

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MOLDES DE
INYECCIÓN DE PREFORMA EN IBERPLAST S.A.S.

CARLOS ANDRÉS JIMÉNEZ MORENO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C.
2021

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MOLDES DE
INYECCIÓN DE PREFORMA EN IBERPLAST S.A.S.

CARLOS ANDRÉS JIMÉNEZ MORENO

Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ, D.C.
2021

Bogotá, febrero de 2021
Nota de aceptación:

Ing. Edgar Arturo Chalá
Jurado 1

Ing. Bolivar Andrés Monroy
Jurado2

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Administrativa

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GARCIA

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	17
1.1 MISIÓN	22
1.2 VISIÓN	22
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PREFORMAS	23
3. GENERALIDADES DEL PET	37
3.1 Tipos de resina PET	37
3.2 Características del PET	38
3.2.1. Variables de control	39
4. MOLDES GPET, HYPET y HPP USADOS PARA LA INYECCIÓN DE PREFORMAS	40
4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	40
4.1.1. Partes de un molde de inyección de preforma.	42
4.1.2. Variables de control.	54
4.1.3. Sistemas de funcionamiento de moldes Husky.	55
4.1.3.1. Mecánico.	55
4.1.3.2. Eléctrico.	55
4.1.3.3. Neumático.	55
4.1.3.4. Refrigeración.	56
5. DIAGNÓSTICO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL EJECUTADO EN LOS MOLDES	57
5.1 LISTADO DE MOLDES PARA INYECCIÓN DE PREFORMAS EN IBERPLAST S.A.S.	57
5.2 MANEJO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MOLDES PARA INYECCIÓN DE PREFORMAS EN IBERPLAST S.A.S.	58
5.2.1. Descripción de actividades preventivas de mantenimiento actual.	59
5.2.2. Descripción de actividades del mantenimiento general de los moldes.	61
5.2.3. Programación periódica actual de los mantenimientos.	67
5.2.4. Relación de defectos en la preforma con averías de los moldes.	68

5.2.5.	Histórico de cavidades anuladas en el segundo semestre del 2019.	70
5.2.6.	Documentos para el mantenimiento.	71
5.2.7.	Histórico de mantenimiento preventivo en 2019.	72
5.2.8.	Costos aproximados de mantenimiento actuales.	73
5.3	CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO	74
5.3.1.	Ejecución de tareas básicas y rutinarias (limpieza, lubricación y almacenamiento).	74
5.3.2.	Estructurar de inventario de moldes.	75
5.3.3.	Listado de actividades preventivas básicas.	75
5.3.4.	Listado de actividades de mantenimiento preventivos mayores.	75
5.3.5.	Formato digital de hoja de vida de los moldes.	75
5.3.6.	Evaluar la capacidad de las herramientas especiales actuales.	75
6.	OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	76
6.1	ESTABLECER FUNCIONES Y TAREAS	76
6.1.1.	Actividades básicas de limpieza.	76
6.1.2.	Mantenimiento general del molde	85
6.2	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA	88
6.3	RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS	97
6.4	ANÁLISIS FUNCIONAL BASADO EN CONFIABILIDAD	100
6.5	EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS	103
6.6	DETERMINACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO	105
6.7	AGRUPACIÓN Y REVISIÓN DE LOS PROCESOS FUNCIONALES	106
6.8	INDICADORES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	110
6.8.1.	Indicador de cavidades anuladas	111
6.8.2.	Indicador de temporal mantenimiento preventivo	111
7.	EVALUACIÓN FINANCIERA E IMPACTO AMBIENTAL	113
7.1	EVALUACIÓN FINANCIERA	113
7.1.1.	Costos indirectos del mantenimiento preventivo	114
7.1.2.	Costos directos repuestos e insumos	114
7.1.3.	Comparación de costos por mano de obra	116
7.1.4.	Indicadores financieros	117

