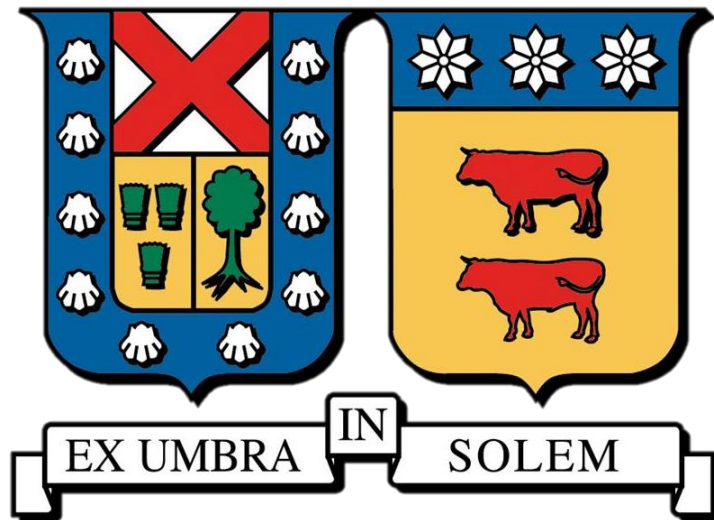


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



**“PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO A EQUIPO CRÍTICO
DE EMBOTELLADORA METROPOLITANA S.A.”**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Alumno: Sr. Ariel Cisternas Bernal

Profesor Guía: Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez



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: Propuesta de Plan de Mantenimiento a Equipo Crítico de Embotelladora Metropolitana S.A.

Nombre del candidato(a): Ariel Andrés Cisternas Bernal

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Sede Viña del Mar

Departamento: Departamento de Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, 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 (marcar una opción)

☒ 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 (**marcar una opción**):

☐ 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: 23-09-26

Firma: _____



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 23-09-26

Firma: _____

Ariel

RESUMEN

KEYWORDS: RCM, DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA, FMECA, OPI, PLAN DE MANTENIMIENTO, DISPONIBILIDAD.

El presente trabajo de título se desarrolló en una planta embotelladora, con el propósito de proponer mejoras en la gestión del mantenimiento mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) a un equipo relevante del proceso productivo.

En el diagnóstico inicial se constató la predominancia del mantenimiento correctivo, condición que generaba detenciones no planificadas y pérdida de estabilidad operacional, con impactos directos en la producción esperada de las líneas de producción.

Para lo anterior, se recopiló información sobre las fallas de los equipos de la planta y tiempos de detención. Mediante un diagrama de dispersión logarítmica, se seleccionó como equipo crítico la sopladora SIDEL SBO-6, la cual se identificó como responsable directo del 22,22% de las pérdidas totales por ineficiencia en la línea 2. A partir de su descomposición funcional, se definieron funciones y fallas funcionales, y se justificó la selección de dos sistemas como los más críticos para la continuidad del proceso: el circuito de aire a 40 bar y el sistema horno.

Posteriormente, se aplicó un análisis FMECA para ambos sistemas, identificando modos de falla totales y parciales, y sus efectos operacionales. La priorización se realizó mediante el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), considerando severidad, ocurrencia y detectabilidad, con el objetivo de focalizar los esfuerzos de mantenimiento en los modos de falla de mayor impacto.

Basados en la hoja de decisión RCM, se propusieron tareas de mantenimiento orientadas a mitigar el impacto y las consecuencias de los modos de falla priorizados. Como resultado, se estructuró una propuesta de plan de mantenimiento que permitirá transitar desde un enfoque reactivo hacia uno basado en confiabilidad, en el cual se estimó una reducción en la frecuencia promedio de fallas desde las 2,13 fallas/semana actuales hasta 1,8 y 1,6 fallas/semana para cada escenario. Este incremento en la confiabilidad permitiría elevar la disponibilidad de la sopladora a un 96% y 96,44%, lo que beneficiaría de forma directa al OPI real de la línea 2, aumentándolo desde su valor base de 78,66% hasta un 79,4% y 79,85%, respectivamente.

Índice

Contenido

1	ANTECEDENTES GENERALES Y SELECCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO.....	9
1.1	EMPRESA.....	10
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	11
1.2.1	Recepción y almacenamiento de materias primas:	12
1.2.2	Disolutor:	12
1.2.3	Estanque de almacenamiento de jarabe:	12
1.2.4	Filtro de jarabe:	12
1.2.5	Mezclado Carbonatado:	12
1.2.6	Estanque Nivelación J1:.....	12
1.2.7	Estanque Nivelación J2:.....	13
1.2.8	Pasteurizador:	13
1.2.9	Llenado:	13
1.2.10	Capsulado:.....	13
1.2.11	Etiquetado:	13
1.2.12	Codificado:.....	14
1.2.13	Empacado:.....	14
1.2.14	Paletizado:.....	14
1.2.15	Almacenamiento:.....	14
1.2.16	Despacho:.....	14
1.3	PROBLEMÁTICA	15
1.4	SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO.....	18
2	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y ANÁLISIS DE MODOS. EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA.	22
2.1	DESCRIPCIÓN SOPLADORA SBO-6.....	23
2.2	CONTEXTO OPERACIONAL	24
2.3	SISTEMAS DE SOPLADORA SBO-6.....	24
2.3.1	Circuito aire 40 bar	24
2.3.2	Circuito aire 7 bar	28
2.3.3	Circuito hidráulico.....	31
2.3.4	Sistema transmisión	35
2.3.5	Sistema alimentación	39
2.3.6	Sistema horno.....	42
2.3.7	Unidad soplado.....	44
2.4	FUNCIONES	50
2.4.1	Circuito de aire 40 bar	50
2.4.2	Sistema horno.....	50
2.5	FALLAS FUNCIONALES	50
2.5.1	Circuito de aire 40 bar	50

2.5.2 Sistema horno.....50

2.6 MODOS DE FALLA.....51

2.6.1 Circuito de aire 40 bar 51

2.6.2 Sistema horno.....51

2.7 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR).....52

2.7.1 Severidad 52

2.7.2 Ocurrencia.....53

2.7.3 Detectabilidad.....53

2.8 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA DEL CIRCUITO DE AIRE 40 BAR.....54

2.9 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA DEL SISTEMA HORNO ...55

2.10 JERARQUIZACIÓN MODOS DE FALLA.....56

2.10.1 Circuito aire 40 bar 56

2.10.2 Sistema horno.....56

3 PLAN DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA.....57

3.1 SELECCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....58

3.2 TAREAS PROACTIVAS 58

3.2.1 Reacondicionamiento cíclico 58

3.2.2 Sustitución cíclica.....59

3.2.3 Tareas “A condición”.....59

3.3 ACCIONES “A FALTA DE” 59

3.3.1 Tareas de búsqueda de falla 59

3.3.2 Rediseño 59

3.3.3 Ningún mantenimiento programado 60

3.4 HOJA DE DECISIÓN 61

3.4.1 Circuito aire 40 bar 61

3.4.2 Sistema horno.....62

3.5 COSTO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO 63

3.5.1 Circuito de aire 40 bar 63

3.5.2 Sistema horno.....64

3.6 COSTOS DEL RCM.....65

3.7 COSTO DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....66

3.8 COSTOS POR INDISPONIBILIDAD SBO-6 66

3.9 ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y RESULTADOS ESPERADOS 67

3.10 CONCLUSIONES 69

3.11 RECOMENDACIONES.....70

3.12 REFERENCIAS 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1, Líneas productivas Embotelladora Metropolitana S.A 10

Figura 1-2, Diagrama de flujo del proceso de embotellado de la planta.....11

Figura 1-3, Layout de la planta.....15

Figura 1-4, Diagrama de dispersión logarítmica para la selección del equipo crítico. 19

Figura 2-1, Ciclo del proceso de soplado 23

Figura 2-2, Sistema de regulación/filtración Circuito aire 40 bar 24

Figura 2-3, Sistema de distribución Circuito aire 40 bar 25

Figura 2-4, Descripción Circuito aire 40 bar 26

Figura 2-5, Sistema de regulación/filtración Circuito aire 7 bar 28

Figura 2-6, Sistema de distribución Circuito aire 7 bar.....29

Figura 2-7, Descripción parte giratoria.....30

Figura 2-8, Descripción parte fija 30

Figura 2-9, Sistema de regulación Circuito hidráulico 32

Figura 2-10, Sistema de distribución Circuito hidráulico 33

Figura 2-11, Descripción Circuito hidráulico 34

Figura 2-12, Limitadores de par Sistema de transmisión.....36

Figura 2-13, Sistema de frenado Sistema de transmisión 37

Figura 2-14, Sincronismo Sistema de transmisión 37

Figura 2-15, Descripción Sistema de transmisión 38

Figura 2-16, Aprovisionamiento Sistema alimentación.....40

Figura 2-17, Cargamento de preformas Sistema de alimentación 40

Figura 2-18, Funcionamiento Sistema horno.....42

Figura 2-19, Enfriamiento Sistema horno.....43

Figura 2-20, Diagrama de ciclo Unidad de soplado 45

Figura 2-21, Bloqueo/desbloqueo unidad portamolde (1) 46

Figura 2-22, Bloqueo/desbloqueo unidad portamolde (2) 47

Figura 2-23, Cinemática de los movimientos unidad portamolde.....47

Figura 2-24, Descripción del proceso de soplado 48

Figura 2-25, Descripción Unidad de soplado.....49

Figura 3-1, Diagrama de decisión RCM.....58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1, Producción Esperada vs Producción Real	15
Tabla 1-2, OPI Programado VS OPI Real.....	16
Tabla 1-3, OPI Efectivo por línea de producción	17
Tabla 1-4, Datos para elaboración de diagrama de dispersión logarítmica.....	19
Tabla 1-5, Disponibilidad actual SBO-6.....	21
Tabla 2-1, Componentes Circuito de aire 40 bar	27
Tabla 2-2, Componentes Circuito de aire 7 bar	31
Tabla 2-3, Componentes Circuito hidráulico.....	35
Tabla 2-4, Componentes Sistema de transmisión.....	39
Tabla 2-5, Componentes Sistema de alimentación.....	41
Tabla 2-6, Componentes Sistema horno.....	44
Tabla 2-7, Componentes Unidad de soplado	49
Tabla 2-8, Criterios sugeridos para la evaluación de severidad	52
Tabla 2-9, Criterios sugeridos para la evaluación de ocurrencia.....	53
Tabla 2-10, Criterios sugeridos para la evaluación de detección	53
Tabla 2-11, FMECA Circuito de aire 40 bar	54
Tabla 2-12, FMECA Sistema horno.....	55
Tabla 2-13, Jerarquización NPR Circuito aire 40 bar.....	56
Tabla 2-14, Jerarquización NPR Sistemas horno	56
Tabla 3-1, Hoja de decisión Circuito aire 40 bar	61
Tabla 3-2, Hoja de decisión Sistema horno	62
Tabla 3-3, Costo de actividades de mantenimiento Circuito de aire 40 bar.....	63
Tabla 3-4, Costo de actividades de mantenimiento Sistema horno	64
Tabla 3-5, Costo de RCM Anual SBO-6.....	66
Tabla 3-6, Estimación de margen de contribución por formato	67
Tabla 3-7, Costos por indisponibilidad SBO-6 según formato	67
Tabla 3-8, Evaluación económica y ahorros anuales proyectados	68
Tabla 3-9, Impacto operacional y resultados esperados.....	68

INTRODUCCIÓN

La industria de las embotelladoras en Chile ha tenido un impacto significativo en la sociedad y economía del país a lo largo de los años. Estas empresas se dedican principalmente a la producción y distribución de bebidas carbonatadas, jugos, energéticas, isotónicas, aguas embotelladas y otros productos relacionados. Una de las empresas que se dedica a este rubro es Embotelladora Metropolitana S.A, con más de 15 años en el mercado nacional que se dedica a comercializar productos de las denominadas “Marcas B”, gracias a su éxito cuenta con dos plantas productivas, una en Quilicura y la otra en Colbún, VII región. Produciendo más de 65 millones de litros anuales.

Esta planta cuenta con tres líneas productivas: la primera produce gaseosas, la segunda jugos y aguas saborizadas, y la tercera se dedica a la producción de bidones de agua purificada. Para que la planta logre operar eficientemente y absorba la demanda del mercado, requiere de una alta disponibilidad de los equipos de cada una de sus líneas de producción, posicionando al mantenimiento con un rol importante para lograr mantener la continuidad operacional.

El desempeño histórico reciente de la planta revela brechas operacionales. Al evaluar las distintas líneas mediante el indicador OPI (Operational Performance Indicator), se registran valores que fluctúan entre 75% y 90%. Este escenario se agrava por la ausencia de redundancia, al estar los equipos configurados en serie, cualquier falla imprevista en los equipos, paraliza de forma inmediata el proceso productivo.

Para mitigar esta problemática y transitar desde el mantenimiento reactivo hacia una estrategia más proactiva, este trabajo plantea como objetivo el desarrollo de una propuesta de plan de mantenimiento al equipo crítico basado en la metodología RCM. Para cumplir este propósito, se analizarán las funciones y modos de falla del activo que resulte ser el más crítico del proceso. La implementación de esta propuesta permitirá elevar la disponibilidad y el rendimiento de la línea, lo que se traducirá en un incremento directo del indicador OPI y en el fortalecimiento de la confiabilidad global de la línea.

Con el fin de estructurar metodológicamente esta solución, el estudio comienza con la contextualización detallada de la empresa y la realidad de sus procesos. A continuación, se presentan los antecedentes generales de la planta y se analizan los registros de fallas, proporcionando el soporte técnico necesario para identificar y seleccionar el equipo crítico.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mantenimiento a equipo crítico, utilizando herramientas del RCM, aumentando así su disponibilidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar la situación actual, mediante el análisis de un diagrama de dispersión logarítmica, determinando el equipo crítico.
2. Describir el equipo crítico y realizar análisis de modos, efectos y criticidad de falla. Identificando los modos de falla más relevantes.
3. Seleccionar actividades de mantenimiento, evaluando técnica y económicamente la propuesta de plan de mantenimiento.

1 ANTECEDENTES GENERALES Y SELECCIÓN DEL EQUIPO
CRÍTICO

1.1 EMPRESA

Es una empresa embotelladora dedicada a la elaboración y comercialización de bebidas de fantasía analcohólicas carbonatadas, bebidas refrescantes a base de frutas, bebidas para deportistas y agua purificada. Contempla la etapa de inyección de la preforma, soplado, recepción de materias primas, fabricación de jarabe, embotellado, etiquetado, almacenamiento y despacho a los clientes. Cuenta con dos plantas a lo largo de Chile, una en la Región Metropolitana, Quilicura y otra en la VII Región, Colbún. Fabrica productos de marcas como: Piri, Acuenta, Ship, Tottus, Cuisine & Co, Lider, Menos es más, Liv, Cyro Punch, Ironade, El Olivo, E Long.

La planta de Santiago cuenta con 3 líneas productivas, la línea 2 produce solo bebidas carbonatadas, de 500 ml, 2 y 3 L, con una capacidad de 35,2 millones de litros anualmente. La línea 3 produce jugos, aguas saborizadas e isotónicas, de 330 ml, 500 ml, 1,6 y 2 L, con capacidad anual de 19,8 millones de litros. La línea 4 produce solo bidones de agua purificada de 6 L, con capacidad anual de 21,2 millones de litros.

Los turnos de trabajo establecidos por la empresa son 3 diarios, de 7,5 horas cada uno.



Figura 1-1, Líneas productivas Embotelladora Metropolitana S.A.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación, se presentan las diferentes etapas del proceso de embotellado que se realizan en la planta:

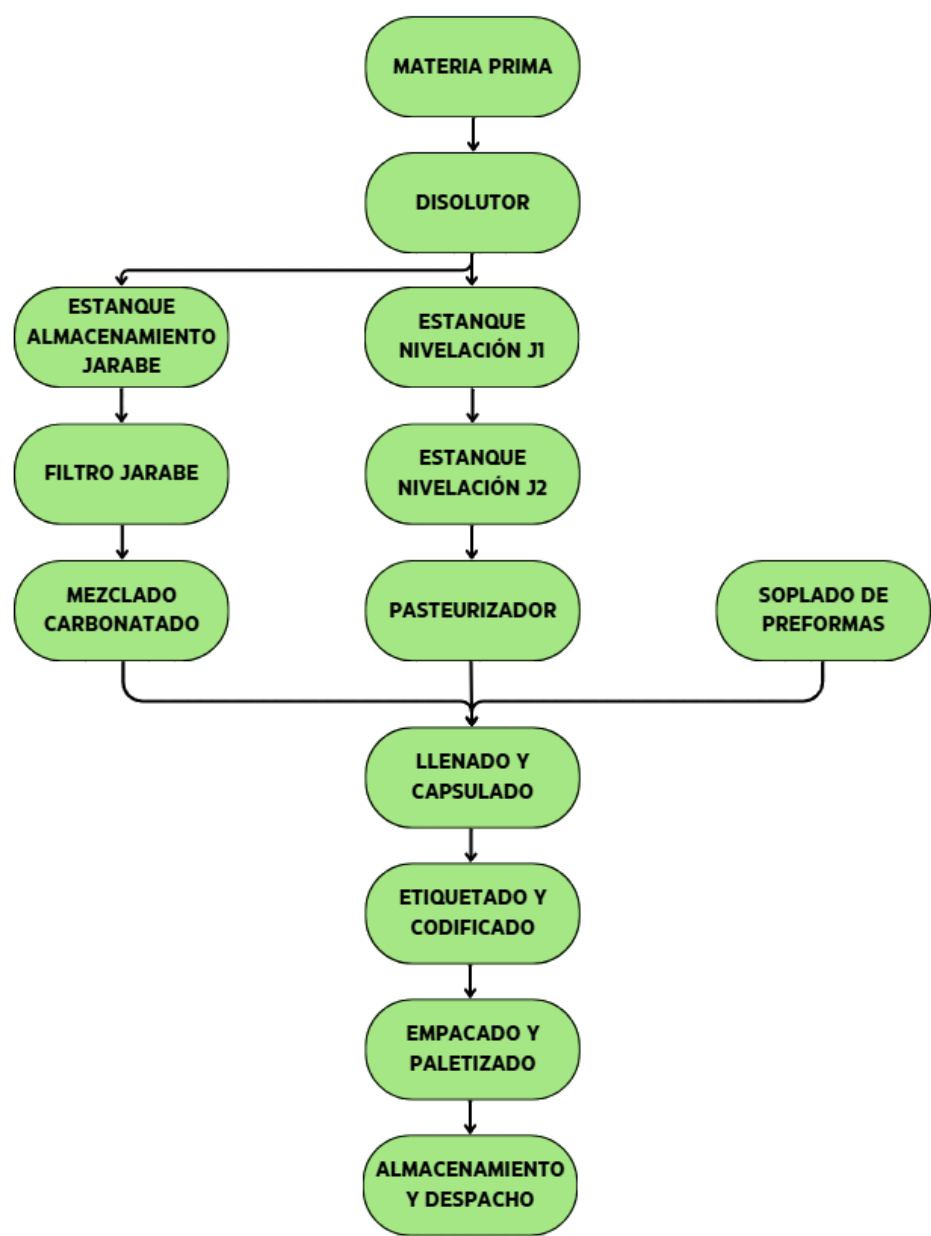


Figura 1- 2, Diagrama de flujo del proceso de embotellado de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

BEBIDAS DE FANTASÍA CARBONATADAS Y NO CARBONATADAS **(LÍNEA 2 Y LÍNEA 3)**

1.2.1 Recepción y almacenamiento de materias primas:

Una vez que llegan las materias primas y embalajes son recepcionadas por el encargado de la bodega de insumos, en esta etapa se chequea la carga para verificar si se ajusta a la respectiva orden de compra, se verifica cantidad y calidad según procedimiento escrito.

