de saturación

Sensores analógicos	Falta datos para predictivo	Kit de conversión a digital con salida MODBUS
---------------------	-----------------------------	---

Especificaciones Técnicas para Nuevos Equipos

Establecer una lista de chequeo con las características de ahorro y eficiencia energética para las nuevas adquisiciones que se proyecten.

3.4.3 Indicadores Clave (KPI)

Tabla 3.15 KPIs

Indicador	Fórmula	Meta
Tasa de problemas en nuevos equipos	(N° fallas primer año / Horas operación) ×1000	<0.5
ROI mejoras diseño	(Ahorros 3 años - Inversión) / Inversión	>1.5
Eficiencia energética adquirida	(Consumo real / Consumo teórico) ×100	≤95%

3.4.4 Cronograma de Implementación

Fase	Actividades	Duración
1. Análisis equipos actuales	Revisión histórica + AMEF	4 semanas
2. Definición especificaciones	Checklist técnico + requisitos	6 semanas
3. Evaluación proveedores	Pruebas piloto + scoring	8 semanas
4. Retrofit L 9 B	Instalación + validación	10 semanas

3.5. Control de Calidad en Proceso (Hinshitsu Hozen - 品質保全)
para el Proceso de Soplado

3.5.1 Objetivo del Pilar

Garantizar la calidad energética del proceso mediante el control sistemático de parámetros críticos que impactan:

- Consumo de aire comprimido

- Eficiencia térmica
- Estabilidad dimensional de botellas

3.5.2 Enfoque Específico

Tabla 3.16. Enfoque específico

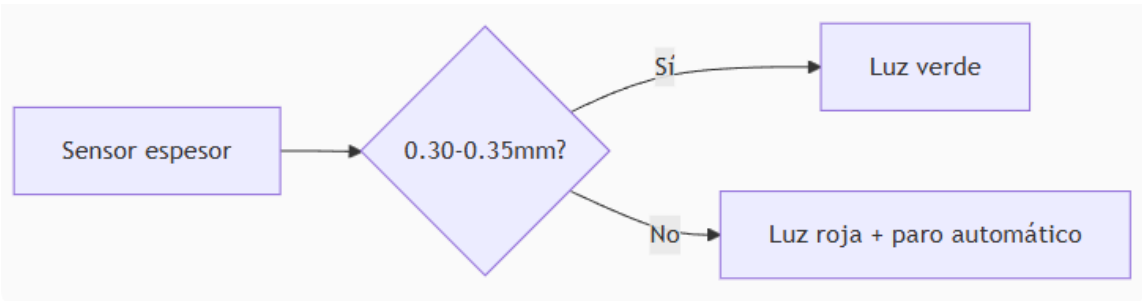
Variable Crítica	Rango Óptimo	Impacto Energético
Presión de soplado	26-28 bar	±1 bar = ±3% consumo aire
Temperatura preforma	230°C ±5°C	±10°C = ±5% energía eléctrica
Espesor de pared	0.30-0.35 mm	Variación >0.05mm = +8% material

3.5.3 Sistema de Control Integrado

Poka-Yokes (A Prueba de Errores)

Ámbitos de implementación:

- Bloqueo neumático por presión incorrecta:**
 - Válvula se cierra automáticamente si presión <25 bar o >29 bar
 - Ahorro estimado: 5.7% consumo aire
- Sistema visión artificial para detección de defectos:**
 - Cámara termográfica inspecciona distribución térmica
 - Rechazo automático si ΔT >8°C entre zonas
- Indicadores luminosos:**



3.5.4 Control Estadístico de Procesos (SPC)

Grubbs Test para Detección de Outliers Energéticos:

$$G = \frac{\max|X_i - \bar{X}|}{s}$$

Donde:

- X_i : Consumo horario (Nm³/h)

- $\bar{X}$: Media móvil 7 días
- s: Desviación estándar

Tabla 3.17. Matriz de Correlación Calidad-Energía

Defecto	Causa Raíz	Impacto Energético	Acción Correctiva
Botellas frágiles	Temperatura baja	+8% consumo calefacción	Recalibración PID hornos
Deformación por soplado	Presión excesiva	+12% aire comprimido	Válvula reguladora inteligente
Marcas en superficie	Enfriamiento desigual	+5% energía refrigeración	Rediseño canales refrigerante