7.1.5. CONCLUSIONES	118
7.2 MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL	119
7.2.1. Insumos utilizados durante el mantenimiento preventivo	119
7.2.2. Políticas de manejo de los insumos relacionados en iberplast	120
7.2.3. Matriz de impacto	121
8. CONCLUSIONES	123
9. RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	127

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema básico de moldeo por compresión	18
Figura 2. Máquina SACMI de moldeo por compresión	19
Figura 3. Proceso de moldeo en extrusoplado	20
Figura 4. Máquina de extrusoplado	21
Figura 5. Visión general Inyectora HUSKY	22
Figura 6. Componentes generales de una inyectora	23
Figura 7. Componentes de una unidad de inyección	25
Figura 8. Proceso de moldeo por inyección	26
Figura 9. Sistema de formulación de aditivos	27
Figura 10. Diagrama de flujo para la producción del PET	28
Figura 11. Partes de un molde para inyección de plástico	30
Figura 12. Nomenclatura general de las partes de un molde	31
Figura 13. Ciclo de inyección	34
Figura 14. Molde de inyección de preforma Husky HYPET / HPP	42
Figura 15. Molde de inyección de preforma Husky GPET	43
Figura 16. Vista de sección para molde de inyección de preforma Husky GPET	43
Figura 17. Manifold o distribuidor	44
Figura 18. Sistemas obturadores en moldes GPET	45
Figura 19. Sistemas obturadores en moldes HYPET y HPP	46
Figura 20. Componentes de obturadores en moldes HYPET y HPP	47
Figura 21. Cavidad de molde	48
Figura 22. Diseño "Standard Stack" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET	49
Figura 23. Diseño "Front Mounted" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET	49
Figura 24. Diseño "Reverse Taper" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET	50
Figura 25. Diseño "bloqueo por el macho" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes HYPET y HPP	50
Figura 26. Diseño "bloqueo por cavidad" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes HYPET y HPP	51
Figura 27. Chiller Scroll enfriados por agua	52
Figura 28. Robot para moldes GPET	53
Figura 29. Vista de sección de robot para moldes GPET	54
Figura 30. Calzado de la leva/guía de leva	55
Figura 31. Acumulación de polvo PET en cavity plate	60
Figura 32. Material sobre inyectado y degradado en Hot Runner	61
Figura 33. Contador de ciclos en placa móvil	68
Figura 34. Formato para control de cavidades anuladas	111

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Propiedades físicas típicas del PET	39
Cuadro 2. Moldes de inyección Husky usados en Iberplast S.A.S.	57
Cuadro 3. Tipos de moldes Husky GPET, HYPET y HPP	57
Cuadro 4. Ítems por tipos de molde	58
Cuadro 5. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes GPET Husky	62
Cuadro 6. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes HYPET Husky	64
Cuadro 7. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes HPP Husky	66
Cuadro 8. Fallas en moldes Husky relacionadas con las cavidades durante el segundo semestre del 2019	71
Cuadro 9. Mantenimientos preventivos mayores ejecutados en moldes Husky durante el 2019	72
Cuadro 10. Gastos aproximados de servicio técnico para mantenimiento preventivo de moldes	73
Cuadro 11. Repuestos de cambio en mantenimiento preventivo mayor	74
Cuadro 12. Análisis modo falla y efecto, AMFE	90
Cuadro 13. Fallas funcionales	96
Cuadro 14. Codificación de fallas funcionales	97
Cuadro 15. Relación de fallas con actividades de mantenimiento preventivo	98
Cuadro 16. Fallas funcionales y pérdida de funciones por sistema	101
Cuadro 17. Análisis de criticidad por sistema	102
Cuadro 18. Fallas operacionales y ocultas	103
Cuadro 19. Políticas de MP por cada modo de falla	105
Cuadro 20. Estructura de inventario de moldes	107
Cuadro 21. Optimización de ejecución de tareas en MP básico	108
Cuadro 22. Herramientas necesarias ejecutar MP	110