1.2.2 Disolutor:

Este consta de un estanque de acero inoxidable de 1.000 L. con terminaciones sanitarias de acuerdo a norma NCH 184, su función es mezclar y cohesionar los diferentes elementos químicos que componen el producto final, está acompañado de una bomba de impulsión directa. Luego, para la línea 2, se transporta al estanque de almacenamiento de jarabe, y para la línea 3 se transporta a estanque de nivelación.

1.2.3 Estanque de almacenamiento de jarabe:

Lo obtenido en el disolutor llega a estos estanques de jarabe, que son de capacidad de 12.500, 13.500 y 16.000 L. los cuales son aforados para llegar al volumen deseado de acuerdo a formulación. Una vez homogenizada la mezcla, se toma una muestra para efectuar un análisis Físico-Químico, comparando los valores con un patrón aprobado. El almacenamiento de los jarabes en los estanques es de 5 días máximo

1.2.4 Filtro de jarabe:

En esta etapa se realiza un filtrado mecánico del jarabe antes de su distribución a las líneas de producción, estos son de acero inoxidable con una apertura de malla de 0.5 mm

1.2.5 Mezclado Carbonatado:

Durante esta etapa se produce la mezcla agua-jarabe, en proporción 5:1, una bomba envía la mezcla hacia el carbonatador, lugar de unión de la solución más el gas carbónico.

1.2.6 Estanque Nivelación J1:

Lo obtenido en el disolutor llega a estanques de nivelación, que son de capacidad de 11.000 L. los cuales son aforados a 10.000 L. Una vez homogenizada la mezcla, se toma una muestra para efectuar un análisis Físico-Químico, comparando los valores con un patrón aprobado.

1.2.7 Estanque Nivelación J2:

Aprobada la mezcla se traspa a un estanque de acumulación con capacidad 11.000 L. desde donde se alimenta el sistema de pasteurización y llenado, con objetivo de mantener una alimentación continúa al proceso. Ante alguna detención de línea de llenado, estanque pulmón recibe retorno de mezcla desde sistema de pasteurización de manera evitar su sobreexposición a temperatura.

1.2.8 Pasteurizador:

La pasteurización es un proceso térmico realizado con la intención de disminuir las poblaciones patógenas de microorganismos o para desactivar las enzimas que modifican los sabores. No obstante, en la pasteurización se emplea temperatura por debajo del punto de ebullición, ya que en la mayoría de los casos las temperaturas superiores a este valor afectan irreversiblemente ciertas características físicas y químicas del producto. La pasteurización realizada es un proceso industrial continuo a una temperatura mínima de 90°C durante un período de 30 segundos. El equipo es un pasteurizador de placa marca Alfalaval de una capacidad 7.000 L/h.

1.2.9 Llenado:

Una vez enjuagada la botella esta entra al equipo llenador donde se produce el vaciado por gravedad del líquido al envase, previo a un alivio de la presión de cabeza la botella, posteriormente se descuelga para ser entregada al equipo capsulador. En la línea 2, existen dos máquinas llenadoras de bebidas, la número uno es una máquina marca FEIJOO, modelo FM 24286, año 2005, con capacidad de llenado de 7.800 L/h. y 28 válvulas, la número dos es una máquina marca FEIJOO, modelo FM 24286, año 1974 con capacidad de llenado de 9.000 L/h. y 28 válvulas. Tanto la máquina N°1 y N°2 son monoblock, es decir, es enjuagadora, llenadora, capsuladora.

En la línea 3, existe 1 máquina llenadora de bebidas, es una máquina marca FEIJOO, modelo 406012 con capacidad de llenado de 7.000 L/h. y 60 válvulas, Es un equipo monoblock, es decir, es enjuagadora, llenadora, capsuladora.

1.2.10 Capsulado:

En este proceso la botella ya llena es roscada con una tapa adecuada al envase no retornable con un nivel de torque según especificación del fabricante entre 12 y 20 lb/pulg² con tapa Sinea.

1.2.11 Etiquetado:

La botella llena es transportada mediante una cinta hasta el equipo etiquetador, máquina que envuelve el envase con una etiqueta acorde con el jarabe envasado.

Existen 2 modelos de etiquetadoras, para la línea 2, etiquetadora marca Krones, alemana, año 2002, modelo C745-18M, del tipo envolvedora de traspaso por tambor de pinza de la serie contiroll. Para la línea 3, etiquetadora marca Krones, Alemana, año 2005 modelo C745-17M, del tipo envolvedora de traspaso por tambor de pinza de la serie contiroll.

1.2.12 Codificado:

La botella una vez llena y etiquetada pasa frente al equipo codificador, marca Linx 4900, esta máquina tiene por función imprimir el envase o tapa mediante inyección de tinta el mensaje ingresado. En este punto además, existe una pantalla provista de tubos fluorescentes cuya función es permitir al operario destinado allí, inspeccionar el producto final, retirando todo aquel que no cumpla con algunos de los requerimientos especificados. La codificación consiste en fecha de elaboración o de vencimiento, hora y lote.

1.2.13 Empacado:

El producto individualmente terminado es agrupado en 4, 6 y 12 (dependiendo del formato) unidades y empacado con polietileno termo-contráible, el paquete pasa a través de un horno para darle sujeción final.

1.2.14 Paletizado:

Los paquetes se estiban sobre un pallet de madera en una configuración preestablecida según formato y marca, separando cada nivel con planchas de cartón. Una vez terminado el pallet es envuelto en politráctil. Después de envuelto el pallet se pone una tarjeta que identifica el N° correlativo de pallet, el turno, jefe de turno, control de calidad, fecha y N° de Lote.

1.2.15 Almacenamiento:

El pallet envuelto es transportado hacia bodega de producto terminado y acopiado en el sector que corresponde a su formato y marca.

1.2.16 Despacho:

Dependiendo de los requerimientos del cliente se baja una orden de compra por comercionet, se emite una orden de carga y se envía a facturación, luego de facturación se recibe la orden de compra, orden de carga, y factura, con estos se entrega a bodega para despacho, el encargado de bodega revisa el producto según instructivo y aplica el FIFO correspondiente.

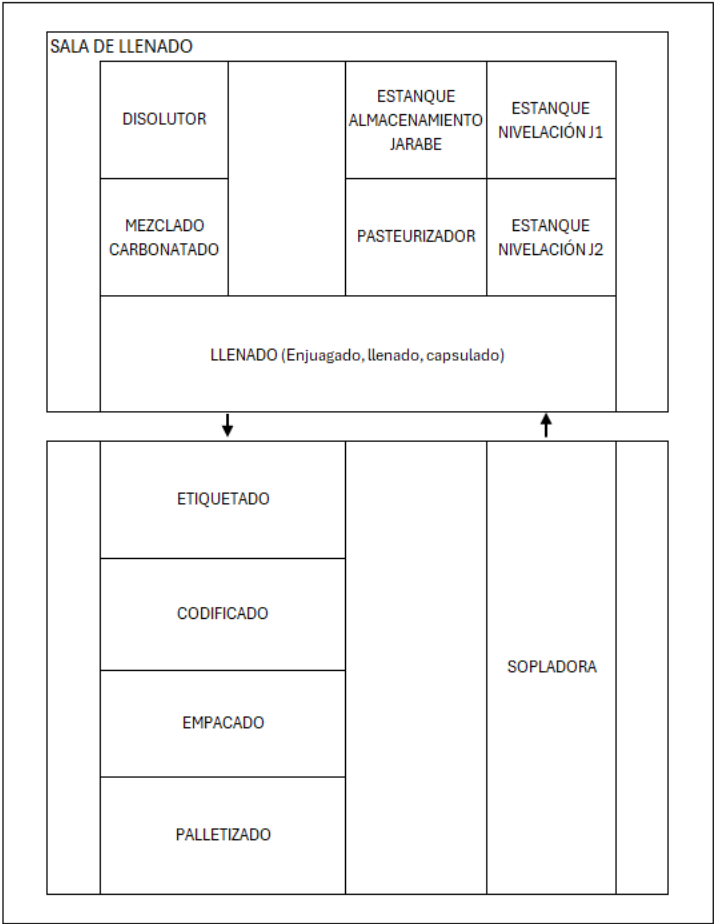


Figura 1-3, Layout de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

1.3 **PROBLEMÁTICA**

Dado que la empresa cuenta con registros de las últimas 15 semanas sobre la producción real y esperada de las distintas líneas de producción, se determinó el promedio semanal para cada línea, el cual se ve reflejado en la siguiente tabla:

Línea	Producción Esperada (unid./semana)	Producción Real (unid./semana)
2	491.867	386.900
3	159.025	133.664
4	122.083	108.686

Tabla 1-1, Producción Esperada vs Producción Real.

Fuente: Datos de la empresa.

A partir de los datos expuestos, se evidencia que ninguna de las líneas de producción logra alcanzar los volúmenes programados durante el periodo evaluado. En particular, la línea 2 presenta la mayor brecha entre la producción real y esperada, esto se debe principalmente a que concentra la mayor demanda de la planta, al ser la línea que produce gaseosas. Esta exigencia comercial, sumada a los turnos programados de producción, obliga a operar la línea al límite de su capacidad, haciendo que cualquier ineficiencia operacional o falla funcional impacte sobre el volumen final de productos terminados.

Esta planta solo utiliza un tipo de indicador para medir el desempeño operativo, el OPI (Operational Performance Indicator), este determina la eficiencia de las líneas de producción, mediante el producto de dos factores clave: disponibilidad y rendimiento.

$$OPI = Disponibilidad \times Rendimiento$$

La disponibilidad se enfoca en el tiempo que estuvo efectivamente produciendo en comparación con el tiempo programado. Este factor se ve penalizado de forma directa por las detenciones no programadas de los equipos y cambios de formato o ajustes. Por otra parte, el rendimiento evalúa el volumen de producto real frente al esperado a velocidad nominal de diseño, este factor es afectado por las microdetenciones y la operación a velocidad reducida.

A continuación, en base a los datos de producción, se obtienen los siguientes resultados de OPI:

Línea	OPI Prog.	OPI Real
2	50,48%	39,71%
3	33,81%	28,41%
4	48,45%	43,13%

Tabla 1-2, OPI Programado VS OPI Real.

Fuente: Elaboración propia.

Para comprender el origen de estos porcentajes tan bajos, primero se debe calcular la Capacidad Teórica Máxima de cada línea, es decir, cuántas unidades fabricaría si operara las 168 horas de la semana (24/7) a su velocidad nominal. Los porcentajes se obtienen dividiendo la producción esperada y real por esta base. Cabe destacar que el OPI programado no corresponde a una meta de eficiencia, sino que deriva del volumen planificado para la línea. En el caso de la línea 2, las 491.867 unidades esperadas requieren 84,8 horas de producción a cadencia nominal, equivalentes al 50,48% de las 168 horas semanales.

$$OPI\ Programado = \frac{Producción\ Esperada}{Capacidad\ Teórica\ Máxima}$$

$$OPI\ Real = \frac{Producción\ Real}{Capacidad\ Teórica\ Máxima}$$

Este indicador, al utilizar como referencia el tiempo total de calendario, corresponde al concepto de TEEP (Total Effective Equipment Performance), utilizado en la industria manufacturera para evaluar el aprovechamiento de la capacidad instalada. Bajo dicho marco, el OPI Programado corresponde al factor de utilización, mientras que el OPI Real refleja el aprovechamiento efectivo del calendario. La diferencia respecto a la definición estándar radica en que el OPI empleado por la planta considera únicamente los factores de disponibilidad y rendimiento, excluyendo el factor de calidad.

Por otro lado, para determinar la eficiencia real de las líneas durante las horas efectivas de producción, se introduce el indicador de OPI efectivo, obtenido como la razón entre OPI real y OPI programado, indicando los siguientes valores:

Línea	OPI Efectivo
2	78,66%
3	84,05%
4	89,03%

Tabla 1-3, OPI Efectivo por línea de producción.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien este cociente equivale a la razón entre producción real y producción esperada, ya que la capacidad teórica máxima se cancela en la división. Dicho valor se interpreta como el nivel de cumplimiento del programa de producción. Dado que la producción esperada representa el volumen alcanzable a cadencia nominal durante las horas planificadas, toda diferencia respecto a ella corresponde a pérdidas por disponibilidad y rendimiento. Por lo tanto, el OPI efectivo mide la eficiencia operacional de la línea durante las horas destinadas a producción.

Al analizar este conjunto de indicadores, se evidencia una normalización de las pérdidas dentro de la planta. La meta de producción semanal se establece sin descontar las pérdidas operacionales, mientras que los compromisos comerciales se sitúan por debajo de dicha meta. Ese margen permite absorber las pérdidas sin afectar el cumplimiento con los clientes. De esta forma, la ineficiencia no se traduce en un incumplimiento visible de la demanda, transformando el bajo rendimiento en un estándar aceptado.

En la actualidad, la planta depende exclusivamente del mantenimiento correctivo, esto significa que se espera a que un equipo falle para recién ejecutar una intervención. Esta dependencia absoluta genera impactos negativos, tales como costos imprevistos y elevados, reducción de la vida útil de los equipos y mayores tiempos de inactividad. Estos problemas son sumamente críticos en líneas de producción, ya que la falla de un solo equipo, al no existir redundancia, puede provocar un paro total de la línea, impactando de forma directa en la disponibilidad del sistema y afectando la eficiencia operacional de la planta.

Con el fin de eliminar las pérdidas normalizadas, mitigar el impacto del mantenimiento correctivo y transitar hacia una estrategia más proactiva, la metodología RCM (Reliability Centered Maintenance) se presenta como una solución óptima. Esta estrategia se aplicará sobre el equipo más crítico de las líneas de producción, priorizando la línea 2 debido a su alta demanda y a que registra la mayor ineficiencia operativa, con un valor de 21,34%

La implementación de un plan de mantenimiento proactivo permitiría mejorar la confiabilidad de los equipos. Esta mejora impactaría positivamente en la disponibilidad y rendimiento de las líneas, lo que contribuiría directamente a elevar el OPI. Esta estrategia se proyecta como una oportunidad de mejora a largo plazo que permitiría aumentar la capacidad de producción, preparando a la planta para futuros aumentos en la demanda.

Como primer paso se utilizarán los registros históricos de detenciones de la planta, el análisis de estos datos permitirá determinar el equipo más crítico en este momento, definiendo el punto de partida para la implementación de esta metodología.

1.4 SELECCIÓN DE EQUIPO CRÍTICO

Para la selección del equipo crítico se utilizarán datos facilitados por la empresa, correspondientes a 15 semanas, en los cuales se describen las distintas fallas en los equipos y sus tiempos de duración. Esto permitirá realizar una planilla Excel para analizar la cantidad de fallas por equipo, la indisponibilidad acumulada y el tiempo promedio fuera de servicio (TPFS).

La utilización del TPFS como indicador se justifica debido a los registros disponibles, los cuales corresponden a tiempos totales de detención y no a tiempos de reparación (MTTR). De este modo, el TPFS refleja el impacto operacional de cada evento de falla, incluyendo los tiempos de logística, ejecución del trabajo y puesta en marcha.

A continuación, se muestra la tabla creada en base a los datos recopilados:

EQUIPOS	FALLAS	INDISPONIBILIDAD ACUMULADA (MIN)	TIEMPO PROMEDIO FUERA DE SERVICIO (TPFS) (MIN)
EMPACADORA	16	1319	82
LLENADORA	9	450	50
ETIQUETADORA	13	717	55
SBO-6	32	3619	113
SBO-4	16	1825	114
SBO-2	2	130	65
COMPRESOR	1	30	30
COMPRESOR AMONIACO	2	84	42

Tabla 1-4, Datos para elaboración de diagrama de dispersión logarítmica.

Fuente: Elaboración propia.

DIAGRAMA DE DISPERSIÓN LOGARÍTMICA (JACK KNIFE).

La selección del equipo crítico se llevará a cabo mediante la técnica de jerarquización que utiliza la dispersión logarítmica y el uso de la isoindisponibilidad, conocida como Jack knife. Consiste en un gráfico que por lo general utiliza el eje “X” para representar la cantidad de eventos de falla y el eje “Y” para el tiempo promedio fuera de servicio.

Se divide en cuatro cuadrantes, donde se pueden clasificar como zona de control, crónico (alta frecuencia y bajo TPFS), agudo (baja frecuencia y alto TPFS) y agudo crónico (alta frecuencia y alto TPFS). De este modo, la ubicación de cada equipo dentro del diagrama determina su nivel de criticidad.