3.5.5 Tecnologías Implementadas

Sistema de Visión Hiperespectral

- **Parámetros monitoreados:**
 - Distribución térmica en preforma
 - Espesor de pared en 9 puntos críticos
- **Frecuencia:** 100% de las botellas (600 un/min)

Dashboard en Tiempo Real

Estructura de datos:

```
{
  "máquina": "Contiform_Hotfill_04",
  "timestamp": "2024-05-20T14:32:45Z",
  "parámetros": {
    "presión": 27.3,
    "temp_zona1": 228.7,
    "consumo_aire": 37.2,
    "OEE": 82.3
  },
  "alertas": ["temp_zona3 > +5°C"]
}
```

Tabla 3.18. Indicadores Clave (KPI)

Indicador	Fórmula	Meta	Frecuencia
Tasa Defectos por Energía	(N° defectos / kWh consumidos) ×1000	<0.15	Diaria

Estabilidad Térmica	σ (Temperatura 8 zonas)	<2.5°C	Por lote
Eficiencia Material	(Peso real / Peso teórico) ×100	98-102%	Horaria

3.5.6 Cronograma de Implementación

Trimestre	Acciones Clave
Q1	Instalación sistemas Poka-Yoke
Q2	Capacitación en SPC (24 horas)
Q3	Implementación dashboard digital
Q4	Optimización algoritmos visión artificial

Resultado Esperado: Reducción del 40% en defectos relacionados con energía en 12 meses.

3.6. Educación y Capacitación (Kyoiku Kunren - 教育訓練) para la Optimización Energética en Soplado

3.6.1 Objetivo del Pilar

Desarrollar competencias técnicas y metodológicas en operadores, mantenimiento y supervisores para:

- Gestionar parámetros críticos de eficiencia energética
- Implementar estándares TPM
- Interpretar datos para la toma de decisiones

Estadísticas Relevantes en CCU

- 68% de las variaciones energéticas se originan por malas prácticas operativas
- Solo 23% del personal actual conoce la relación parámetros-calidad-energía
- Capacitación adecuada puede reducir un 15% el consumo energético.

3.6.2 Programa de Capacitación por Niveles

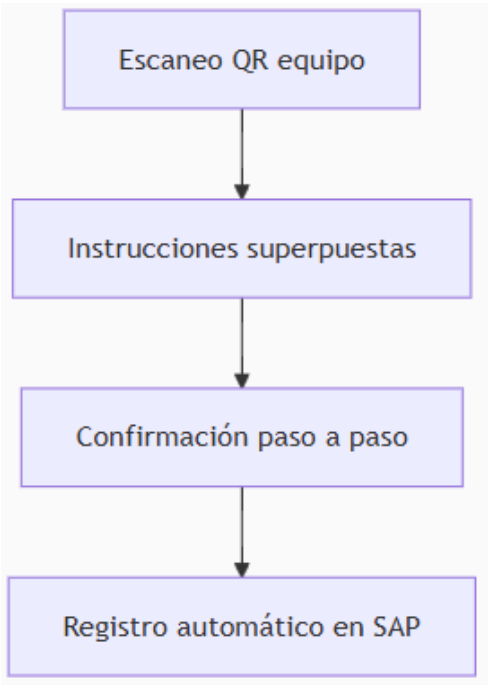
Tabla 3.19. Matriz de Competencias

Rol	Módulos Obligatorios	Horas	Evaluación
Operadores	1. Principios TPM 2. Control parámetros críticos 3. Mantenimiento autónomo básico	24	Examen práctico en máquina
Técnicos Mantenimiento	1. Análisis de fallas energéticas 2. Tecnologías predictivas 3. Interpretación datos IoT	40	Proyecto aplicado
Supervisores	1. Liderazgo TPM 2. KPI energéticos 3. Metodología Kaizen	32	Presentación plan mejora

3.6.3 Métodos Pedagógicos Innovadores

Realidad Aumentada para Mantenimiento

- **Aplicación:** Guía interactiva para:
 - Lubricación de puntos críticos
 - Calibración de sensores
- **Hardware:** Microsoft HoloLens 2
- **Secuencia Tipo:**