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Actividades básicas de limpieza para un molde completo	78
Tabla 2. Actividades básicas de limpieza para un Hot Runner	80
Tabla 3. Actividades básicas de limpieza para un Core Plate	81
Tabla 4. Actividades básicas de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate	82
Tabla 5. Actividades intermedias de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate	83
Tabla 6. Actividades básicas de limpieza para un Cores	84
Tabla 7. Resumen de tiempos necesarios para mantenimiento preventivo básico	84
Tabla 8. Mantenimiento general placa fija	86
Tabla 9. Mantenimiento general placa móvil	87
Tabla 10. Resumen de tiempos necesarios para mantenimiento preventivo mayor	88
Tabla 11. Estimación del valor de costos indirectos	114
Tabla 12. Insumos usados para el mantenimiento preventivo de moldes Husky	115
Tabla 13. Envases para insumos	115
Tabla 14. Repuestos de recambio en mantenimiento preventivo mayor	116
Tabla 15. Comparación de costos por mano de obra en el mantenimiento preventivo de moldes Husky	117
Tabla 16. Familias de insumos usados en el mantenimiento preventivo	119

GLOSARIO

CAVITY PLATE: placa del molde en la cual se encuentran las cavidades del molde.

CICLOS: medida de trabajo del molde, un ciclo corresponde a una inyección de una o varias piezas.

CORE PLATE: placa del molde en la cual se encuentra los núcleos del molde, esta parte complementa las cavidades para crear el espacio de la pieza a producir.

HOT RUNNER: placa del molde encargada de transferir calor y distribuir el material inyectado a las cavidades del molde.

HUSKY: empresa fabricante de máquinas y moldes para inyección de plástico.

INYECCIÓN: proceso para formar piezas mediante la fundición de material y dosificación del mismo dentro de un molde.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: actividad o rutina ejecutada en uno o más objetos para garantizar su funcionalidad.

MOLDE: elemento para fabricar piezas iguales de manera repetitiva, generalmente se compone de dos partes, las cuales se unen y crean un espacio vacío, en el cual el material trabajado toma forma de la pieza a producir.

NECKRING: conjunto de dos piezas encargadas de formar la rosca de la preforma.

PET: material plástico utilizado generalmente para envasar alimentos, sus siglas traducen "polietilentereftalato".

PMO: método diseñado para optimizar los requerimientos del mantenimiento ejecutado en un objeto o máquina.

PREFORMA: pieza inicial para la fabricación de botellas plásticas.

RESINA PET: material perteneciente a la familia de los poliésteres.

STRIPPER PLATE: sistema de expulsión de preformas desarrollado por Husky.

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto tiene como fin optimizar el plan de mantenimiento preventivo actual ejecutado en los moldes de inyección de preforma en Iberplast S.A.S; empresa productora de preformas para el sector de bebidas. Actualmente el área productiva de mayor importancia en la compañía es la producción de preformas, debido al alta demanda de trabajo en los moldes Husky es necesario contemplar una reducción del tiempo requerido para los mantenimientos y aumento de eficiencia del plan de mantenimiento, interviniendo las actividades desarrolladas, evaluando su orden, tiempos de ejecución, recursos humanos, recursos instrumentales, entre otros; para determinar los ajustes que se realizarán dentro del plan de mantenimiento preventivo actual será necesario revisar el histórico de mantenimiento, recolectar información sobre los puntos críticos de disponibilidad del molde, del mismo modo información sobre la ficha técnica de cada molde para así contemplar de una manera más amplia el funcionamiento de cada molde y las recomendaciones que el fabricante tiene respecto al molde de cada familia (GPET, HyPET y HPP).

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento, preventivo, optimización, cavidades, PET, preforma, inyección, molde, indicadores.