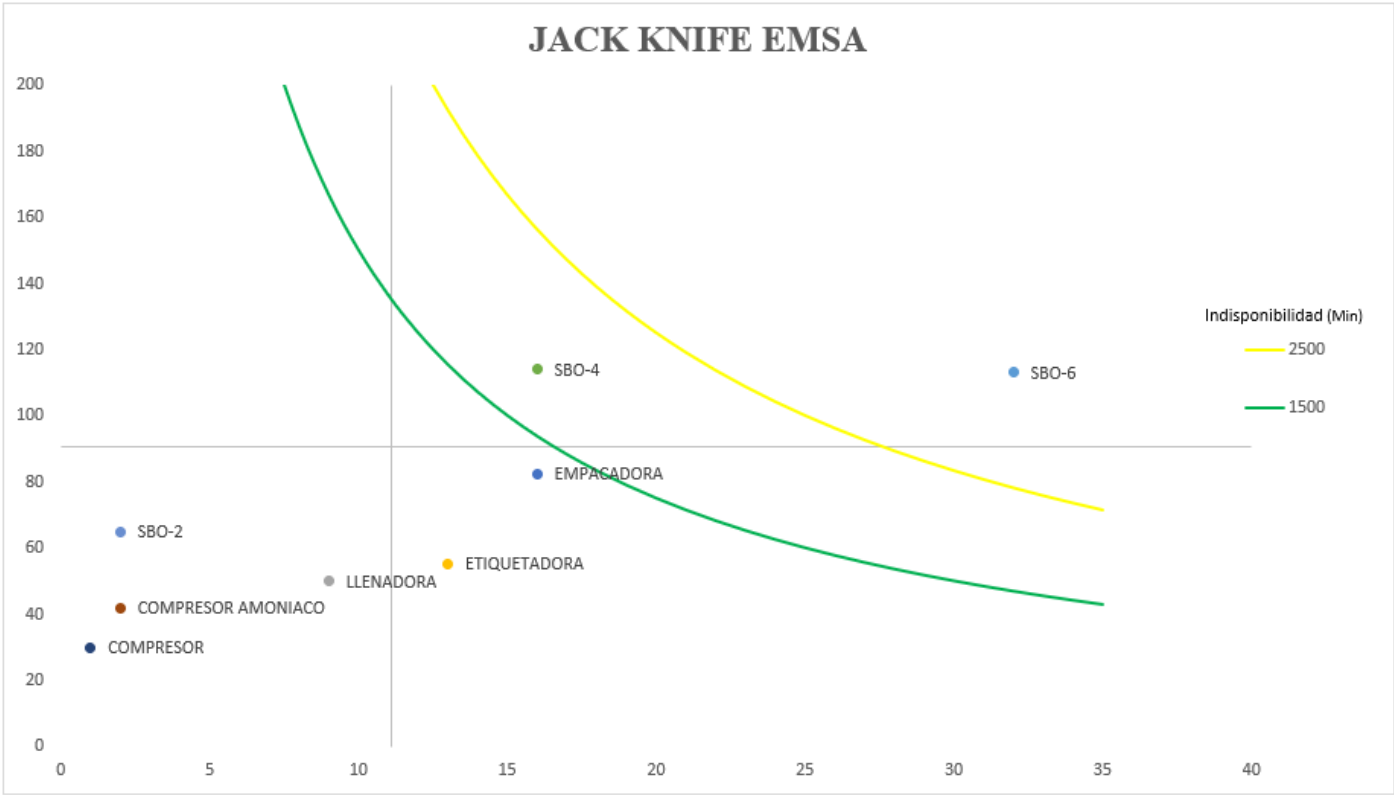


Figura 1-4, Diagrama de dispersión logarítmica para la selección del equipo crítico.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del diagrama expuesto, se observa que los activos identificados como críticos corresponden a la sopladora SBO-4 con una indisponibilidad de 1.825 minutos y a la SBO-6 con una indisponibilidad de 3.619 minutos durante las 15 semanas evaluadas. Ambos equipos dan inicio al proceso de embotellado en las líneas 2 y 3, teniendo como función el soplado y moldeo de las preformas para producir las botellas que serán transportadas hacia la sala de llenado. Por lo tanto, la confiabilidad de estos equipos es clave para la eficiencia general de las líneas de producción. Finalmente, este trabajo se enfocará en la SBO-6, correspondiente a la línea 2, por ser el activo que registra la mayor indisponibilidad acumulada dentro del período evaluado.

DISPONIBILIDAD SBO-6

Para determinar la situación actual del equipo, se considera el tiempo promedio programado de operación semanal de 84,8 horas, obtenido a partir del cociente entre la producción esperada y la cadencia nominal de producción. Al proyectar este valor al horizonte de evaluación de 15 semanas, se establece un tiempo programado total de 1.272 horas. Durante este periodo se registraron 32 fallas con un TPFS de 1,88 horas, acumulando una indisponibilidad total de 60,32 horas.

Al restar la indisponibilidad al tiempo programado, se obtiene un tiempo de operación real de 1.211,68 horas. Con este valor, se determinó un Tiempo Medio Hasta la Falla (MTTF) de 37,87 horas. Posteriormente, a partir de la suma del MTTF y el TPFS, se obtuvo un Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de 39,75 horas, definiendo el ciclo promedio transcurrido entre la aparición de una falla y la siguiente.

$$A = \frac{MTTF}{MTBF}$$

Finalmente, al relacionar estos indicadores clave, se determina que la sopladora SBO-6 presenta una disponibilidad operativa de 95,26%. Este resultado permite cuantificar que el impacto directo de la sopladora en la indisponibilidad de la línea 2 es de un 4,74%, lo que significa que bajo condiciones de rendimiento constante e ideal, el 22,22% de las pérdidas totales por ineficiencia corresponden exclusivamente a este equipo. La baja confiabilidad de la sopladora constituye una de las principales causas de las pérdidas de disponibilidad en la línea.

	Escenario Actual
Hrs. Progr.	1272
Nº Fallas	32
TPFS	1,88
Indisp. Acum.	60,32
MTBF	39,75
MTTF	37,87
Disponibilidad	95,26%

Tabla 1-5, Disponibilidad actual SBO-6.

Fuente: Elaboración propia.

Ante este escenario, la propuesta de plan de mantenimiento busca mediante la reducción de las fallas funcionales, elevar el MTBF y la disponibilidad del equipo. Esto permitirá maximizar la producción ante futuros incrementos en la demanda y establecer una estrategia que puede ser replicada en el resto de los activos de la planta.

2 **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CRÍTICO Y ANÁLISIS DE MODOS.**
EFFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA.

2.1 DESCRIPCIÓN SOPLADORA SBO-6

La SBO-6 es una máquina que se dedica al moldeo por soplado de las preformas, diseñada para la producción de botellas de PET (Tereftalato de polietileno). Este equipo es crucial en la línea de producción de embotellado, debido a su capacidad de producir grandes volúmenes de botellas con alta eficiencia y calidad.

Cuenta con un sistema de alimentación que facilita la carga continua de las preformas para su posterior transferencia a la unidad de acondicionamiento térmico (Horno). Durante esta etapa, son invertidas y transportadas con el cuello hacia abajo frente a las unidades de calefacción, en este trayecto las preformas son rotadas para lograr un calentamiento homogéneo, mientras sus cuellos permanecen protegidos del calor para evitar deformaciones.

Al salir de la unidad de acondicionamiento térmico, son transferidas a la rueda de soplado mediante una rueda de transferencia. La rueda de soplado contiene 6 moldes, estos se abren y cierran mediante levas fijas y son enfriados internamente por circulación de agua.

El proceso de soplado se realiza en dos etapas, un pre-soplado a presión media (entre 8 y 12 bar) y un soplado a alta presión (40 bar), lo que asegura una distribución óptima del espesor de la pared de la botella.

Finalmente, las botellas terminadas son descargadas de la rueda de soplado por medio de una rueda estrella de salida, que las transfiere hacia el sistema de transporte aéreo que conecta directamente con la sala de llenado.

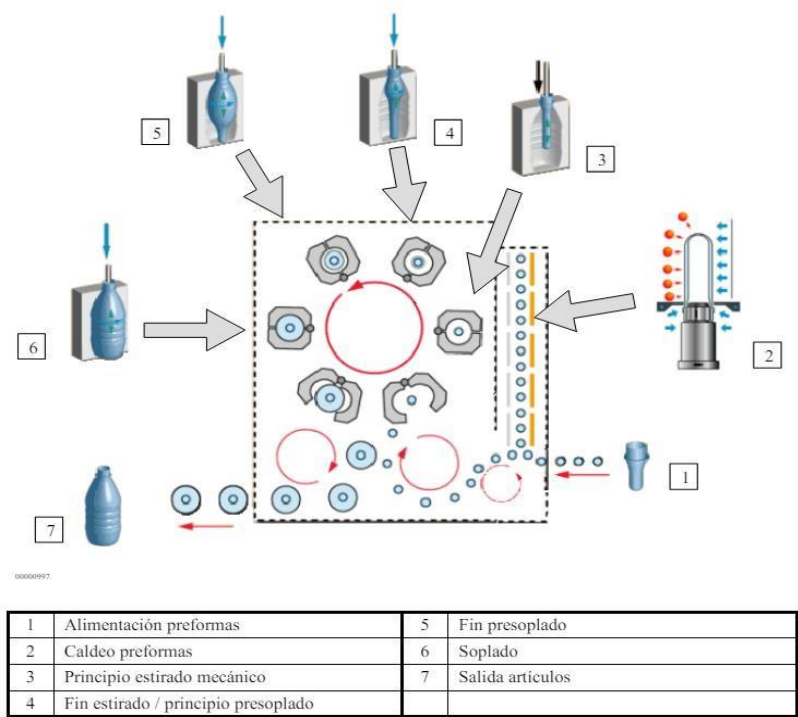


Figura 2-1, Ciclo del proceso de soplado.

Fuente: Manual del equipo.

2.2 CONTEXTO OPERACIONAL

El contexto operacional detalla las condiciones específicas de funcionamiento y los parámetros de control bajo los cuales opera la sopladora SBO-6 dentro de la planta. La cadencia nominal de operación es de 5.800 botellas/h, lo que representa la velocidad requerida para mantener el flujo continuo de la línea y satisfacer la demanda de la llenadora, sin generar tiempos muertos por desabastecimiento.

Para asegurar la calidad del producto final, el equipo opera bajo dos variables críticas. La primera es la temperatura de calentamiento de preformas regulada entre 70 y 75 °C, rango necesario para garantizar la correcta maleabilidad de la preforma antes del soplado. La segunda es la inyección de aire comprimido a alta presión dentro de un rango de 38 a 40 bar, presión requerida para la correcta formación geométrica de la botella en el molde.

2.3 SISTEMAS DE SOPLADORA SBO-6

Los sistemas que componen esta máquina y hacen posible el proceso de soplado son los siguientes: circuito aire 40 bar, circuito aire 7 bar, circuito hidráulico, sistema transmisión, sistema alimentación, sistema horno y sistema soplado. A continuación, se analizarán los sistemas con mayor profundidad.

2.3.1 Circuito aire 40 bar

El circuito aire 40 bar asegura la regulación, filtración y distribución del aire a alta presión necesarios para el soplado de las preformas.

Funcionamiento

Sistema de Regulación/Filtración

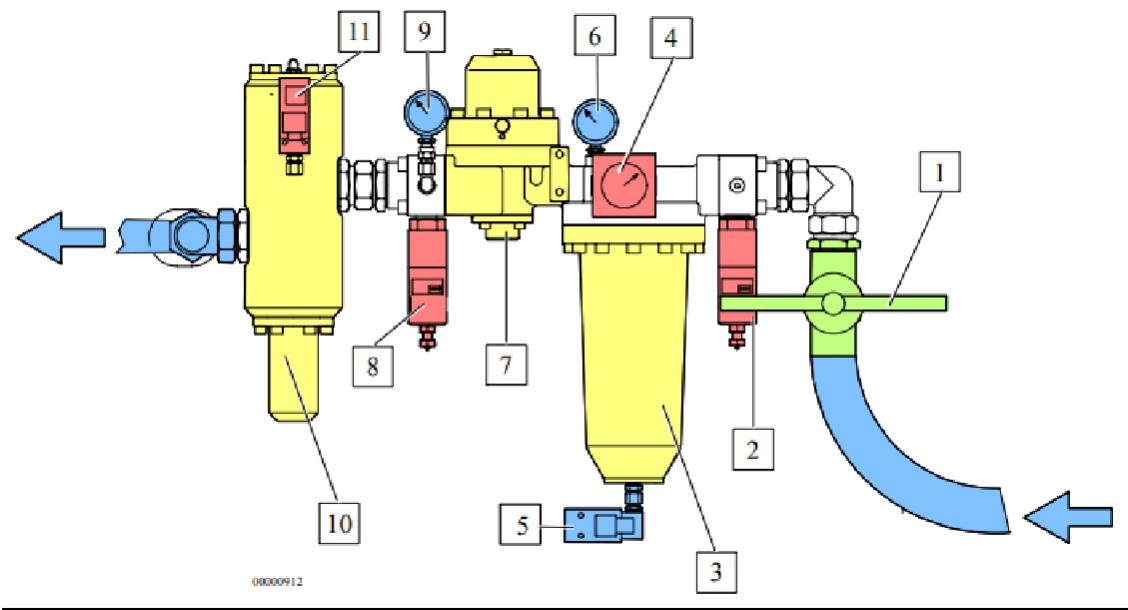


Figura 2-2, Sistema de regulación/filtración Circuito aire 40 bar.

Fuente: Manual del equipo.

- El cuadro neumático alta presión (40 bar) asegura la regulación / filtración red cliente antes de la alimentación de la máquina.
- La válvula de mando manual (1) permite la abertura / cierre del circuito antes de la regulación
- La válvula de seguridad (2) pone al aire libre el circuito en caso de sobrepresión (50 bar) antes de la regulación.
- El filtro (3) retiene las partículas indeseables.
- El indicador (4) informa al técnico sobre el nivel de atasco del filtro (3).
- El purgador (5) permite la evacuación de los condensados acumulados en torno al filtro (3).
- El manómetro (6) informa al técnico sobre la presión en el circuito antes de la regulación.
- El regulador (7) permite el ajuste de la presión de servicio.
- La válvula de seguridad (8) pone el circuito al aire libre en caso de sobrepresión (42 bar) después de la regulación.
- El manómetro (9) informa al técnico sobre la presión en el circuito después de la regulación.
- La válvula de mando neumática (10), pilotada por el autómatas, permite la abertura / cierre del circuito después de la regulación.
- El presostato (11) controla la presión en el circuito después de la regulación.

Sistema de Distribución

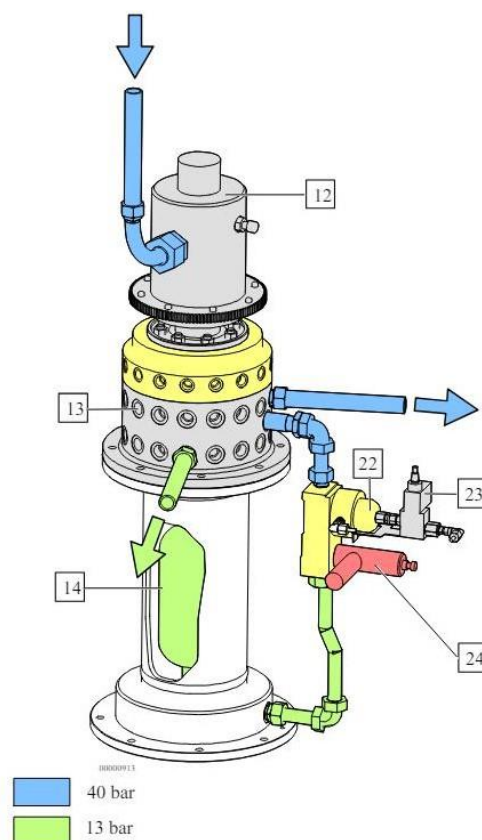


Figura 2-3, Sistema de distribución Circuito aire 40 bar.

Fuente: Manual del equipo.

La parte central de llegada de aire asegura la conexión neumática (40 y 7 bar) entre la parte fija y la parte móvil de la rueda de soplado, y distribuye las presiones de soplado, pre-soplado y mando en los puestos de soplado.

- El racor giratorio (12) (parte fija) asegura la hermeticidad dinámica del circuito alta y baja presión.
- El distribuidor (13) (parte móvil) asegura la repartición de las presiones en cada puesto.
- La reserva (14) ofrece la capacidad de aire necesaria al pre-soplado de las botellas.
- El reductor (22), asociado a la válvula de regulación (23) reduce la presión de soplado (40 bar) en presión de pre-soplado (13 bar) y alimenta la reserva (14).
- La válvula de seguridad (24) pone el circuito en aire libre en caso de sobrepresión después de la regulación.

Descripción

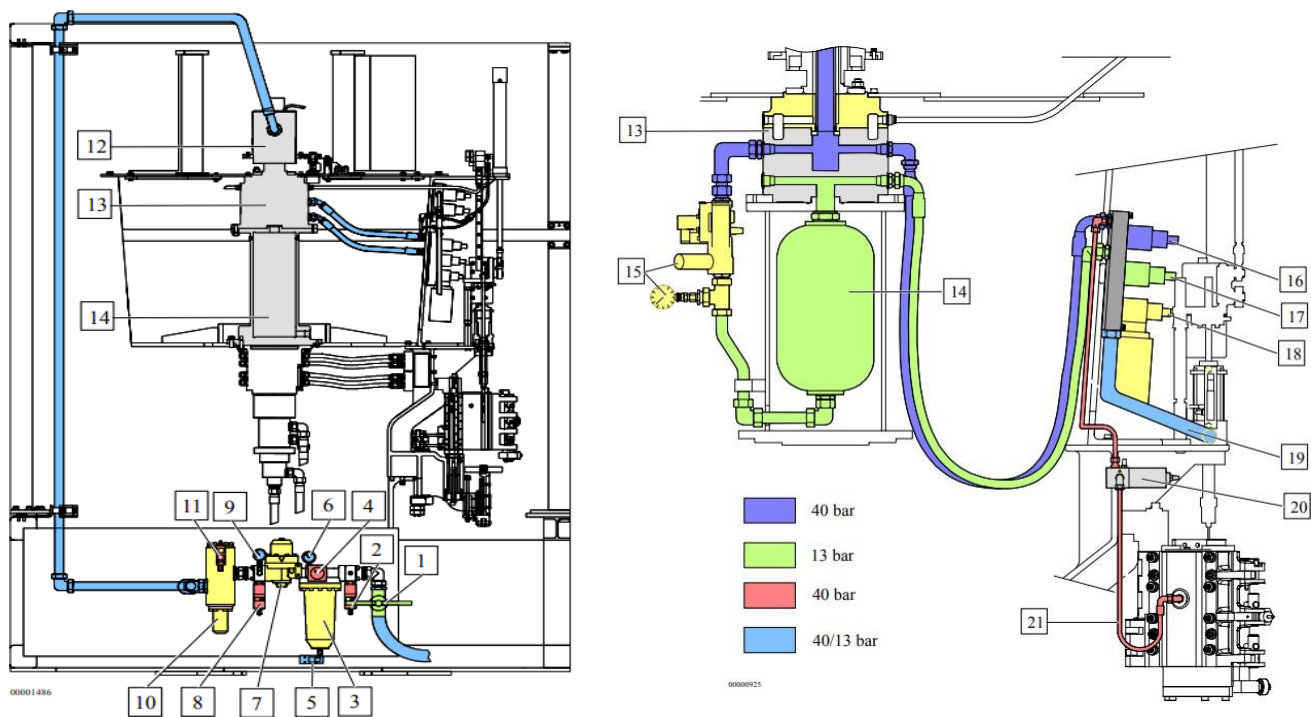


Figura 2-4, Descripción Circuito aire 40 bar.

Fuente: Manual del equipo.

Componentes

1	Válvula de alimentación manual
2	Válvula de seguridad 50 bar
3	Filtro
4	Indicador de atasco filtro
5	Purgador de condensado
6	Manómetro de presión de entrada
7	Regulador de presión
8	Válvula de seguridad 42 bar
9	Manómetro de presión de salida
10	Válvula de alimentación neumática
11	Presostato
12	Racor giratorio
13	Distribuidor
14	Reserva de aire presoplado
15	Línea de reducción 40/13 bar
16	Electroválvula de soplado
17	Electroválvula de presoplado
18	Electroválvula de desgasificación
19	Alimentación presoplado-soplado
20	Electroválvula de compensación
21	Alimentación compensación
22	Reductor
23	Válvula de regulación
24	Válvula de seguridad

Tabla 2-1, Componentes Circuito de aire 40 bar.

Fuente: Manual del equipo.

2.3.2 Circuito aire 7 bar

El circuito aire 7 bar asegura la regulación, filtración y distribución del aire a baja presión necesaria para el aire de los cilindros.