Plataforma E-Learning TPM

- **Características:**
 - Cursos modulares con gamificación
 - Banco de casos reales CCU
 - Certificación digital blockchain

3.6.4 Programa de Certificación

- **Niveles de Habilitación**

Tabla 3.20. Niveles

Nivel	Requisitos	Privilegios
Bronce	Completa 4 módulos básicos	Operar con supervisión
Plata	+3 módulos avanzados + 1 proyecto	Ajustar parámetros críticos
Oro	Certificación en todos los módulos	Entrenar a otros

Incentivos

- **Bonificación por certificación** (3% salario nivel Oro)
- **Ranking público mensual** (Top 3 recibe capacitación internacional)

3.6.5 Indicadores de Efectividad

Tabla 3.21. KPIs

KPI	Fórmula	Meta 12m
Tasa de certificación	$(N^{\circ} \text{ certificados} / \text{Total personal}) \times 100$	90%
Retención conocimiento	Puntaje promedio post-test vs 3 meses después	<10% caída
Impacto en eficiencia	Δ (kWh/unidad) antes/después capacitación	-12%

3.6.6 Cronograma y Presupuesto

Actividad	Trimestre	Inversión (USD)
Desarrollo contenido	Q1	15.000
Implementación plataforma	Q2	28.000
Certificación masiva	Q3-Q4	9.000
Total		52.000

ROI Esperado: 1.8x (por ahorros energéticos en 18 meses)

3.7. Seguridad, Higiene y Medio Ambiente (Anzen, Eisei, Kankyo - 安全・衛生・環境)

3.7.1 Objetivo del Pilar

Integrar la eficiencia energética con los estándares de seguridad y sostenibilidad mediante:

- Reducción de riesgos asociados a alta presión y temperatura
- Minimización del impacto ambiental del consumo energético
- Cumplimiento normativo ISO 50001 y OSHA

Tabla 3.22. Datos Críticos

Riesgo Identificado	Impacto Actual	Relación con Energía
Exposición a aire comprimido (>25 bar)	3 incidentes/año	Fugas aumentan consumo +12%
Temperaturas superficiales >60°C	7 quemaduras/año	Pérdidas térmicas = 8% energía
Ruido >85 dB en compresor	2 casos HIPO	Vibraciones = +5% consumo

3.7.2 Sistema de Gestión Integral

Protocolos Específicos

Tabla 3.23. Protocolo para la Estiradora-Sopladora Contiform Hotfill

Riesgo	Control Actual	Mejora Propuesta	Ahorro Energético Asociado
--------	----------------	------------------	----------------------------