INTRODUCCIÓN

La importancia de este proyecto está en aumentar la disponibilidad de los moldes de inyección de preforma usados en Iberplast S.A.S. e incrementar la eficacia del plan de mantenimiento preventivo, buscando reducir la cantidad de tiempo destinado al mantenimiento y potenciar en cierta medida la eficiencia de producción de preformas. Mediante la recolección de información sobre el proceso de producción y funcionamiento del plan de mantenimiento actual, se hará un diagnóstico del plan de mantenimiento preventivo ejecutado en los moldes, se estudiarán las actividades involucradas en su desarrollo, tiempos, orden y personal requerido para ejecutar el mantenimiento en un tiempo óptimo. De este modo se desarrollará una optimización apoyado en la metodología del PMO, evaluando el procedimiento actual del mantenimiento preventivo y las metodologías usadas para la gestión de información de los moldes, de este modo se entra a modificar y/o adicionar actividades o formatos al plan de mantenimiento. Por último, se evaluará financieramente el proyecto recolectando las variables que intervienen en los mantenimientos preventivos y del mismo se evaluará el impacto y manejo ambiental de los insumos utilizados para el mantenimiento preventivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Optimizar el plan de mantenimiento preventivo ejecutado en los moldes de inyección de preforma usados en IBERPLAST S.A.S.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Compilar información sobre los procesos de inyección de preformas con moldes usados en Iberplast S.A.S.
2. Diagnosticar la situación actual del mantenimiento preventivo ejecutado en los moldes usados en Iberplsat S.A.S.
3. Desarrollar los ajustes requeridos al plan de mantenimiento preventivo ejecutado en los moldes usados en Iberplsat S.A.S; de acuerdo con el diagnóstico realizado.
4. Elaborar matriz de impacto ambiental y evaluación financiera de la implementación del proyecto.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

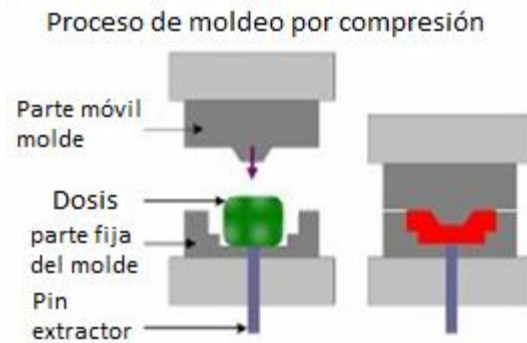
Iberplast S.A.S. es una compañía dedicada a la fabricación y comercialización nacional e internacional de tapas y preformas, elaborados con resinas plásticas, acero cromado y aluminio, para bebidas carbonatadas, agua mineral, licores y productos farmacéuticos entre otros. Adicionalmente, provee servicios de impresión en lámina metálica con la mejor tecnología.¹

En la compañía iberoamericana de plásticos Iberplast S.A.S. en el área de producción plástica existen métodos de manufactura de extrusoplado, termocompresión e inyección de plástico. Industrialmente los procesos más comunes durante la manufactura de las resinas plásticas son moldeo por inyección, compresión, transferencia, soplado, rotatorio, extrusión, calandrado, espumado, laminación, revestimiento, maquinado y colado de moldes.

El proceso de termocompresión o moldeo por compresión, consiste en dosificar plástico entre un dado caliente para que posteriormente, una parte complementaria comprime el material hasta llenar la matriz del molde y formar la pieza. Las partes del molde, macho y hembra, tienen sistemas de calefacción, refrigeración y neumáticos, con el fin de formar la pieza dentro de los parámetros de trabajo del material usado, sin perder las propiedades mecánicas de la parte termoformada, los elementos en contacto con la materia prima tienen tratamientos superficiales, para dar un acabado a la parte termoformada y su proceso de desmoldeo. En la figura 1, se representa un esquema básico del moldeo por compresión, en el cual se usan presiones en un rango de 140 a 700 Kg/cm².