Funcionamiento

Sistema de regulación/filtración

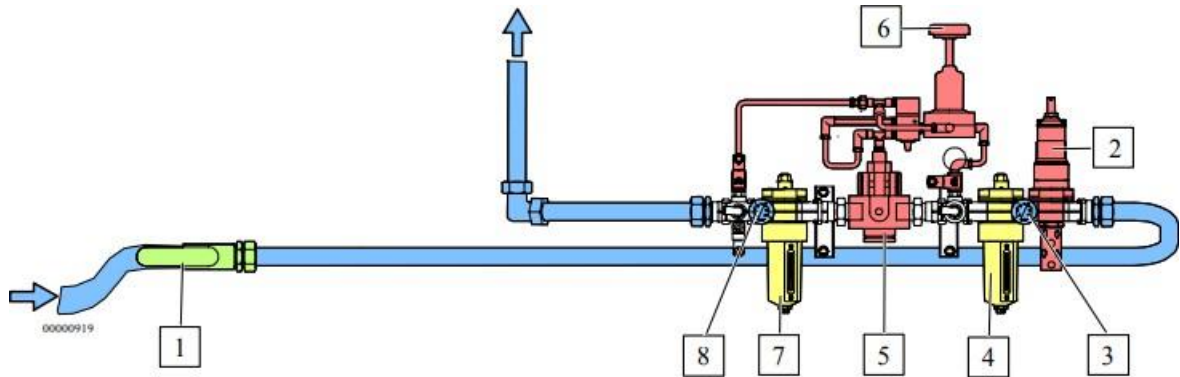


Figura 2-5, Sistema de regulación/filtración Circuito aire 7 bar.

Fuente: Manual del equipo.

El panel neumático baja presión (7 bar) asegura la regulación y la filtración de la red cliente antes de la alimentación de la máquina.

- La válvula de mando manual (1) permite la abertura / cierre del circuito antes de la regulación.
- La válvula de seguridad (2) pone al aire libre el circuito en caso de sobrepresión (+10 bar) antes de la regulación.
- El manómetro (3) informa al técnico sobre la presión en el circuito antes de la regulación.
- El prefiltro (4) retiene las partículas indeseables hasta 40 micrones.
- El sistema de regulación (5) y su ruedecilla de ajuste (6) permiten el ajuste de la presión de servicio por pilotaje neumático.
- El filtro (7) retiene las partículas indeseables hasta 5 micrones.
- El manómetro (8) informa al técnico sobre la presión en el circuito después de la regulación.

Sistema de distribución

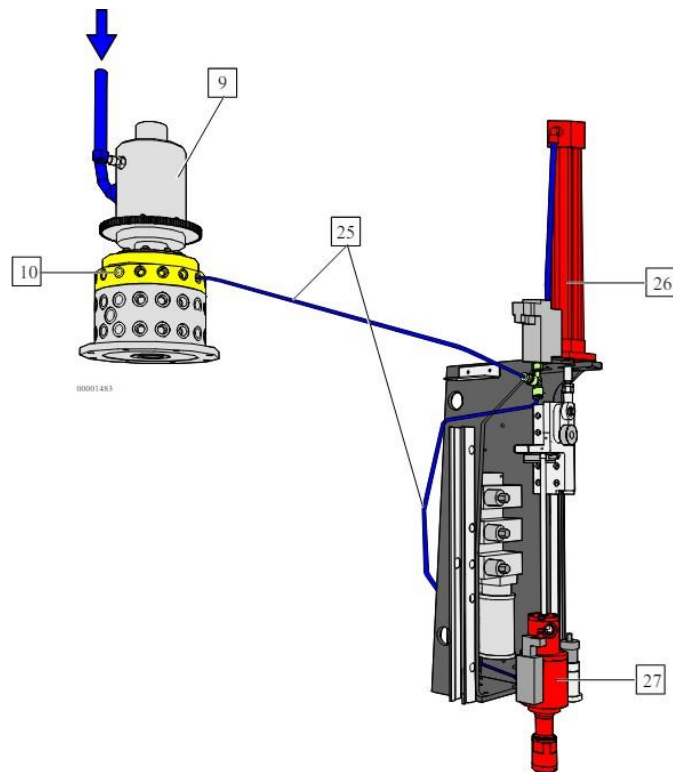


Figura 2-6, Sistema de distribución Circuito aire 7 bar.

Fuente: Manual del equipo.

La parte central de llegada de aire asegura la conexión neumática (7 bar) entre la parte fija y la parte móvil de la rueda de soplado y distribuye las presiones de mando en los puestos de soplado.

- El racor giratorio (9) (parte fija) asegura la hermeticidad dinámica del circuito neumático alta y baja presión.
- El distribuidor (10) (parte móvil) asegura la repartición de las presiones en cada puesto de soplado de la máquina.
- Los flexibles (25) alimentan los cilindros de elongación (26) y de tobera (27).

Descripción

Parte Giratoria

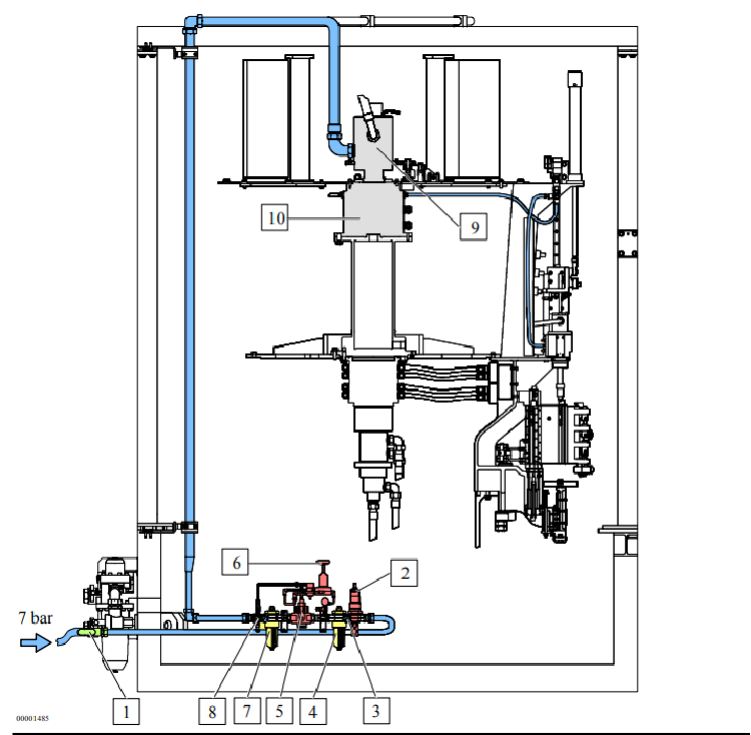


Figura 2-7, Descripción parte giratoria.

Fuente: Manual del equipo.

Parte fija

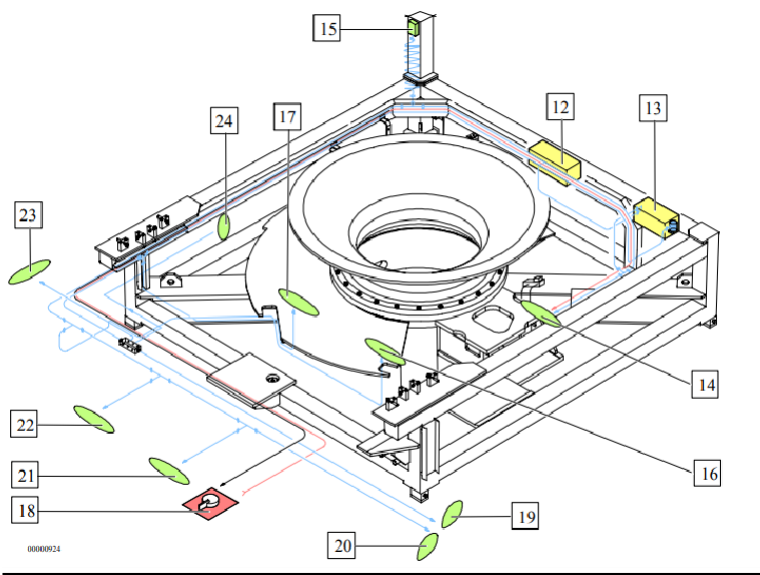


Figura 2-8, Descripción parte fija.

Fuente: Manual del equipo.

Componentes

1	Válvula manual de alimentación
2	Válvula de seguridad 10 bar
3	Manómetro de presión de entrada
4	Prefiltro 40 micrones
5	Sistema de regulación
6	Ruedecilla de reglaje
7	Filtro 5 micrones
8	Manómetro de presión de salida
9	Racor giratorio
10	Distribuidor
12	Panel neumático alta presión
13	Panel neumático baja presión
14	Freno
15	Toma de aire desmontaje fondo de molde
16	Leva subida fondo de molde
17	Leva de bajada fondo de molde
18	Mando de freno
19	Horno
20	Alimentación preformas
21	Eyección preformas
22	Eyección botellas
23	Salida botellas
24	Opción pulverizador

Tabla 2-2, Componentes Circuito de aire 7 bar.

Fuente: Manual del equipo.

2.3.3Circuito hidráulico

El circuito hidráulico asegura la regulación, filtración y distribución del fluido de enfriamiento y/o de calentamiento de los moldes, y enfriamiento del horno.

Funcionamiento

Sistema de regulación

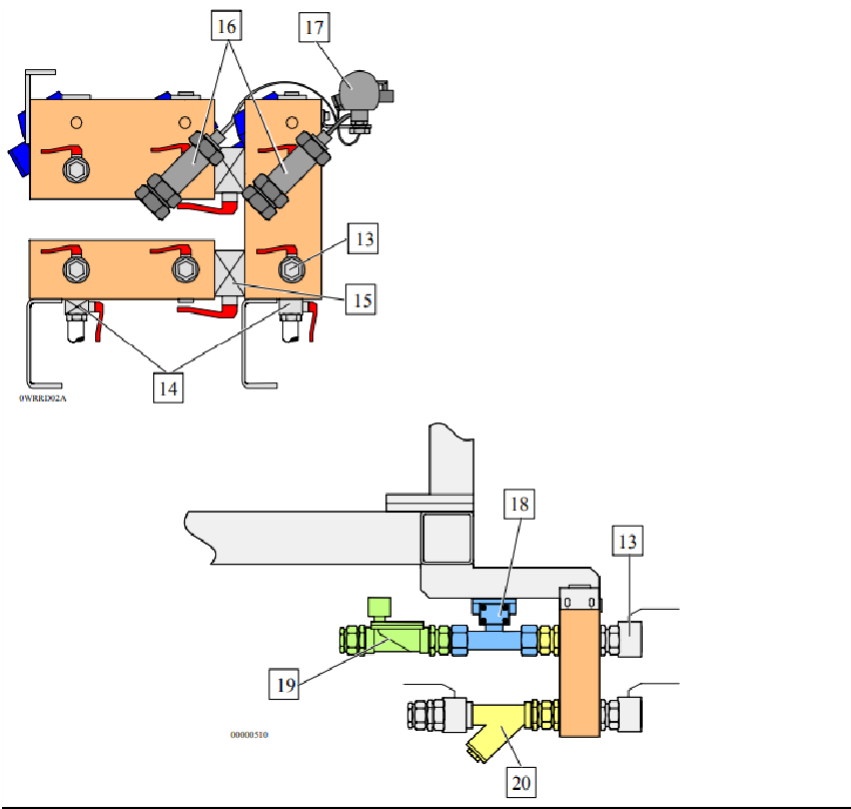


Figura 2-9, Sistema de regulación Circuito hidráulico.

Fuente: Manual del equipo.

El panel hidráulico asegura la regulación/filtración de la red antes de la alimentación en la máquina.

- Las válvulas de mando manual (13) permiten la abertura / cierre de los diferentes circuitos.
- Las válvulas de mando manual (14) permiten la purga independiente o global de los diferentes circuitos.
- Las válvulas de mando manual (15) aseguran la conexión entre los circuitos de calentamiento moldería.
- Las sondas (16) y los indicadores (17) permiten el control de la temperatura de los circuitos de calentamiento moldería.
- Los controladores de caudal (18) indican la cantidad de fluido transmitidos por los diferentes circuitos.
- Las electroválvulas (19) aíslan independientemente los circuitos en caso de incidentes (T°C, caudal...).
- Los filtros (20) retienen las partículas indeseables hasta 75 micrones.

Sistema de distribución

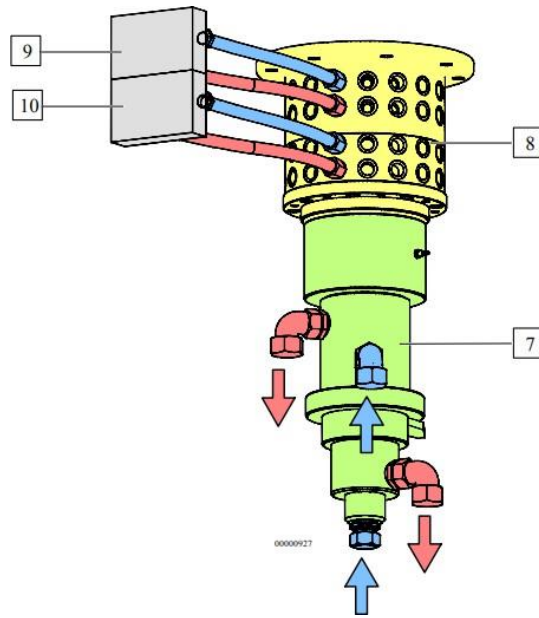


Figura 2-10, Sistema de distribución Circuito hidráulico.

Fuente: Manual del equipo.

La parte central de llegada de agua asegura la conexión hidráulica entre la parte fija y la parte móvil de la rueda de soplado, y distribuye los fluidos en los puestos de soplado.

- El racor giratorio (7) (parte fija) asegura la hermeticidad dinámica del circuito hidráulico.
- El distribuidor (8) (parte móvil) asegura la repartición de los flujos hidráulicos en cada puesto de soplado de la máquina:
 - La parte superior alimenta el circuito cuerpo de molde.
 - La parte inferior alimenta el circuito fondo de molde (+ cuello en opción)
- Los bloques (9) y (10) aseguran la conexión entre el distribuidor (8) y las unidades porta-molde.

Temperaturas de funcionamiento

En configuración estándar, las necesidades hidráulicas de la máquina son las siguientes:

- Agua entre 12°C y 65°C hacia el cuerpo de molde.
- Agua a 12°C hacia los fondos de molde (+ cuello en opción).
- Agua entre 12°C y 20°C hacia el horno.

Descripción

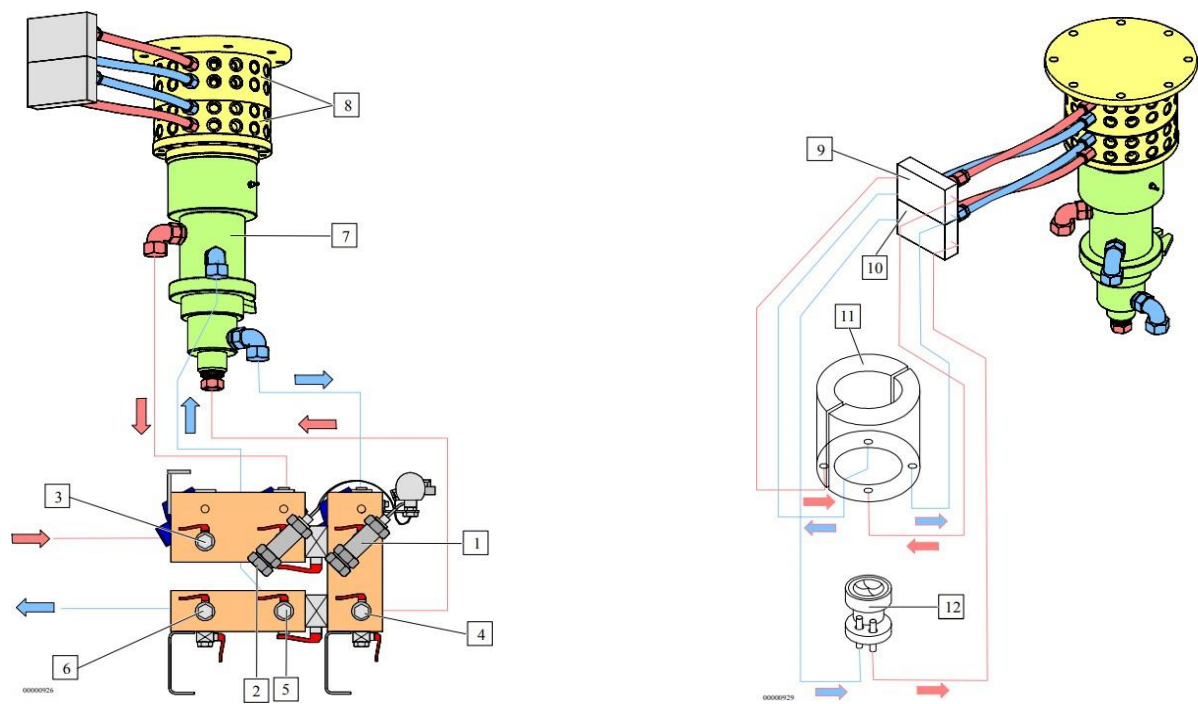


Figura 2-11, Descripción Circuito hidráulico

Fuente: Manual del equipo.

1	Retorno circuito cuerpo de molde
2	Retorno circuito fondo de molde (+ cuello en opción)
3	Retorno circuito horno
4	Alimentación circuito cuerpo de molde
5	Alimentación circuito fondo de molde (+ cuello en opción)
6	Alimentación circuito horno
7	Junta giratoria
8	Distribuidor
9	Bloque de alimentación cuerpo de molde
10	Bloque de alimentación fondo (+ cuello en opción)
11	Cuerpo de molde
12	Fondo de molde
13	Válvula de mando manual abertura/cierre circuitos
14	Válvula de mando manual purga circuitos
15	Válvula de mando manual conexión circuitos calentamiento moldería
16	Sondas
17	Indicadores
18	Controladores de caudal
19	Electroválvulas
20	Filtros

Tabla 2-3, Componentes Circuito hidráulico.

Fuente: Manual del equipo.

2.3.4Sistema transmisión

La transmisión asegura, a partir del motorreductor, el accionamiento y la sincronización de todos los elementos de rotación en la máquina.

El accionamiento de la corona de la rueda de soplado es asegurada por un sistema de piñón dentado.

El accionamiento de los elementos de transferencia (árboles intermedios, alimentación, transferencia preformas y botellas, salida botellas, rotación manual) es asegurado por un sistema de poleas y correas.

Funcionamiento

Accionados por el motor asíncrono trifásico, los elementos en rotación están perfectamente sincronizados. La tensión de las correas y los reglajes precisos a nivel de las transferencias aseguran una homogeneidad perfecta de los movimientos.