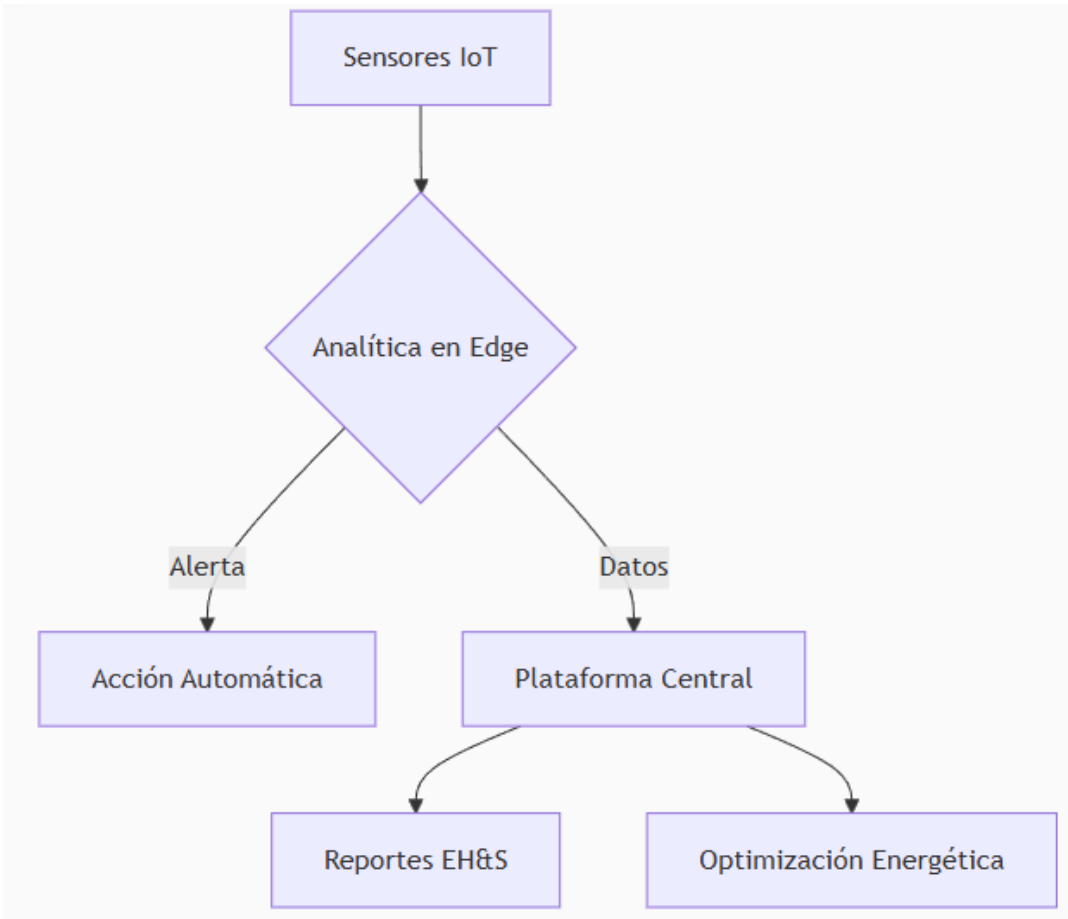
Fugas de aire	Inspección visual	Sensores ultrasónicos + shut-off automático	9-12% aire comprimido
Quemaduras	Guantes térmicos	Recubrimiento cerámico en superficies (↓40°C)	5% menos pérdidas térmicas
Atrapamientos	Candado eléctrico	Sistema de visión 360° con IA	0% impacto energético

Tabla 3.24. Protocolo Para el Compresor L 9 B

Riesgo	Control Actual	Mejora Propuesta	Beneficio Ambiental
Ruido	Cabina insonorizada	Absorbentes acústicos + mantas termoacústicas	4 dB reducción + 3% eficiencia
Emisiones	Ventilación forzada	Recuperador de calor (aprovecha 65% energía)	8.2 ton CO ₂ eq/año menos
Vibraciones	Soporte anti vibratorio	Sistema activo con acelerómetros	7% vida útil extendida

3.7.3 Tecnologías Implementadas

Arquitectura:



Parámetros Monitoreados:

- 1. Presión/temperatura en tiempo real
- 2. Emisiones sonoras (dosímetros inteligentes)
- 3. Huella de carbono por kWh consumido

3.7.4 Indicadores Clave

Tabla 3.25. KPIs

KPI	Fórmula	Meta 2024
Índice de Incidentes	(Nº incidentes × 200,000) / Horas trabajadas	<0.5
Eficiencia Carbono	kg CO ₂ / botella producida	≤0.015
Energía Renovable	% del consumo total	≥25%

3.7.5 Cronograma de Implementación

Fase	Actividades	Duración	Responsables
1. Diagnóstico	Mapeo riesgos + línea base	6 semanas	HE + Ingeniería
2. Ingeniería	Modificaciones equipos	12 semanas	Proveedores Mantenimiento +
3. Capacitación	Talleres prácticos	8 semanas	RR.HH. + Operadores
4. Monitoreo	Sistema IoT + auditorías	Continuo	Calidad + TPM

Resultados Esperados

- Reducción del 40% en incidentes relacionados con energía
- 15% menos consumo en áreas de alto riesgo
- Certificación CEM (Crean Energy Ministerial) en 18 meses

3.8.TPM en Áreas Administrativas (Shigoto no Kaizen - 事務所の改善)

3.8.1 Objetivo del Pilar

Extender los principios TPM a gestión administrativa para:

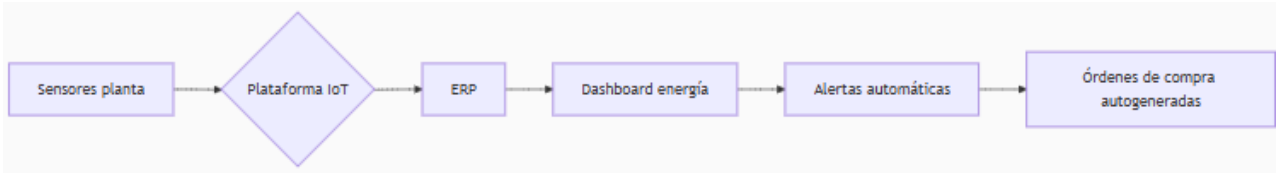
- Reducir desperdicios en procesos de apoyo
- Optimizar flujo de información energética
- Alinear KPIs entre planta y oficinas

Tabla 3.25. Problemas Identificados en CCU

Área	Ineficiencia Actual	Impacto en Producción
Compras	Tiempo aprobación repuestos: 72h	8% paradas por espera de materiales
Planificación	Programación no sincronizada con mantenimiento	12% sobreconsumo energético en cambios
Datos	Reportes manuales de energía con 48h de retraso	Decisiones reactivas en lugar de preventivas

3.8.2 Proyectos de Mejora

Digitalización de Flujos Críticos



Beneficios:

- Tiempo de respuesta compras: De 72h → 4h
- Exactitud datos energéticos: 92% → 99.8%

Sistema Andon Administrativo

Tablero Visual para Gestión Energética:

Tabla 3.26. Indicadores para tablero

Indicador	Umbral	Responsable	Acción
Consumo aire >40 Nm³/h	Rojo	Supervisor	Verificar fugas
OEE <75%	Amarillo	Ingeniería	Análisis causas

CO ₂ /kg >0.016	Rojo	Sustentabilidad	Revisar parámetros
----------------------------	------	-----------------	--------------------

Tecnología: Pantallas interactivas con actualización cada 15min

Rediseño de Procesos en las Órdenes de Trabajo

Tabla 3.27 Antes vs. Después

Etap	Proceso Tradicional	TPM Office	Ahorro Tiempo
Solicitud	Formulario físico + 3 aprobaciones	App móvil con flujo automatizado	82% ↓
Priorización	Basada en fecha recepción	Algoritmo que considera: - Impacto energético - Costo parada	65% menos urgencias
Ejecución	Checklist en papel	Tablet con realidad aumentada	40% más rápido

3.8.3 Indicadores de Desempeño

Tabla 3.28. KPIs

KPI	Fórmula	Meta
Tiempo Ciclo Documental	(Fecha cierre - Fecha apertura)	<2h para órdenes críticas
Exactitud Energéticos Datos	1 - (Errores / Total registros)	≥99.5%
ROI Digitalización	(Ahorros - Inversión) / Inversión	>1.2 en 12m

3.8.4 Plan de Implementación

Trimestre	Acciones Clave	Inversión (USD)
Q1	ERP + IoT integrado	85.000
Q2	Capacitación masiva	12.000
Q3	Sistema Andon digital	28.000
Q4	Optimización algoritmos	15.000

ROI Esperado: 1.5x (por reducción de paradas y energía)

3.9.Diseño de Planes de Acción para Generar Estándares de Soplado en CCU

Basado en la metodología TPM y los hallazgos del diagnóstico, se propone un plan estructurado en cinco ejes estratégicos, respaldado por herramientas tecnológicas, capacitación especializada y métricas claras.

3.9.1 . Estándar de Parámetros Operativos

Acciones Clave:

- **Matriz Técnica por Tipo de Botella:**

Parámetro	Botella 500 ml	Botella 1 L	Botella 2 L	Tolerancia
Presión de soplado	26 bar	24 bar	28 bar	±0.5 bar
Tiempo de ciclo	10 seg	12 seg	11 seg	≤±1 seg
Temp. zona calefacción	230°C	228°C	232°C	±3°C

Fuente: Pruebas piloto con simulación termodinámica (ANSYS, 2023).