¹ IBERPLAST S.A.S, Compañía iberoamericana de plásticos. Definición de Iberplast S.A.S como compañía. 2015. Disponible en: <https://www.iberplast.com.co/quienes-somos>

Figura 1. Esquema básico de moldeo por compresión



Fuente: Proffesional Plastics. Moldeo por compresión. [En línea] [Consultado: 14.03.19] Disponible en:

<https://www.professionalplastics.com/es/COMPRESSIONMOLD.html>

Los tipos de moldeo por compresión son de “Rebaba”, “Positivo” y “Semipositivo”, para producción de piezas superficiales o planas, de alta densidad y de gran cantidad, respectivamente. Las piezas más comunes fabricadas por medio de este proceso son componentes eléctricos, platos, manijas, tapas, cajas, entre otros. Las máquinas empleadas para este tipo de moldeo, ver figura 2, cuentan con sistemas de calefacción, refrigeración por agua, sistemas sofisticados de control para producciones rápidas, sistema hidráulico y neumático.

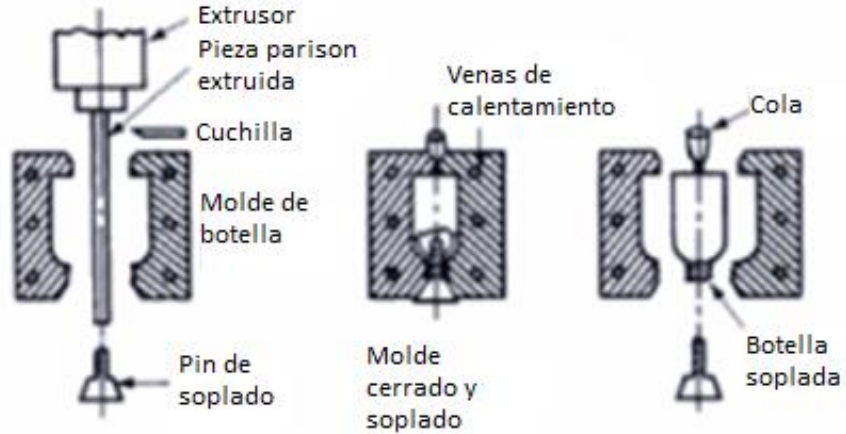
Figura 2. Máquina SACMI de moldeo por compresión



Fuente: SACMI. Termocompresoras. [En línea]
[Consultado: 14.03.19] Disponible en:
<https://www.sacmi.com/en-US/plastics/Plastic-caps>

Por otro lado, el extrusoplado es la suma de dos procesos para la producción de piezas plásticas, inicialmente el material se debe extruir en forma de tubo (manga), el cual cae de manera vertical, durante su caída pasa entre el molde de la pieza a formar, posteriormente el molde se cierra e inicia el proceso de soplado hasta formar completamente la pieza, como se observa en la figura 3, las presiones del aire durante el soplado de la pieza están dentro del rango de 350 a 700 kPa. Después de que la pieza termina de formarse, el molde abre, la pieza se retira del molde, según sea el sistema de extracción y continúa el proceso de fabricación de las piezas.

Figura 3. Proceso de moldeo en extrusoplado



Fuente: Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación

La máquina empleada para este proceso, ver figura 4, cuenta con un conjunto de sistemas mecánicos, eléctricos, térmicos, de refrigeración, hidráulicos y neumáticos, los cuales trabajan paralelamente para conseguir obtener inicialmente la extrusión del tubo de material semilíquido, conocido industrialmente como parison, posteriormente el proceso de soplado y finalmente la producción de la pieza.

Figura 4. Máquina de extrusoplado



Fuente: LIBERTY. Extrusión Soplado. [En línea] [Consultado: 14.03.19] Disponible en: <https://libertyplasticsinc.com/solutions/manufacturing-solutions/capabilities/>

En cuanto a la inyección de plásticos, es el método más utilizado en el campo de producción de piezas plásticas, debido a que tiene una capacidad de producción en serie. Este proceso principalmente trabaja con termoplásticos moldeables, la presentación de la materia prima es en polvo o gránulos sólidos. El equipo utilizado para la producción de piezas plásticas es una inyectora, véase en la Figura 5.