Limitadores de par

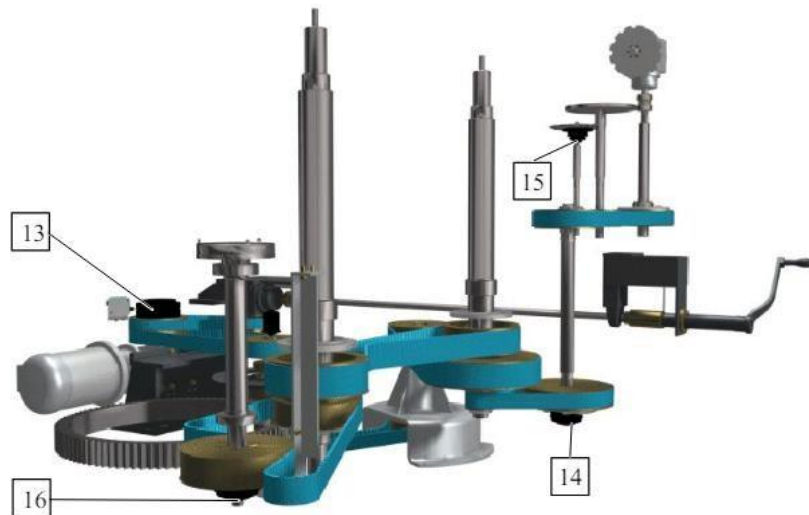


Figura 2-12, Limitadores de par Sistema de transmisión.

Fuente: Manual del equipo.

La máquina está equipada de 4 limitadores de par:

- Un limitador (13) en el árbol motor.
- Un limitador (14) en el árbol intermedio horno.
- Un limitador (15) en el árbol de alimentación.
- Un limitador (16) en el árbol salida botellas.

Estos limitadores son calibrados a unos valores precisos los cuales no deben ser modificados en ningún caso.

En caso de esfuerzo demasiado importante en el árbol concernido, el limitador se dispara y provoca la parada instantánea de la máquina.

Entonces es necesario volver a enganchar manualmente el limitador de par antes de volver a poner la máquina en producción.

Sistema de frenado

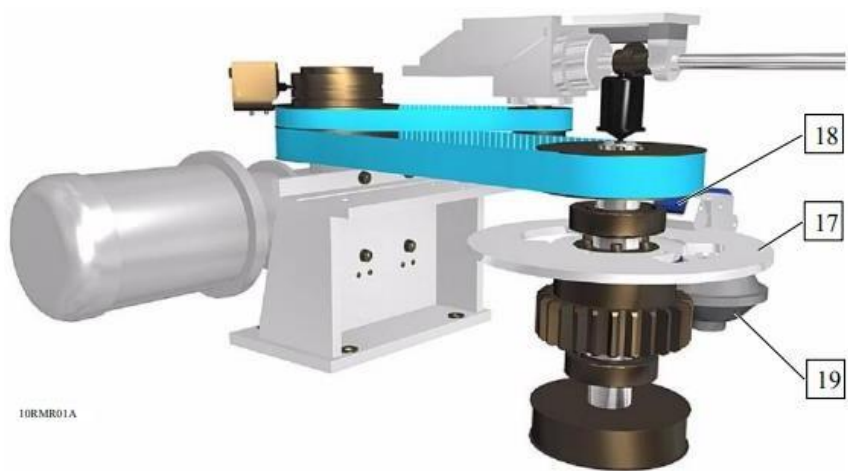


Figura 2-13, Sistema de frenado Sistema de transmisión.

Fuente: Manual del equipo.

La máquina está equipada de un sistema de frenado de disco (17). Este freno de sujeción por muelle y desajuste neumático (19) (7 bar), asegura la parada casi instantánea de la máquina en caso de parada de urgencia o de aparición de un fallo crítico.

Durante las operaciones de mantenimiento (máquina parada), el desbloqueo del freno solamente es posible a partir del botón pulsador situado a nivel de la rotación manual.

Sincronismo

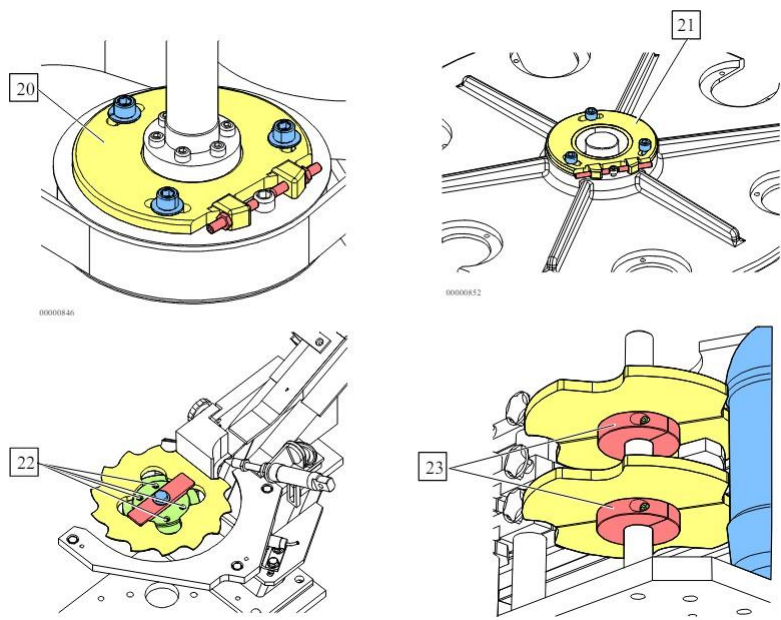


Figura 2-14, Sincronismo Sistema de transmisión.

Fuente: Manual del equipo.

Todos los árboles que aseguran una transferencia del artículo están equipados de un sistema que permite un reglaje muy preciso del sincronismo.

- Sistema de reglaje (20) en árbol rueda horno.
- Sistema de reglaje (21) en árboles transferencia preformas y botellas.
- Sistema de reglaje (22) en árbol de alimentación.
- Sistema de reglaje (23) en árbol salida botellas.

Descripción

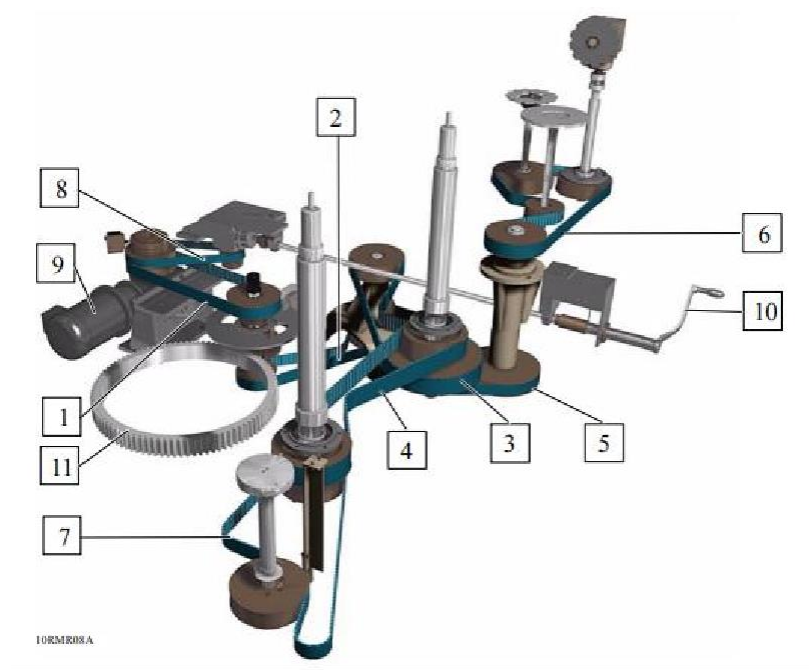


Figura 2-15, Descripción Sistema de transmisión.

Fuente: Manual del equipo.

Componentes

1	Correa 50AT20/2140 - tensión 34 Hz
2	Correa 50AT20/2120 - tensión 18 Hz
3	Correa 75AT20/3000 - tensión 23 Hz
4	Correa 75AT20/2660 - tensión 17 Hz
5	Correa 50AT10/1310 - tensión 54 Hz
6	Correa 50AT10/2700 - tensión 47 Hz
7	Correa 50AT10/2120 - tensión 12 Hz
8	Correa 32AT10/1400 - tensión 44 Hz
9	Motorreductor asincrónico trifásico 3 kW
10	Manivela de rotación manual
11	Corona de arrastre rueda de soplado
13	Limitador árbol motor
14	Limitador árbol intermedio horno
15	Limitador árbol de alimentación
16	Limitador árbol salida botellas
17	Disco de freno
18	Pastillas
19	Sistema neumático (desajuste)
20	Sistema de reglaje árbol rueda horno
21	Sistema de reglaje árboles transferencia preformas y botellas
22	Sistema de reglaje árbol de alimentación
23	Sistema de reglaje árbol salida botellas

Tabla 2-4, Componentes Sistema de transmisión.

Fuente: Manual del equipo.

2.3.5 Sistema alimentación

El sistema de alimentación asegura el aprovisionamiento y la puesta al paso (50 mm) de las preformas antes de su vestido y de su entrada en el horno.

Funcionamiento

Aprovisionamiento

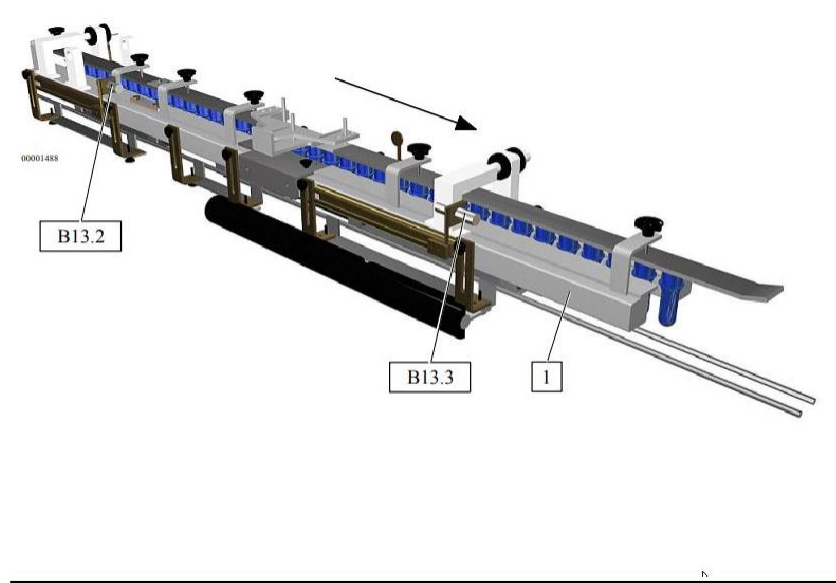


Figura 2-16, Aprovisionamiento Sistema alimentación.

Fuente: Manual del equipo.

Mantenidas por su collarín entre 2 guías regulables, las preformas bajan en el riel de alimentación (1) hasta la entrada máquina.

Los captadores B13.2 y B13.3 aseguran el control del cargamento de las preformas hacia la máquina:

- Si el nivel de preformas en el riel es inferior al captador B13.3 (nivel bajo preformas), la alimentación se para en el plato de cargamento.
- Cuando el nivel de preformas alcanza el captador B13.2 (nivel alto preformas), se reestablece la alimentación en el plato de cargamento.

Cargamento preformas

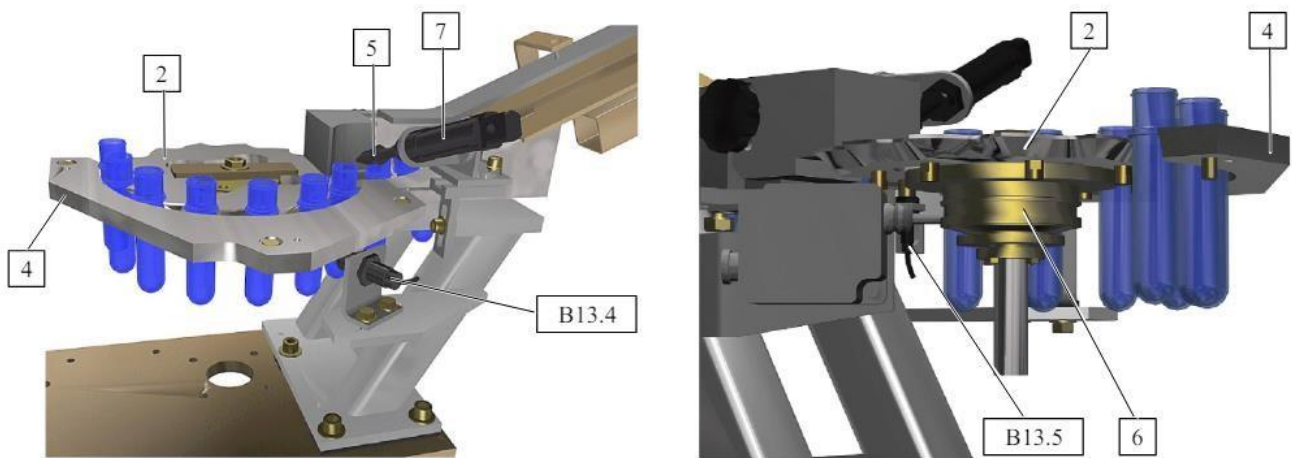


Figura 2-17, Cargamento de preformas Sistema de alimentación

Fuente: Manual del equipo.

En la puesta en marcha de la máquina, se requieren dos condiciones necesarias para autorizar el cargamento de las preformas en el plato de alimentación (2):

- El aprovisionamiento del riel de alimentación.
- La temperatura del horno conforme con el proceso definido.

Cuando estas condiciones se han cumplido, el detector B13.5 asegura la sincronización entre la posición del plato (2) y la retirada del pasador de parada (5) (accionado por el cilindro (7)).

Las preformas se introducen en el plato (2). Estas se mantienen, a nivel de su collarín, entre el plato (2) y la guía (4).

El vestido de las preformas en las turnelas del horno se efectúa antes del final de la guía (4).

En caso de bloqueo de una preforma en el plato (2), el limitador de par (6) se dispara y provoca la parada de la máquina.

El detector B13.4 asegura el cómputo de las preformas cargadas en la máquina.

Componentes

1	Riel de alimentación
2	Plato de alimentación
3	Guía móvil
4	Guía fija
5	Pasador de parada
6	Limitador de par
7	Cilindro
B13.2	Captador nivel bajo preformas
B13.3	Captador nivel alto preformas
B13.4	Detector de preformas entrada máquina

Tabla 2-5, Componentes Sistema de alimentación.

Fuente: Manual del equipo.

2.3.6 Sistema horno

El horno asegura el caldeo de los cuerpos de las preformas, a fin de volverlas maleables antes de su transferencia en los moldes.

La temperatura (comprendida entre 75° y 80° para este proceso) se obtiene por lámparas infrarrojas frente a las cuales circulan las preformas, sostenidas por las turnelas.

Funcionamiento

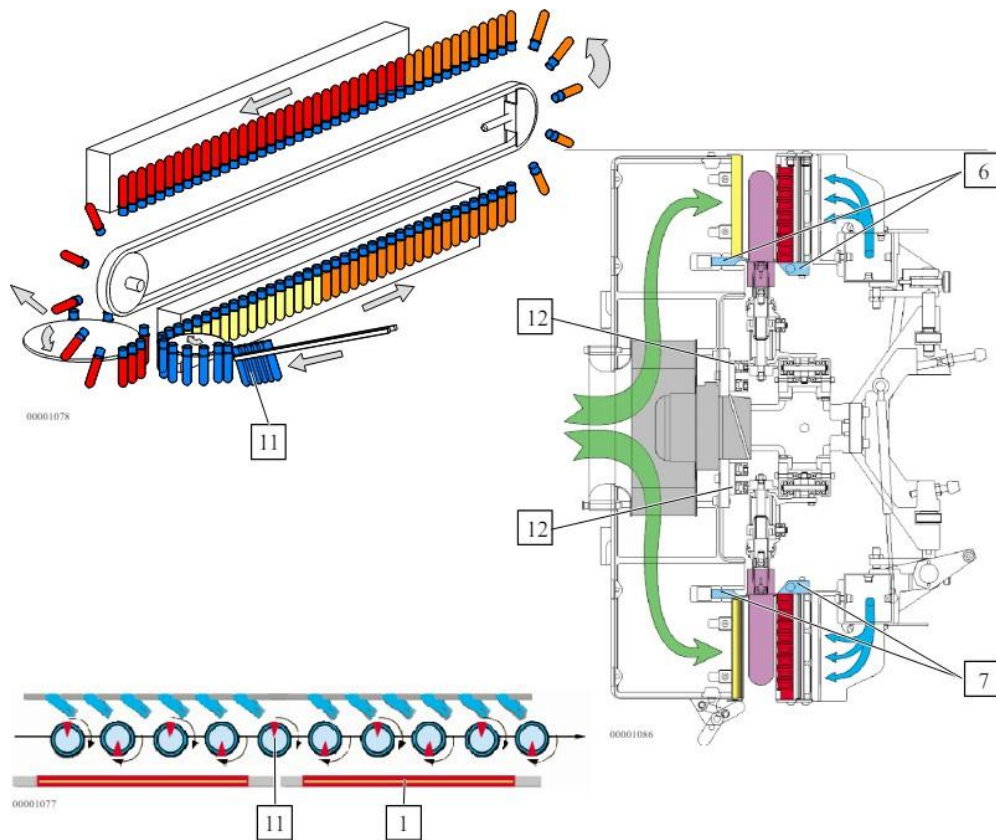


Figura 2-18, Funcionamiento Sistema horno.

Fuente: Manual del equipo.

Las preformas (11), mantenidas por las turnelas penetran en el horno y son puestas en rotación por el engranaje de los piñones de turnelas en las cadenas fijas (12). Las preformas (11) efectúan 2 vueltas completas delante de cada hilera de lámparas (1).

El caldeo se efectúa en 2 etapas:

- En la primera parte del horno (estante inferior), se efectúa la penetración del calor en el cuerpo de la preformas. Las preformas se calientan “cuello hacia arriba”, los cuellos son protegidos por las rampas de enfriamiento de agua (7).
- En la segunda parte del horno (estante superior), se efectúa la distribución del calor en el cuerpo de la preforma. Las preformas se calientan “cuello hacia abajo”, los cuellos son también protegidos por unas rampas de enfriamiento de agua (6).

A la salida del horno, las preformas se vuelven a posicionar “cuello hacia arriba” antes de ser desvestidas y transferidas hacia los moldes.