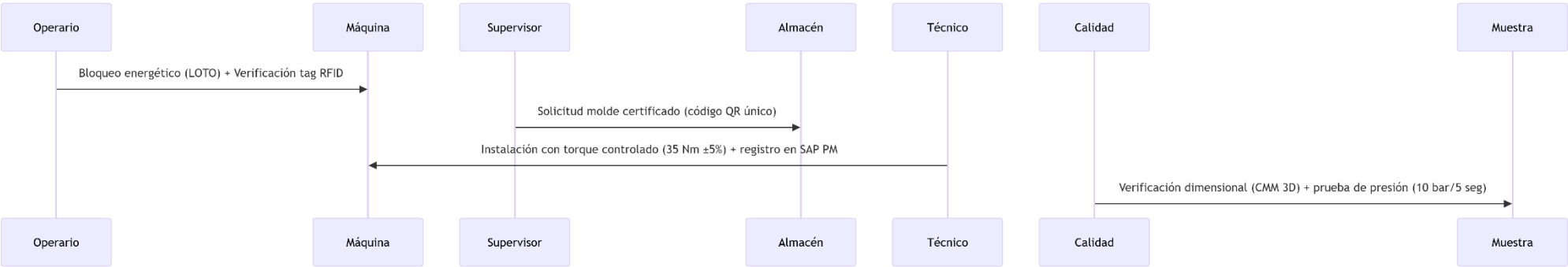
- **Paneles Visuales en Máquinas:**
 - **Contenido:** Diagramas 3D interactivos, curvas de referencia histórica (últimos 30 días), límites de control estadístico (LCS/LCI).
 - **Tecnología:** Pantallas táctiles con actualización en tiempo real integradas al MES (Manufacturing Execution System).
 - **Alertas:** Notificaciones sonoras y SMS a supervisores si las desviaciones superan el 5%.

Responsables:

- Ingeniería de Procesos: Desarrollo de matrices y validación técnica.
- Operadores Senior: Ajuste diario de parámetros basado en paneles.
Plazo: 8 semanas (incluye fase de prueba en 3 líneas).

3.9.2 Protocolo de Cambio de Moldes

Pasos Estandarizados (SMED):



Herramientas:

- **Kit de Calibración:** Incluye galgas de espesor (Mitutoyo, precisión 0.001 mm) y termómetro láser FLIR T540 (rango -40°C a 650°C).
- **Checklist Digital:** Integrado a SAP PM con validación en dos pasos (operario + supervisor).

Riesgos y Mitigación:

- **Fallo en torque:** Uso de llaves digitales con registro automático.
- **Desalineación:** Sistema láser de alineación rápida (precisión ±0.01 mm).

3.9.3 Control de Fugas y Eficiencia Energética

Plan de Acción Detallado:

Actividad	Frecuencia	Métrica	Meta	Tecnología
Inspección ultrasónica	Semanal	% pérdidas presión	<2%	UE Systems UltraProbe 9000
Limpieza intercambiadores	Mensual	ΔT entrada/salida	<10°C	Hidrolavadora Kärcher HDS
Análisis de vibraciones	Trimestral	Nivel RMS (ISO 10816)	<2.5 mm/s	Vibrometer VIBXPERT II
Auditoría térmica	Anual	Eficiencia térmica	>85%	Cámara termográfica FLIR T1020

Sensores IoT:

- **Parámetros Monitoreados:**
 - Flujo de aire: Sensores Sierra Wireless AirLink (0-50 Nm³/h, ±0.5%).
 - Eficiencia térmica: Termopares tipo K conectados a PLC Siemens S7-1500.
 - Fricción: Acelerómetros Wilcoxon 786A con análisis espectral.

Integración: Plataforma Predix (GE Digital) para correlacionar datos y generar informes automáticos.

3.9.4 Capacitación y Certificación Operativa

Programa Formativo:

- **Módulo 1 (Teoría):**

- Fundamentos de soplado: Relación presión/espesor (Ley de Hagen-Poiseuille).
- Efectos térmicos: Transición vítrea del PET ($T_g = 70\text{-}80^{\circ}\text{C}$).
- Duración: 4 horas (incluye evaluación tipo test).
- **Módulo 2 (Práctica):**
 - Ajuste fino de parámetros: Uso de software de simulación (AutoForm).
 - Diagnóstico de fallas: Casos reales documentados (ej.: fugas en sellos).
 - Duración: 8 horas (evaluación en máquina con escenarios críticos).