Figura 5. Visión general Inyectora HUSKY



Fuente: HUSKY. Inyectora HyPET. [En línea]
[Consultado: 14.03.19] Disponible en:
http://www.husky.co/_res/i/interior/HyPET-systems.png

1.1 MISIÓN

En Iberplast S.A. mediante la utilización eficiente de nuestro excelente talento humano que está en permanente formación, de los recursos físicos disponibles y de la más avanzada tecnología en sus equipos, trabajamos para producir y comercializar envases y empaques elaborados con resinas plásticas, acero cromado o aluminio, y la prestación de servicios de impresión en lámina metálica que cumplan las normas nacionales e internacionales, o acuerdos privados de calidad, trabajando siempre con responsabilidad y respeto por los clientes, los colaboradores, la comunidad y el medio ambiente, tomando siempre como base los objetivos y las políticas de los accionistas, para afianzar nuestra posición en el mercado nacional y expandirnos a nivel internacional.²

1.2 VISIÓN

Ser la empresa líder en el mercado nacional y reconocido internacionalmente en la industria de envases y empaques plásticos y metálicos (acero o aluminio), con estándares y normas de categoría mundial en armonía con la calidad y el medio ambiente con decidido trabajo en equipo, proyectándonos a nivel subregional e internacional la imagen de la compañía.³

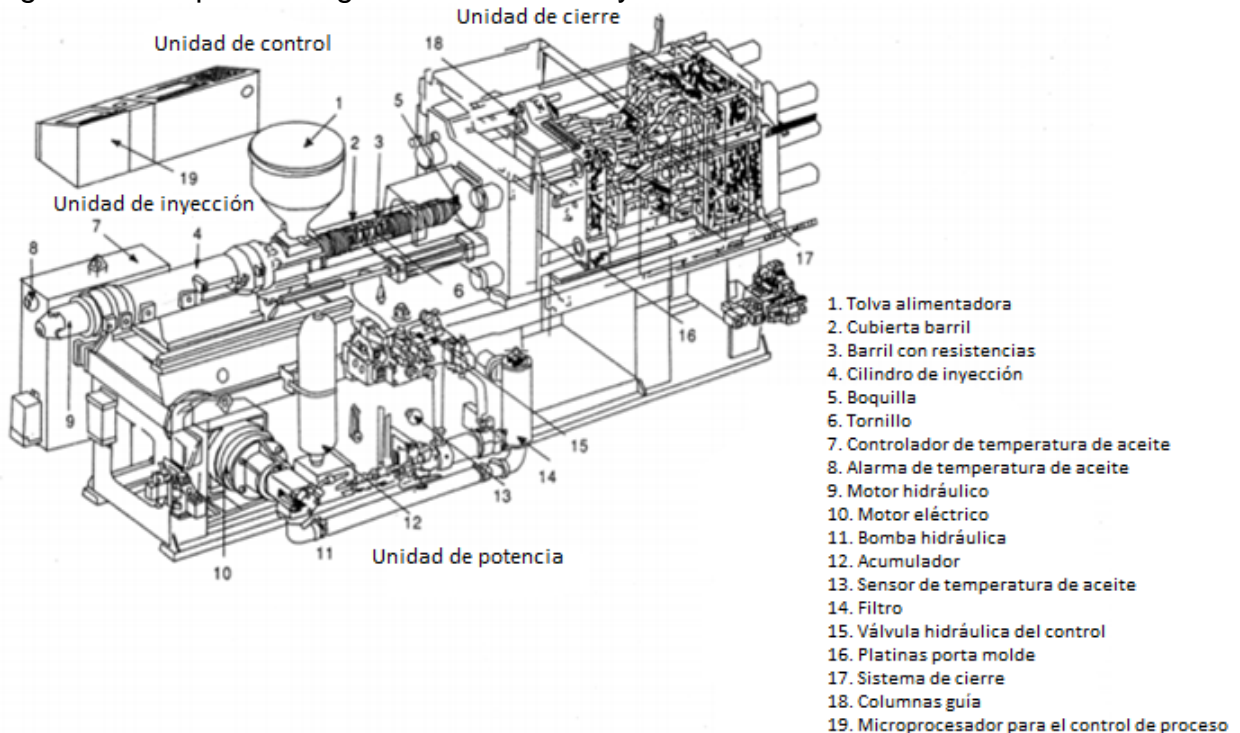
² IBERPLAST S.A.S. Quienes somos [en línea]. Madrid, Colombia 2020. [Consultado: 20 de junio de 2019]. Disponible en internet: <https://www.iberplast.com.co/quienes-somos>