Enfriamiento

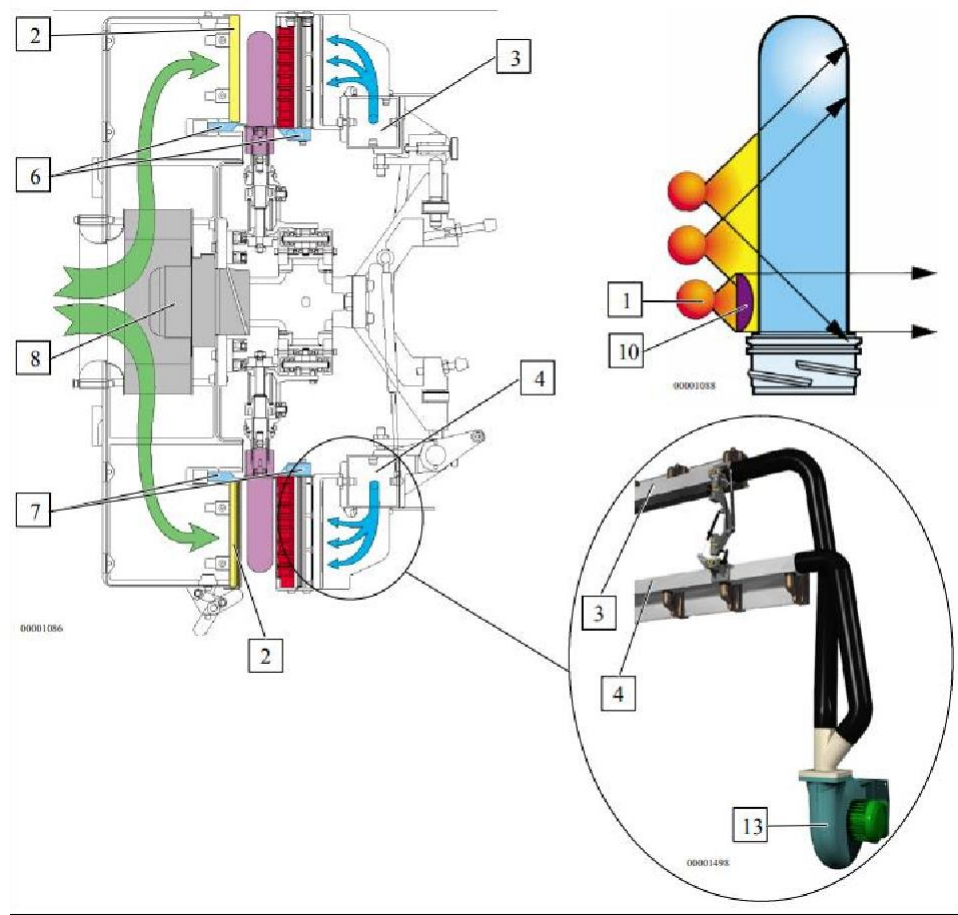


Figura 2-19, Enfriamiento Sistema horno.

Fuente: Manual del equipo.

Las rampas de enfriamiento (6 y 7) protegen los cuellos de las preformas durante el caldeo. Un circuito de agua refrigerada, en el interior de estas rampas permite mantenerlas a una temperatura baja, y evita una deformación de los cuellos.

Es necesario el reglaje vertical y horizontal de estas rampas durante un cambio de producción.

El horno está equipado de 2 sistemas de ventilación:

- Un sistema (8) asegura la homogeneización del caldeo dirigiendo el aire ambiente a través de los reflectores (2).
- Un segundo sistema (13) independiente asegura el enfriamiento de los casquillos de lámparas por circulación de aire en los estantes (3) y (4).

Componentes

1	Lámparas infrarrojas
2	Reflectores
3	Estante superior
4	Estante inferior
5	Cajón de ventilación
6	Rampas de enfriamiento (agua)
7	Conducto de enfriamiento (agua)
8	Ventilador 1
9	Pista de rodamiento turnelas
10	Barras de cuarzo
11	Preformas
12	Piñones de turnelas
13	Ventilador 2

Tabla 2-6, Componentes Sistema horno

Fuente: Manual del equipo.

2.3.7Unidad soplado

La unidad de soplado asegura la transformación de las preformas calientes al estado de botellas formadas.

Funcionamiento

Diagrama de ciclo

Ilustra el recorrido de una unidad de soplado en su ciclo completo de funcionamiento. Los valores angulares de ciertas acciones son aproximados y pueden variar en función del proceso de fabricación.

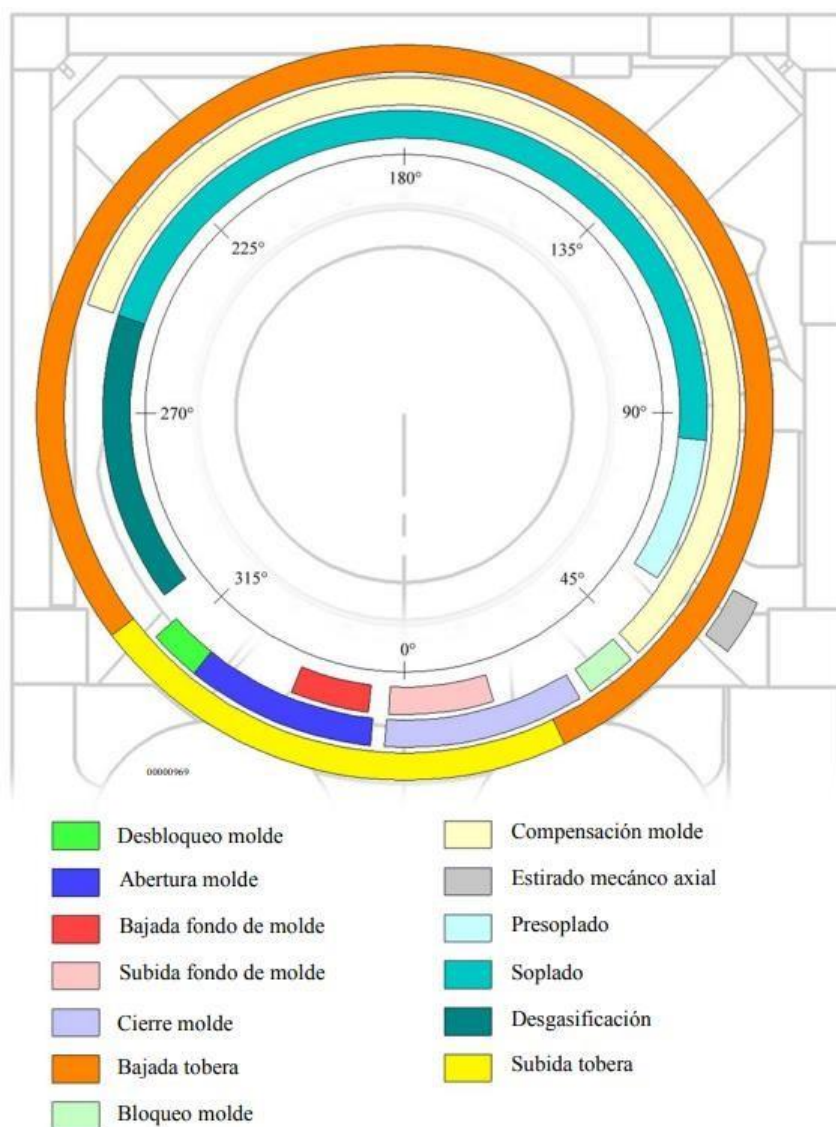


Figura 2-20, Diagrama de ciclo Unidad de soplado.

Fuente: Manual del equipo.

Bloqueo/desbloqueo de la unidad portamolde

Las escuadras (7 y 8) son bloqueadas durante las fases de pre-soplado, soplado y desgasificación.

El paso del rodillo (9) en las levas de desbloqueo (10) y después de bloqueo (11) provoca el movimiento de los pasadores (12 y 13) en las escuadras.

Entre estas operaciones, las escuadras (7 y 8) se desacoplan y la abertura de la unidad portamolde puede efectuarse.

En caso de mal bloqueo, el rodillo (9) golpea en la contraleva (14). El captor (B12.3) informa entonces al autómatas quien prohíbe el presoplado y el soplado en la unidad portamolde.

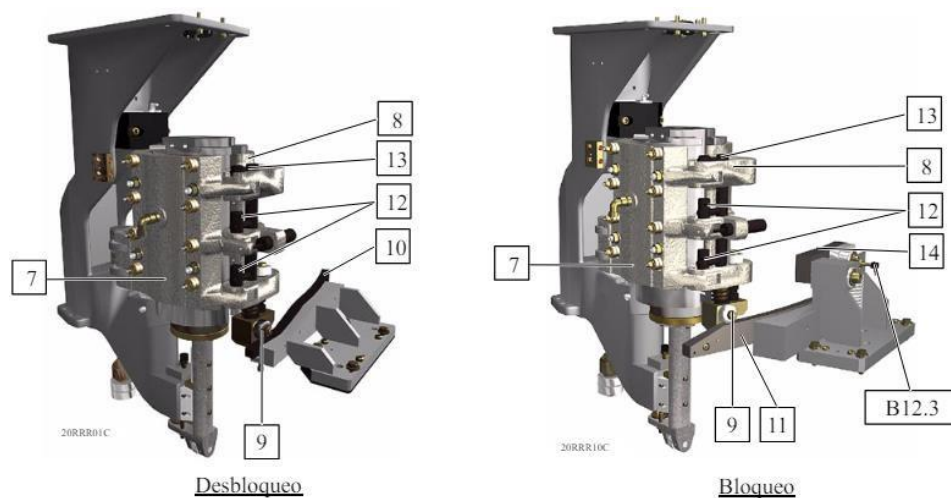


Figura 2-21, Bloqueo/desbloqueo unidad portamolde (1).

Fuente: Manual del equipo.

Para evitar que los pasadores de bloqueo (12 y 13) no bajen después de la abertura de la unidad portamolde, un pasador de mantenimiento (15) bloquea el árbol (16) en posición alta hasta el cierre de la unidad portamolde.

Principio: El pasador de mantenimiento (15) está fijado en la escuadra derecha (8) por la caja (17). El pasador de mantenimiento atraviesa el sistema de bloqueo a nivel del agujero oblongo practicado en el árbol (16).

Desbloqueo: Cuando el árbol (16) está en posición alta (fin de desbloqueo), la escuadra izquierda (7) se separa de la escuadra derecha (8). El pasador de mantenimiento, empujado por el muelle (18), se coloca en tope en el refrentado inferior del agujero oblongo. El conjunto árbol-pasadores de bloqueo es, por tanto, mantenido en posición alta hasta el cierre de la unidad portamolde.

Bloqueo: La unidad portamolde se vuelve a cerrar. La escuadra izquierda (7) se lleva en contacto con la escuadra derecha (8) e introduce el eje del pasador de mantenimiento (15). El pasador de mantenimiento ya no hace tope en el refrentado del árbol (16). El conjunto árbol (16)-pasadores (12 y 13) baja y bloquea la unidad portamolde.

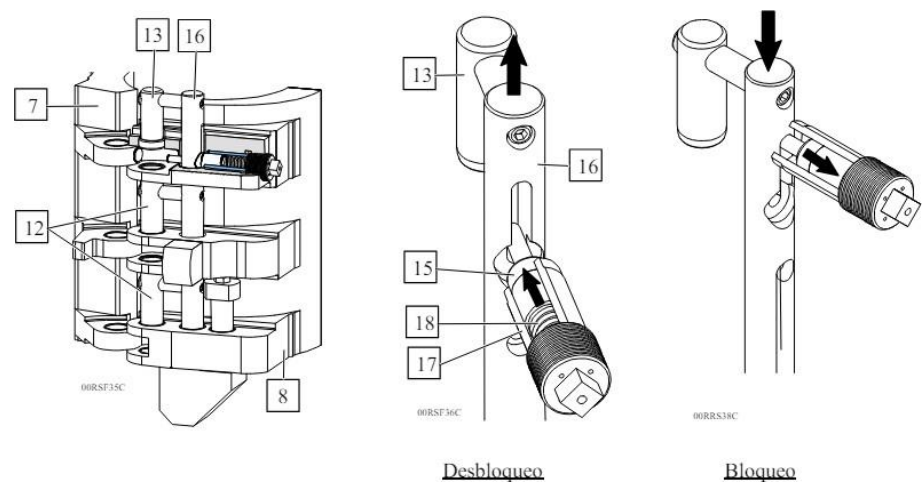


Figura 2-22, Bloqueo/desbloqueo unidad portamolde (2).

Fuente: Manual del equipo.

Cinemática de los movimientos de la unidad portamolde

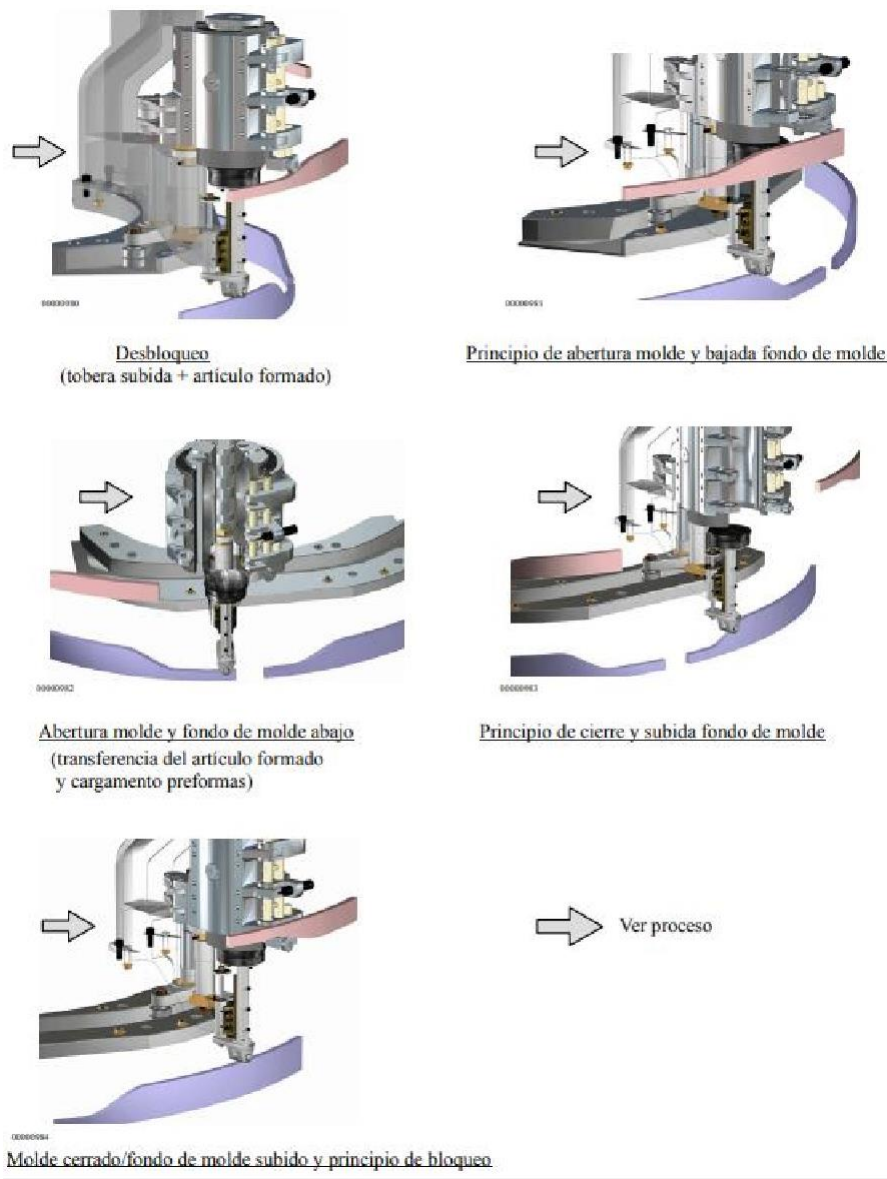


Figura 2-23, Cinemática de los movimientos unidad portamolde.

Fuente: Manual del equipo.

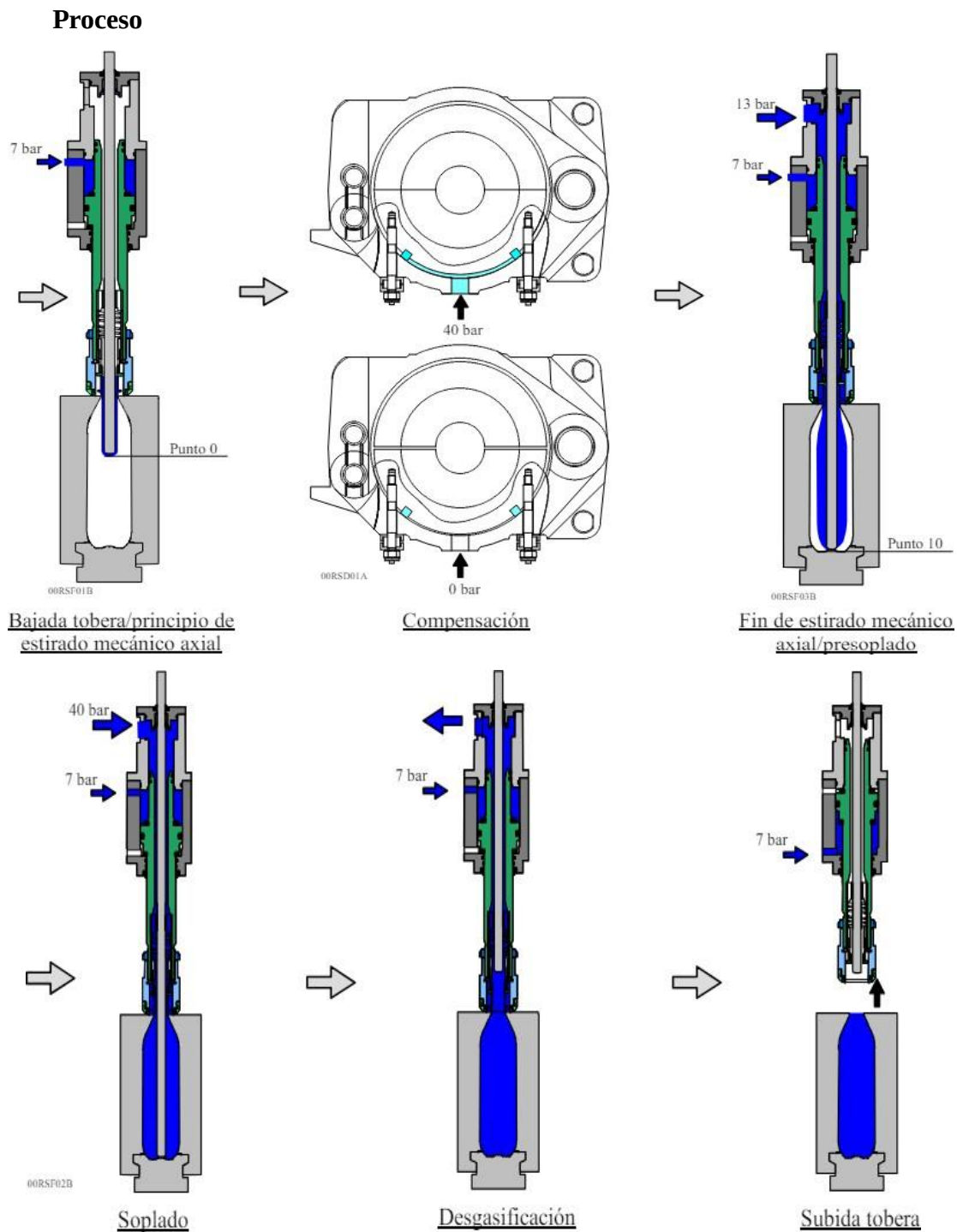


Figura 2-24, Descripción del proceso de soplado.

Fuente: Manual del equipo.

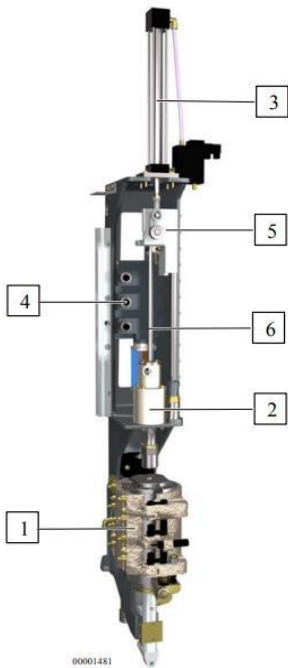


Figura 2-25, Descripción Unidad de soplado.