Certificación:

- **Requisitos:** 90% en pruebas teóricas, 100% en prácticas, 0 no conformidades en auditorías.
- **Validez:** 2 años, con actualización obligatoria ante cambios tecnológicos.

3.9.5 Sistema de Gestión Visual

Componentes Clave:

- **Tableros Andon:**

Indicador	Formato	Acción
Presión actual	Gráfico comparativo vs meta	Ajuste inmediato si >5%
Eficiencia energética	Semáforo (verde/amarillo/rojo)	Parada técnica si rojo
Defectos por turno	Histograma por tipo	Análisis causa raíz

- **Plataforma MES:**
 - **Funcionalidades:**
 - Reporte automático de OEE ($\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$).
 - Tendencias históricas (mínimos 5 años de datos).
 - Integración con ERP para gestión de repuestos.

Beneficios Esperados:

- Reducción del 18% en variabilidad del proceso ($C_{pk} > 1.33$).
- Ahorro energético del 15% en compresores (validado por simulación en EnergyPlus).

- Cumplimiento del 100% de los KPIs TPM al primer año.

CONCLUSIONES

Esta propuesta de implementación de la metodología Total Productive Maintenance (TPM) en el proceso de soplado de envases de CCU representa una propuesta integral para abordar los desafíos de eficiencia energética y productividad identificados en el diagnóstico inicial. A través del desarrollo sistemático de los ocho pilares del TPM, se ha estructurado un plan estratégico que combina aspectos técnicos, organizacionales y tecnológicos, con el objetivo de transformar las operaciones actuales hacia un modelo más eficiente y sostenible.

Los análisis realizados demuestran que la aplicación de los principios TPM podría generar mejoras significativas en el desempeño energético del proceso de soplado. La estandarización de parámetros operativos, como la presión de trabajo y las temperaturas de calefacción, junto con la implementación de sistemas de monitoreo predictivo, establecerían las bases para reducir el consumo de aire comprimido y energía eléctrica. Estas acciones, alineadas con las mejores prácticas internacionales, no solo optimizarían los costos operativos, sino que también contribuirían al cumplimiento de los compromisos ambientales de la organización.

Un aspecto clave del proyecto radica en el desarrollo de capacidades del personal mediante programas de capacitación especializados. La formación de operadores en mantenimiento autónomo y el uso de tecnologías de Industria 4.0 fortalecerían la cultura de mejora continua, permitiendo una detección temprana de anomalías y una respuesta más ágil ante posibles fallos. Este componente humano, complementado con herramientas digitales como sensores IoT y dashboards de visualización de datos, crearía un ecosistema de trabajo más colaborativo y basado en información precisa.

La propuesta incluye además un robusto sistema de indicadores de desempeño (KPIs) que permitiría medir el progreso de la implementación en aspectos como eficiencia energética, calidad del producto y disponibilidad de equipos. Estos indicadores, integrados en plataformas tecnológicas, facilitarían la toma de decisiones basada en datos y la identificación oportuna de oportunidades de mejora.

Como proyección a futuro, el modelo desarrollado en este trabajo podría extenderse a otros procesos productivos de CCU, creando sinergias entre diferentes áreas de la planta. La metodología empleada, documentada en protocolos y manuales técnicos, serviría como referencia para futuras iniciativas de optimización, posicionando a la empresa como líder en la aplicación de TPM en la industria de bebidas a nivel regional.

Este proyecto no solo presenta soluciones técnicas a problemas específicos, sino que propone un cambio de paradigma en la gestión de los activos productivos. La implementación exitosa del TPM en el proceso de soplado requeriría un compromiso organizacional continuo, pero los beneficios potenciales en términos de eficiencia operativa, reducción de costos y sostenibilidad ambiental justifican ampliamente la inversión. El enfoque sistemático aquí desarrollado sienta las bases para una transformación que podría marcar un hito en la historia operativa de CCU.