Fuente: Manual del equipo.

1	Unidad portamolde
2	Cilindro de tobera
3	Cilindro de elongación
4	Bloque de soplado (Electroválvulas)
5	Colisión de elongación
6	Varilla de elongación
7	Escuadra izquierda
8	Escuadra derecha
9	Rodillo
10	Levas de desbloqueo
11	Levas de bloqueo
12	Pasador de bloqueo
13	Pasador de bloqueo
14	Contraleva
15	Pasador de mantenimiento
16	Árbol
17	Caja
18	Muelle
B12.3	Captor

Tabla 2-7, Componentes Unidad de soplado.

Fuente: Manual del equipo.

2.4 FUNCIONES

El análisis se focaliza en dos sistemas críticos de la sopladora SBO-6: el circuito de aire 40 bar y el sistema horno. Estos fueron seleccionados debido a que sus modos de falla presentan el mayor impacto sobre la función principal de la SBO-6. En el caso del circuito de aire a alta presión, sus fallas tienen una alta severidad, ya que pueden provocar daños en la rueda de soplado, así como riesgos para la integridad del personal, tales como la proyección de fragmentos y daños auditivos severos para el operador. Por su parte, en el sistema horno, cualquier desviación en la temperatura impacta directamente en la calidad de las preformas y su posterior soplado.

A continuación, se procederá a definir la función primaria de cada uno.

2.4.1 Circuito de aire 40 bar

Proveer aire a alta presión entre 38 y 40 bar, asegurando la conformidad de la botella según el criterio de aceptación.

2.4.2 Sistema horno

Calentar las preformas a una temperatura entre 70 y 75 °C, asegurando su condición adecuada para el proceso de soplado.

2.5 FALLAS FUNCIONALES

“Es el estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado” (SAE JA 1012, 2002).

Se define una falla funcional total y una falla funcional parcial, para cada función primaria:

2.5.1 Circuito de aire 40 bar

- Incapacidad de proporcionar aire a alta presión entre 38 y 40 bar.
- Proveer aire a alta presión menor a 38 bar.

2.5.2 Sistema horno

- Incapacidad de calentar preformas.
- Calentamiento de preformas a una temperatura menor a 70 °C.

2.6 MODOS DE FALLA

Según John Moubray detalla en su libro RCM II, “Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”

A continuación, se definen tres modos de falla en relación con cada falla funcional:

2.6.1 Circuito de aire 40 bar

Incapacidad de proporcionar aire a alta presión entre 38 y 40 bar. (Total)

- Racor giratorio con rotura de sello.
- Filtro de aire saturado.
- Válvula de seguridad con asiento dañado.

Proveer aire a alta presión menor a 38 bar. (Parcial)

- Regulador de presión con desgaste de sello.
- Filtro de aire parcialmente obstruido.
- Racor giratorio con desgaste de sello.

2.6.2 Sistema horno

Incapacidad de calentar preformas. (Total)

- Lámparas infrarrojas quemadas.
- Ventilador con aspas dañadas.
- Cajón de ventilación obstruido.

Calentamiento de preformas a una temperatura menor a 70 °C. (Parcial)

- Reflectores desgastados.
- Lámparas infrarrojas con degradación parcial.

2.7 NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)

La jerarquización de los modos de falla se respaldará en la norma SAE J1739. Esta sugiere una clasificación y jerarquización mediante la evaluación de la severidad, la ocurrencia y la capacidad de detección de cada uno. Para esto, se adoptaron las escalas de ponderación sugeridas por la norma, las cuales fueron adaptadas específicamente al contexto operacional de la SBO-6. Estos valores se combinan mediante una fórmula matemática que genera el Número de Prioridad de Riesgo.

NPR = Severidad x Ocurrencia x Detectabilidad

Su objetivo es priorizar los modos de falla según su nivel de criticidad, de manera de focalizar el análisis y los recursos en aquellos con mayor impacto potencial. La definición del tipo de tarea de mantenimiento se establece posteriormente mediante el árbol de decisión RCM, en función de las consecuencias específicas de cada modo de falla. Dentro de este proceso la severidad tiene especial relevancia, un modo de falla que pueda derivar en la detención total de la línea debe abordarse prioritariamente aun cuando su nivel de ocurrencia sea bajo.

A continuación, se presentan las tablas que representan los valores asignados para la severidad, ocurrencia y detectabilidad.

2.7.1 Severidad

Efecto	Criterio de severidad	Severidad
Peligros sin advertencia	Afecta gravemente la seguridad del personal o implica un incumplimiento ambiental crítico.	10
Peligros con advertencia	Afecta la seguridad del personal o normativas, pero existen síntomas previos antes de la falla.	9
Muy alto	Detención total de la línea. Pérdida del 100% de la capacidad productiva del turno. Requiere intervención del equipo de mantenimiento.	8
Alto	Detención parcial de la línea o parada total de corta duración, afectando el ritmo de producción.	7
Moderado	El equipo sigue operable pero obliga a reducir la cadencia de producción (pérdida de rendimiento de la línea).	6
Bajo	Falla en sistemas secundarios que no detiene la línea de inmediato, pero requiere programación de detención en el corto plazo.	5
Muy bajo	Falla menor en el equipo. No detiene la producción, pero requiere reparación en el mediano plazo.	4
Menor	Desajuste menor en el equipo. No detiene la producción, pero requiere intervención al final del turno.	3
Muy menor	Evento con impacto despreciable en la operación. El operador puede realizar el ajuste sobre la marcha.	2
Ninguno	Sin efecto en la producción.	1

Tabla 2-8, Criterios sugeridos para la evaluación de severidad.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.2Ocurrencia

Probabilidad de la falla	Frecuencia de fallas	Ocurrencia
Muy alta: La falla es casi inevitable.	Frecuencia > 4 fallas/semana.	10
Muy alta: La falla ocurre múltiples veces por semana.	Frecuencia = 3 fallas/semana.	9
Alta: Repetitividad alta de fallas.	Ocorre 2 veces por semana.	8
Alta: Repetitividad moderada de fallas.	Ocorre 1 vez por semana.	7
Moderada: Fallas recurrentes.	Ocorre 2 veces al mes.	6
Moderada: Fallas ocasionales.	Ocorre 1 vez al mes.	5
Moderada: Fallas esporádicas.	Ocorre 1 vez cada dos meses.	4
Baja: Relativamente pocas fallas.	Ocorre 1 vez por semestre.	3
Baja: Escasa frecuencia de fallas.	Ocorre 1 vez al año.	2
Remota: La falla es poco probable.	Ocorre menos de 1 vez al año.	1

Tabla 2-9, Criterios sugeridos para la evaluación de ocurrencia.

Fuente: Elaboración propia.

2.7.3Detectabilidad

Detección	Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen sensores, alarmas ni rutinas de inspección que puedan detectar el modo de falla antes de que ocurra.	10
Muy remota	El defecto genera síntomas internos imperceptibles para el operador. El equipo falla sin dar oportunidad de reacción manual.	9
Remota	La anomalía solo se detecta cuando el personal de mantenimiento interviene o desarma un componente cercano debido a otra falla.	8
Muy baja	El modo de falla genera un síntoma (olor a quemado, ruido extraño severo) minutos antes de la falla, dando una ventana de tiempo casi nula para evitar la detención.	7
Baja	El operador de turno puede detectar la anomalía de forma visual u auditiva durante su rutina normal de trabajo antes de que ocurra la falla funcional.	6
Moderada	El defecto se hace evidente primero en el producto (ej. la máquina empieza a sacar botellas mal sopladas o deformes), alertando al operador para detener el equipo manualmente.	5
Moderadamente alta	El síntoma de la falla (ej. pérdida de presión o aumento de temperatura) se desarrolla lentamente, permitiendo al operador identificar la desviación en los instrumentos antes de que ocurra la detención.	4
Alta	El equipo cuenta con alarmas en el panel (ej. presostatos o alertas visuales) que avisan al operador sobre una desviación crítica antes de la falla.	3
Muy alta	El equipo cuenta con sistemas de protección integrados (ej. sensores de parada automática) que detienen la máquina al notar un desajuste o desalineamiento.	2
Casi segura	El sistema de control del equipo (PLC de la sopladora) bloquea e indica con exactitud el código de falla en pantalla ante la más mínima anomalía, garantizando la detección.	1

Tabla 2-10, Criterios sugeridos para la evaluación de detección.

Fuente: Elaboración propia.

2.8 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA DEL CIRCUITO DE AIRE 40 BAR

Hoja de Informacion RCM	Sistema/Activo: Sopladora SBO-6									
	Subsistema/Componente: Circuito de aire 40 bar									
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR	
Proveer aire a alta presion entre 38 y 40 Bar, asegurando la conformidad de la botella según el criterio de aceptación.	1	Incapacidad de proporcionar aire a alta presión entre 38 y 40 Bar.	1.1	Racor giratorio con rotura de sello.	Evidente: Si. (Auditiva/Alarma). Afecta SHA: Si (Seguridad). Efecto Operacional(Sintomas): Perdida de presion significativa en el sistema, soplado ineficaz, reducción en la calidad de las botellas, parada de producción.	9	1	2	18	
			1.2	Filtro de aire saturado.	Evidente: Si. (Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Perdida de presion en el sistema, soplado ineficaz, reducción en la calidad de las botellas, parada de producción.	8	2	4	64	
			1.3	Válvula de seguridad con asiento dañado.	Evidente: Si. (Auditiva). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Perdida de presión en el sistema, Inestabilidad en el soplado, parada de producción.	8	2	6	96	
	2	Proveer aire a alta presión menor a 38 Bar.	2.1	Regulador de presión con desgaste de sello.	Evidente: Si. (Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Presión de salida inferior a 38 Bar, presión inestable, variabilidad de botellas aceptables,disminución de velocidad de producción.	5	4	4	80	
			2.2	Filtro de aire parcialmente obstruido.	Evidente: Si. (Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Reducción parcial de la presión de aire, variabilidad de botellas aceptables, disminución de velocidad de producción.	4	6	4	96	
			2.3	Racor giratorio con desgaste de sello.	Evidente: Si. (Auditiva/Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Caída moderada de presión, variabilidad de botellas aceptables, disminución de velocidad de producción.	6	2	4	48	

Tabla 2-11, FMECA Circuito de aire 40 bar.

Fuente: Elaboración propia.

2.9 ANÁLISIS DE MODOS, EFECTOS Y CRITICIDAD DE FALLA DEL SISTEMA HORNO

Hoja de Informacion RCM	Sistema/Activo: Sopladora SBO-6									
	Subsistema/Componente: Sistema horno									
Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto de Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	NPR	
Calentar las preformas a una temperatura entre 70 y 75 °C, asegurando su condición adecuada para el proceso de soplado.	1	Incapacidad de calentar preformas.	1.1	Lámparas infrarrojas quemadas.	Evidente: Si. (Visual/Alarma). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): El horno no genera suficiente calor, preformas no se calientan adecuadamente, reducción de calidad de botellas, parada de producción.	8	4	3	96	
			1.2	Ventilador con aspas dañadas.	Evidente: Si. (Auditiva/Visual). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): El horno puede sobrecalentarse y apagarse, impidiendo el calentamiento de las preformas y deteniendo el proceso.	8	2	6	96	
			1.3	Cajón de ventilación obstruido.	Evidente: Si. (Visual/Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Aumento de temperatura, reducción de enfriamiento, parada de producción.	7	3	4	84	
	2	Calentamiento de preformas a una temperatura menor a 70 °C.	2.1	Reflectores desgastados.	Evidente: Si. (Visual/Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Reducción de la eficiencia del calentamiento, preformas no alcanzan la temperatura ideal, variabilidad de botellas aceptables, reducción de cadencia.	6	5	4	120	
			2.2	Lámparas infrarrojas con degradación parcial.	Evidente: Si. (Visual/Instrumental). Afecta SHA: No. Efecto Operacional(Sintomas): Reducción de la cantidad de calor emitido, preformas no alcanzan la temperatura deseada, variabilidad de botellas aceptables, reducción de cadencia.	6	5	4	120	

Tabla 2-12, FMECA Sistema horno.

Fuente: Elaboración propia.

2.10 **JERARQUIZACIÓN MODOS DE FALLA**

A continuación, se presentan en una tabla, los modos de falla jerarquizados según el NPR. Esto nos ayuda a determinar tareas de mantenimiento de manera más efectiva, ya que permite identificar cuáles son los más críticos y priorizar las acciones de mantenimiento.

2.10.1 **Circuito aire 40 bar**

Modos de falla	NPR
Filtro de aire parcialmente obstruido.	96
Válvula de seguridad con asiento dañado.	96
Regulador de presión con desgaste de sello.	80
Filtro de aire saturado.	64
Racor giratorio con desgaste de sello.	48
Racor giratorio con rotura de sello.	18

Tabla 2-13, Jerarquización NPR Circuito aire 40 bar.

Fuente: Elaboración propia.

2.10.2 **Sistema horno**

Modos de falla	NPR
Reflectores desgastados.	120
Lámparas infrarrojas con degradación parcial.	120
Ventilador con aspas dañadas.	96
Lámparas infrarrojas quemadas.	96
Cajón de ventilación obstruido.	84

Tabla 2-14, Jerarquización NPR Sistemas horno.

Fuente: Elaboración propia.

3 PLAN DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA

3.1 SELECCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

La selección de las tareas de mantenimiento se realizará a través del diagrama de decisión del libro RCM II de John Moubray. Este diagrama guía a los analistas a través de una serie de preguntas estructuradas, que ayuda a identificar las acciones más apropiadas. Es una parte fundamental del proceso de RCM, ya que facilita la selección de las acciones de mantenimiento más efectivas para aumentar la confiabilidad y disponibilidad del equipo.

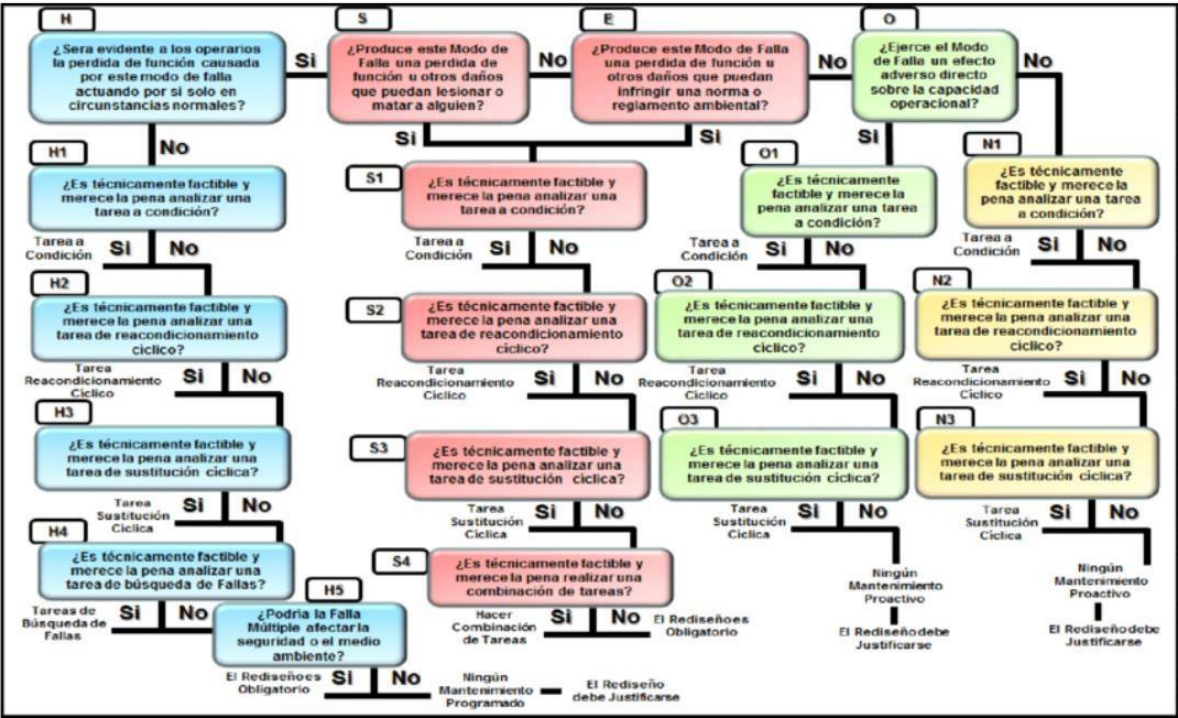


Figura 3-1, Diagrama de decisión RCM.

3.2 TAREAS PROACTIVAS

Estas son tareas que se llevan a cabo antes que la falla se produzca, y abarcan principalmente el mantenimiento “preventivo” y el “predictivo”, a continuación se realizará una pequeña definición de cada tarea proactiva

3.2.1 Reacondicionamiento cíclico

El reacondicionamiento cíclico según el libro “RCM II”, de John Moubray, es “reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independiente de su condición en ese momento”, es decir, establecer plazos

definidos para realizar el reacondicionamiento, ya sea el elemento o componente, esté o no, en el límite de su vida útil.

3.2.2 Sustitución cíclica

La sustitución cíclica según el libro RCM II, de John Moubray, es “descartar un elemento o componente antes, o en el límite de edad definida, independientemente de su condición en ese momento”, es decir, establecer plazos definidos para realizar la sustitución de un elemento o componente, esté o no, en el límite de su vida útil.

3.2.3 Tareas “A condición”

La gran mayoría de las fallas, no son repentinas, es decir, tiene algún tipo de señal o sintomatología, la cual, indica que la falla esta por ocurrir, para esto el mantenimiento a condición intenta enfocarse en el intervalo entre que la falla se comienza a producir y la falla potencial, en este intervalo es en donde las tareas a condición se deben realizar, para así, evitar o mitigar la falla funcional.

3.3 ACCIONES “A FALTA DE”

Las acciones “a falta de”, se realizan cuando para un modo de falla no se encuentran tareas proactivas factibles de realizar. Son generalmente asociadas a las consecuencia de la falla y consta de tres posibles acciones a realizar, las cuales se definirán a continuación.

3.3.1 Tareas de búsqueda de falla

Estas se aplican a los activos para el reconocimiento de nuevas fallas que puedan ocurrir y se evita que lo hagan. Se trata de mitigar condiciones que puedan ayudar a concurrir a fallas funcionales al equipo.

3.3.2 Rediseño

Esta acción se refiere a cualquier cambio que se realice sobre el activo, los procesos y procedimientos que se realizan, ya sea agregar o quitar un componente, modificar el lay-

out de la empresa o capacitar al personal para lidiar con una falla funcional, siempre y cuando, no se pueda encontrar una tarea proactiva y las fallas afectan a la seguridad y/o al medio ambiente.

3.3.3 Ningún mantenimiento programado

La primera acción “a falta de” es la búsqueda de falla, si no es posible aplicar este tipo de tareas y las consecuencias afectan la seguridad o el medio ambiente, la acción secundaria es el rediseño de manera obligatoria. Pero si las consecuencias no afectan la seguridad ni el medio ambiente, la acción “a falta de” es no realizar ningún mantenimiento programado, esto quiere decir que se deja el elemento o componente en servicio, hasta que la falla funcional ocurre, en ese momento es cuando se repara o reemplaza, por tanto, no hay ningún mantenimiento programado.