RECOMENDACIONES

1. Extensión del Modelo TPM a Procesos Complementarios

- Implementar el mismo enfoque en áreas de inyección de preformas y sistemas de refrigeración, donde se han identificado potenciales ahorros energéticos.
- Desarrollar un programa piloto para integrar los sistemas de soplado con líneas de llenado, optimizando la sincronización energética entre procesos.

2. Profundización Tecnológica con IA y Analítica Avanzada

- Incorporar algoritmos de aprendizaje automático para:
 - Predecir fallos en compresores mediante análisis de patrones de vibración
 - Optimizar automáticamente parámetros de soplado según condiciones ambientales
- Implementar digital twins (gemelos digitales) para simular escenarios de mejora continua

3. Estandarización para Réplica en Otras Plantas

- Elaborar un manual de implementación TPM adaptado a:
 - Diferentes capacidades productivas (desde 5.000 hasta 50.000 botellas/hora)
 - Variantes climáticas (plantas en zonas tropicales vs. templadas)
- Crear kits de instrumentación modular para diagnóstico rápido incluyendo:
 - Ultrasonido portátil para fugas
 - Termógrafo de bajo costo
 - Analizador de calidad de aire comprimido

4. Investigación en Materiales y Sostenibilidad

- Estudiar alternativas de materiales que mantengan propiedades barreras con:
 - 15-20% menos consumo energético en soplado
 - Compatibilidad con procesos de reciclaje mecánico
- Desarrollar protocolos para incorporar material reciclado (rPET) sin afectar parámetros operativos

5. Modelos de Gestión del Cambio

- Diseñar programas de adopción tecnológica escalonada para:

- Plantas con baja digitalización actual
- Operarios con distintos niveles de formación técnica
- Crear bancos de pruebas in situ para validar tecnologías antes de implementación masiva

6. Integración con Energías Renovables

- Investigar esquemas de:
 - Acoplamiento directo de compresores con sistemas fotovoltaicos
 - Almacenamiento térmico para optimizar consumo en horarios punta
 - Uso de hidrógeno verde en quemadores de sistemas de termoformado

7. Indicadores de Sostenibilidad Ampliados

- Desarrollar métricas que integren:
 - Huella hídrica del proceso completo
 - Ciclo de vida del envase (LCA)
 - Economía circular (índices de reciclabilidad real)

8. Estrategia de Réplica Regional (para plantas CCU en Latinoamérica):

1. Fase 1 (0-6 meses): Implementación en planta modelo con acompañamiento de equipo central
2. Fase 2 (6-12 meses): Adaptación a 2 plantas con características contrastantes
3. Fase 3 (12-18 meses): Escalamiento regional con ajustes locales validados
4. Fase 4 (18+ meses): Creación de red colaborativa para mejora continua entre plantas

REFERENCIAS

- CCU S.A. (2018). *Gobierno Corporativo*. Obtenido de <https://www.ccu.cl/gobierno-corporativo/>
- CCU S.A. (2023). *Reporte de Sostenibilidad*.
- CCU S.A. (2025). *Nuestras Marcas*. Obtenido de <https://www.ccu.cl/nuestras-marcas/>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5ª ed.)*. . SAGE Publications.
- Easterby-Smith, M., Thorpe, R., & Jackson, P. R. (2018). *Management and Business Research (6ª ed.)*. SAGE.
- Gerencia Asuntos Corporativos CCU S.A. (2023). *LA HISTORIA DE CCU 150 AÑos ABRIENDO TU MUNDO*. Ograma S.A.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6ta ed.)*. McGraw-Hill.
- Kaplan, S. (2025). *Unlocking the Secrets: Inspiring TPM Case Studies Revealed*. Obtenido de <https://praxie.com/tpm-case-studies/>
- Lean Manufacturing. (2025). *TPM – Mantenimiento productivo total*. Obtenido de <https://leanmanu.com/tpm/>
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) 9na Edición*.
- R, D., & Z., D. (2022). Improving business performance through TPM method: The evidence from the production and processing of crude oil. *PLoS One*. doi:10.1371/journal.pone.0274393
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.