3.4 HOJA DE DECISIÓN

La frecuencia inicial de cada tarea de mantenimiento propuesta se definió considerando la frecuencia estimada del modo de falla correspondiente, obtenida a partir del factor de Ocurrencia del análisis FMECA. Este intervalo constituye un punto de partida razonable, sujeto a ajuste una vez implementado el plan y monitoreado el comportamiento real de cada componente.

3.4.1 Circuito aire 40 bar

Hoja de Decision RCM			Sistema/Activo: Sopladora SBO-6														
			Subsistema/Componente: Circuito de aire 40 Bar														
Referencia de Informacion			Evaluacion de las Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas			Frecuencia Inicial	A realizar por
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	H	S	M	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
Proveer aire a alta presion entre 38 y 40 Bar, asegurando la conformidad de la botella según el criterio de aceptación.	Incapacidad de proporcionar aire a alta presión entre 38 y 40 Bar.	Racor giratorio con rotura de sello.	S	S			N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo de sello de racor giratorio.			Anual	Mecánico
		Filtro de aire saturado.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo de filtro.			Anual	Mecánico
		Válvula de seguridad con asiento dañado.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo de válvula de seguridad.			Anual	Mecánico
	Proveer aire a alta presión menor a 38 Bar.	Regulador de presión con desgaste de sello.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo de los sellos internos de la válvula reguladora.			Anual	Mecánico
		Filtro de aire parcialmente obstruido.	S	N	N	S	N	S					Reacondicionamiento cíclico: Limpieza de filtro.			Mensual	Mecánico
		Racor giratorio con desgaste de sello.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo de sello de racor giratorio.			Anual	Mecánico

Tabla 3-1, Hoja de decisión Circuito aire 40 bar.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Sistema horno

Hoja de Decision RCM			Sistema/Activo: Sopladora SBO-6															
			Subsistema/Componente: Sistema Horno															
Referencia de Informacion			Evaluacion de las Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas				Frecuencia Inicial	A realizar por
							S1	S2	S3									
							O1	O2	O3									
Función	Falla Funcional	Modo de Falla	H	S	M	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
Calentar las preformas a una temperatura entre 70 y 75 °C, asegurando su condición adecuada para el proceso de soplado.	Incapacidad de calentar preformas.	Lámparas infrarrojas quemadas.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo del banco de lámparas infrarrojas.				Anual	Mecánico
		Ventilador con aspas dañadas.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Cambio de ventilador.				Anual	Mecánico
		Cajón de ventilación obstruido.	S	N	N	S	N	S				Reacondicionamiento cíclico: Limpieza del cajon de ventilacion.				Cuatrimestral	Mecánico	
	Calentamiento de preformas a una temperatura menor a 70 °C.	Reflectores desgastados.	S	N	N	S	N	S				Reacondicionamiento cíclico: Limpieza y pulido de reflectores.				Semestral	Mecánico	
		Lámparas infrarrojas con degradación parcial.	S	N	N	S	N	N	S				Sustitución cíclica: Reemplazo del banco de lámparas infrarrojas.				Anual	Mecánico

Tabla 3-2, Hoja de decisión Sistema horno.

Fuente: Elaboración propia.

3.5 COSTO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

3.5.1 Circuito de aire 40 bar

Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Racor giratorio con rotura de sello.	Sustitución Cíclica	Reemplazo de sello de racor giratorio.	1	2	4	\$ 20.000	\$ 300.000	\$ 460.000
Filtro de aire saturado.	Sustitución Cíclica	Reemplazo de filtro.	1	2	2	\$ 20.000	\$ 100.000	\$ 180.000
Válvula de seguridad con asiento dañado.	Sustitución Cíclica	Reemplazo de válvula de seguridad.	1	2	2,5	\$ 20.000	\$ 360.000	\$ 460.000
Regulador de presión con desgaste de sello.	Sustitución Cíclica	Reemplazo de los sellos internos de la válvula reguladora.	1	2	2,5	\$ 20.000	\$ 140.000	\$ 240.000
Filtro de aire parcialmente obstruido.	Reacondicionamiento Ciclico	Limpieza de filtro.	12	2	1,5	\$ 10.000	\$ 10.000	\$ 480.000
Racor giratorio con desgaste de sello.	Sustitución Cíclica	Reemplazo de sello de racor giratorio.	1	2	4	\$ 20.000	\$ 300.000	\$ 460.000

Tabla 3-3, Costo de actividades de mantenimiento Circuito de aire 40 bar.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Sistema horno

Modo de Falla	Actividad Mtto	Acción a ejecutar	Frecuencia de aplicación	Numero de personas	HH - ejecución	Tarifa Especialidad	Insumos, Materiales, o servicios requeridos	PTTO ANUAL
Lámparas infrarrojas quemadas.	Sustitución Ciclica	Reemplazo del banco de lámparas infrarrojas.	1	2	2,5	\$ 20.000	\$ 450.000	\$ 550.000
Ventilador con aspas dañadas.	Sustitución Ciclica	Cambio de ventilador.	1	2	2,5	\$ 20.000	\$ 200.000	\$ 300.000
Cajón de ventilación obstruido.	Reacondicionamiento Ciclico	Limpieza del cajón de ventilación.	3	2	2	\$ 10.000	\$ 20.000	\$ 180.000
Reflectores desgastados.	Reacondicionamiento Ciclico	Limpieza y pulido de reflectores.	2	2	2	\$ 20.000	\$ 70.000	\$ 300.000
Lámparas infrarrojas con degradación parcial.	Sustitución Ciclica	Reemplazo del banco de lámparas infrarrojas.	1	2	2,5	\$ 20.000	\$ 450.000	\$ 550.000

Tabla 3-4, Costo de actividades de mantenimiento Sistema horno.

Fuente: Elaboración propia.

3.6 COSTOS DEL RCM

La implementación de la metodología RCM en la sopladora SBO-6 implica una serie de costos que deben ser evaluados con detenimiento. Estos pueden ser divididos en directos e indirectos. Para los costos directos, se toman en cuenta la adquisición de tecnología y herramientas de monitoreo; la inversión en estas es crucial para obtener datos precisos que sustenten las decisiones de mantenimiento. Repuestos y materiales, y la capacitación del personal. Esto implica programas de formación y entrenamiento, asegurando que el equipo técnico esté preparado para implementar y mantener los nuevos procedimientos.

Por otro lado, los costos indirectos, que involucran la posible reorganización de rutinas de mantenimiento y el impacto en la productividad, ya que, durante el período de adaptación a la nueva metodología, puede haber una disminución temporal en la productividad. Los ajustes a las nuevas prácticas y la curva de aprendizaje del personal pueden afectar el rendimiento operativo.

La implementación del RCM representa una inversión significativa en términos de costos directos e indirectos. No obstante, estos costos son una inversión estratégica hacia la mejora de la confiabilidad, la reducción del tiempo de inactividad y la optimización de las operaciones de mantenimiento. La clave para el éxito radica en una planificación cuidadosa, una capacitación adecuada del personal y una transición bien gestionada hacia las nuevas prácticas de mantenimiento. Con el tiempo, los beneficios del RCM superarán con creces los costos iniciales, proporcionando una base sólida para un mantenimiento eficiente y efectivo.

3.7 **COSTO DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

Circuito de aire 40 bar	\$ 1.820.000
Sistema horno	\$ 1.330.000
Costo RCM Anual	\$ 3.150.000

Tabla 3-5, Costo de RCM Anual SBO-6.

Fuente: Elaboración propia.

El costo total anual de las tareas de mantenimiento propuestas asciende a \$3.150.000 CLP. Este presupuesto incluye diversos elementos esenciales para llevar a cabo las labores de mantenimiento de manera efectiva y eficiente. No solo abarca los costos de insumos, materiales y herramientas necesarias para cada acción específica, sino también las tarifas por hora del personal calificado para ejecutar cada tarea. Estas tarifas varían según la especialización del trabajador y la cantidad de horas dedicadas a la tarea. Además, se considera cuidadosamente la frecuencia de cada actividad de mantenimiento, asegurando una gestión adecuada de los recursos y una planificación efectiva para mantener la operatividad del equipo.

3.8 **COSTOS POR INDISPONIBILIDAD SBO-6**

Para cuantificar el impacto económico de las detenciones de la sopladora SBO-6, se realizó un análisis del costo de oportunidad por unidad no producida, basado en el margen de contribución de la empresa. Debido a la variabilidad de formatos producidos por la línea (500 ml, 2 L y 3 L), se desarrolló el análisis para cada uno de ellos.

El valor de referencia se obtuvo a partir de precios de mercado observados en un canal de distribución mayorista de la marca Piri. Dado que los valores corresponden a una venta mayorista y no al precio directo de fábrica, se descontó el IVA (19%) para obtener el valor neto de venta, y se consideró un margen sobre el costo estimado en 20%, ante la ausencia de un dato específico y verificable sobre el mercado mayorista de bebidas en Chile. Sobre el valor de venta estimado de fábrica, se aplicó un margen bruto de 40%, obtenido mediante benchmarking con la industria de bebidas embotelladas en Chile, ante la falta de información de costos internos de la empresa. Este margen corresponde al reportado en los estados financieros de 2025 de Embotelladora Andina S.A. y Coca-Cola Embonor S.A.

Formato	Valor bruto	Valor neto	Valor estimado venta embotelladora	Margen bruto	Margen de contribución
500 ml	\$ 450	\$ 378	\$ 315	40%	\$ 126
2 L	\$ 850	\$ 714	\$ 595		\$ 238
3 L	\$ 1.090	\$ 916	\$ 763		\$ 305

Tabla 3-6, Estimación de margen de contribución por formato.

Fuente: Elaboración propia en base a precios de mercado y estados financieros 2025 de Embotelladora Andina S.A. y Coca Cola Embonor S.A.

Considerando la cadencia nominal de 5.800 botellas/h de la sopladora SBO-6, el tiempo promedio fuera de servicio (TPFS) de 1,88 Horas, y el registro histórico de 32 fallas en el horizonte evaluado de 15 semanas (promedio de 2,13 fallas/semana), se obtienen los siguientes resultados por formato.

Formato	CLP/h	CLP/falla	CLP/semana	CLP/año
500 ml	\$ 731.092	\$ 1.378.033	\$ 2.939.804	\$ 152.869.804
2 L	\$ 1.380.952	\$ 2.602.951	\$ 5.552.963	\$ 288.754.074
3 L	\$ 1.770.868	\$ 3.337.902	\$ 7.120.858	\$ 370.284.636

Tabla 3-7, Costos por indisponibilidad SBO-6 según formato.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados en la tabla constituyen los costos por indisponibilidad estimados para cada formato producido por la línea. Si bien sería posible estimar un valor esperado único, ponderando cada formato según su participación en el tiempo total de producción de la línea, no se dispuso de dicha información ni de trazabilidad respecto al formato en producción durante cada evento de falla histórico. Por lo tanto, el costo anual por indisponibilidad se presenta como un rango definido por los resultados de cada formato (entre \$152.869.804 y \$370.284.636 CLP), cifra que evidencia el impacto económico de las detenciones no programadas.

3.9 ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y RESULTADOS ESPERADOS

Mediante la propuesta de mantenimiento, se espera reducir la frecuencia de fallas para mitigar el impacto económico asociado a la indisponibilidad de la línea. A continuación, se analizarán dos escenarios con sus ahorros esperados: uno optimista, en el que se espera reducir la frecuencia a 1,6 fallas/semana y otro conservador, en el caso que se disminuya a 1,8 fallas/semana.

Dado que el plan aún no ha sido ejecutado, los porcentajes de reducción de fallas de 15% y 25% constituyen proyecciones razonables y no resultados verificados, su valor real solo podrá determinarse una vez implementado el plan, motivo por el cual la frecuencia de fallas debe monitorearse y contrastarse con lo proyectado a medida que avance la ejecución del plan.

	Escenario		
	Actual	Conservador	Optimista
Fallas/Semana	2,13	1,8	1,6
Costo por Disponibilidad Semanal	\$ -2.939.804 a \$ -7.120.858	\$ -2.480.460 a \$ -6.008.224	\$ -2.204.853 a \$ -5.340.644
Costo por Disponibilidad Anual	\$ -152.869.804 a \$ -370.284.636	\$ -128.983.897 a \$ -312.427.662	\$ -114.652.353 a \$ -277.713.477
Costo RCM Anual	-	\$ -3.150.000	\$ -3.150.000
Ahorro Anual	-	\$ 20.735.907 a \$ 54.706.974	\$ 35.067.451 a \$ 89.421.159

Tabla 3-8, Evaluación económica y ahorros anuales proyectados.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados expuestos en la tabla, se observa que en el escenario conservador (reducción a 1,8 fallas/semana), se genera un ahorro por indisponibilidad entre 20.735.907 y 54.706.974 CLP anuales, según el formato en producción. Por otro lado, en el escenario optimista (reducción a 1,6 fallas/semana), el ahorro se ubica entre 35.067.451 y 89.421.159 CLP. Esto demuestra que incluso en el extremo inferior del rango, existe un beneficio económico significativo al hacer una transición desde el mantenimiento reactivo hacia un enfoque proactivo, lo que justifica la inversión requerida para la implementación del plan propuesto.

	Escenario		
	Actual	Conservador	Optimista
Disponibilidad SBO-6	95,26%	96,00%	96,44%
Horas Recuperadas (h/año)	-	32,67	52,27
Capacidad Liberada (unid./año)	-	189.494	303.191
OPI Línea 2	78,66%	79,40%	79,85%

Tabla 3-9, Impacto operacional y resultados esperados.

Fuente: Elaboración propia.

Al disminuir la frecuencia de fallas, la disponibilidad de la sopladora SBO-6 se eleva desde el 95,26% actual hasta un 96% en el escenario conservador, y un 96,44% en el optimista. Este aumento se traduce en la recuperación de 32,67 y 52,27 horas de operación anuales, lo que libera una capacidad productiva equivalente a 189.494 y 303.191 botellas, respectivamente. Este impacto operativo se transfiere de forma directa al indicador OPI, elevándolo desde su valor base de 78,66% hasta un 79,4% y un 79,85% para cada caso, lo que permitirá absorber los futuros incrementos en la demanda de la planta.

Al evaluar el comportamiento de los escenarios propuestos, se evidencia que cualquier incremento proyectado en la disponibilidad se transfiere de manera directa al indicador OPI de la línea. Se reconoce como limitación del presente estudio que, ante la

inexistencia de registros históricos respecto a las variaciones de velocidad (rendimiento), el análisis se desarrolló bajo un supuesto de rendimiento constante e ideal. De esta manera, la evaluación se concentra exclusivamente en los beneficios obtenidos mediante la reducción de fallas y el aumento del tiempo de producción.

3.10 CONCLUSIONES

La metodología RCM es una herramienta fundamental para comprender la criticidad de cada activo dentro de una planta y determinar estrategias de mantenimiento que aseguren su funcionamiento óptimo. Para el desarrollo de esta propuesta orientada a la optimización del proceso de mantenimiento, fue esencial la colaboración de los distintos trabajadores, desde el jefe de Mantenimiento hasta los técnicos mantenedores. Gracias a la subgerencia de operaciones se pudo recopilar información clave sobre el proceso productivo y su historial de fallas.

Esta información permitió jerarquizar los activos según su nivel de criticidad mediante un diagrama de dispersión logarítmica, seleccionando a la sopladora SBO-6 como el equipo más crítico. Estos antecedentes determinaron un MTBF de 39,75 horas y un TPFS de 1,88 horas, demostrando que pese a tener una disponibilidad del 95,26%, el equipo es responsable directo del 22,22% de las pérdidas totales por ineficiencia en la línea 2.

El uso de herramientas del RCM, como el FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad) fue crucial para identificar las funciones del equipo, los tipos de fallas y sus consecuencias operacionales, logrando priorizar los modos de falla más relevantes.

A partir de este análisis, se estructuró un plan de tareas de mantenimiento orientado a mitigar el impacto de las fallas funcionales en el proceso productivo. Si bien la implementación de esta metodología requiere inversiones en insumos, repuestos y mano de obra calificada, la propuesta resulta factible para la empresa, generando beneficios económicos tanto para el área de mantenimiento como para producción al mitigar directamente ese 22,22% de pérdidas por ineficiencia asociadas exclusivamente a este equipo.

De esta manera, se da cumplimiento al objetivo general del trabajo, proponiendo un plan de mantenimiento que incrementará la disponibilidad del activo, elevando el OPI efectivo de la línea hasta un máximo proyectado de 79,85% y liberando una capacidad operativa que permitirá afrontar futuros aumentos en los volúmenes de producción.

3.11 RECOMENDACIONES

La implementación del RCM en la sopladora SBO-6 debe considerarse como una base para la planta, dado que corresponde a una estrategia que puede ser replicable en el resto de los activos, generando un beneficio potencial en la disponibilidad y rendimiento de las líneas de producción.

La efectividad en la implementación del RCM depende del aporte fundamental de los trabajadores, quienes son agentes clave para una gestión eficaz de la metodología. Para asegurar la sostenibilidad de este enfoque a lo largo del tiempo, resulta indispensable establecer una política estricta de registros detallados para cada falla, documentando minuciosamente las causas raíz y los componentes afectados, ya que la precisión de estos datos históricos es el pilar fundamental para la retroalimentación continua del FMECA.

Dado que este trabajo corresponde a una propuesta de implementación, se recomienda monitorear los indicadores de confiabilidad (MTBF, TPFS) una vez iniciada la ejecución del plan, con el fin de contrastar el comportamiento real con los escenarios conservador y optimista proyectados.

Asimismo, se recomienda registrar los eventos de falla asociados a cada componente intervenido, lo que permitirá contrastar la frecuencia inicial de cada tarea con el comportamiento observado y ajustarla en caso de ser necesario.

Por otra parte, se recomienda orientar los esfuerzos hacia la reducción del TPFS mediante la implementación de procedimientos de mantenimiento estandarizados y el aseguramiento de la disponibilidad de repuestos críticos. Una disminución en estos tiempos de respuesta e intervención impactará de forma directa en el incremento de la disponibilidad operativa de los equipos.

3.12 REFERENCIAS

Coca-Cola Embonor S.A. (2026). *Estados Financieros Consolidados al 31 de diciembre de 2025 y 2024*. Santiago, Chile. <https://www.embonor.cl/wp/wp-content/uploads/2021/06/Set-Completo-12-2025.pdf>

Distribuidora Santiago. (2026). *Display Bebida Piri Cola 3L*. <https://distribuidorasantiago.cl/producto/bebida-piri-cola-3l/>

Distribuidora Santiago. (2026). *Display Bebida Piri Cola 500 CC*. <https://distribuidorasantiago.cl/producto/bebida-piri-cola-500-cc/>

Embotelladora Andina S.A. (2026). *Estados Financieros Consolidados al 31 de diciembre de 2025 y 2024*. Santiago, Chile. <https://koandina-prod-files-bucket.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2026/01/27215551/4T25-FECU-ES.pdf>

Moubray, J. (2004). *RCM: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Edición en español. Asheville, NC: Aladon LLC.

SAE International. (2009). *JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Warrendale, PA: SAE International.

Sidel. (s.f.). *Manual de operación sopladora SBO-6*.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. 2ª ed. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.