³ IBERPLAST S.A.S. Quienes somos [en línea]. Madrid, Colombia 2020. [Consultado: 20 de junio de 2019]. Disponible en internet: <https://www.iberplast.com.co/quienes-somos>

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PREFORMAS

El funcionamiento de una inyectora de plástico está contemplado en tres etapas, la primera se desarrolla en la unidad de inyección, véase en Figura 6. En esta etapa el material inicia su proceso de transformación, luego de pasar por un sistema de secado y calentamiento, el PET se conduce por mangueras especiales resistentes a altas temperaturas y al desgaste, para evitar contaminación en el producto a inyectar; mediante un dosificador neumático, ubicado en la parte superior de la tolva se controla el flujo de material que ingresa al cilindro, una vez el material se encuentra dentro del cilindro, un grupo de resistencias implanta calor al PET hasta alcanzar el punto de fusión (240-245 °C), una vez dentro el tornillo o husillo inicia a girar, este movimiento es aplicado bien sea por un motor hidráulico o por un motor eléctrico.

Figura 6. Componentes generales de una inyectora



Fuente: Enrique Maya Ortega. Diseño de moldes de inyección de plástico con Ingeniería concurrente. [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16404/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20moldes%20de%20inyecc%C3%83%C2%B3n%20de%20pl%C3%83%C2%A1stico%20con%20Ingenier%C3%83%C2%ADa%20concurrente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

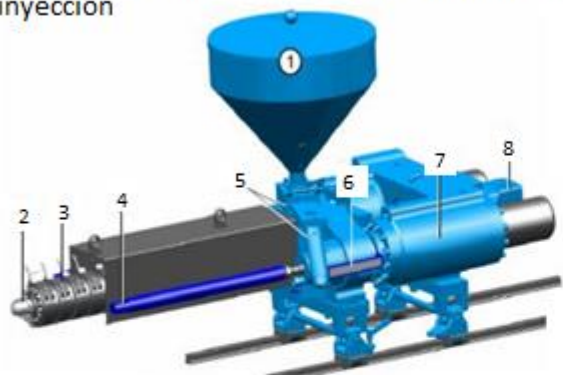
La Figura 6, muestra los componentes generales de una inyectora de plástico entre la unidad de cierre e inyección, a continuación, se describen las partes fundamentales de la inyectora.

- Tolva de alimentación: sistema por el cual se dosifica la materia prima al tornillo reciprocante, las paredes de la tolva son inclinadas para conducir el material continuamente.
- Calefactores: es un grupo de resistencias eléctricas alrededor del cilindro, su función es generar calor para que la materia prima llegue a un estado semisólido y pueda ser inyectada.
- Cilindro: objeto geométrico formado por una superficie curva y cerrada, con sección transversal circular, el cual almacena y conduce el material por la fuerza ejercida por el tornillo hasta la boquilla.
- Tornillo reciprocante: objeto de metal con un diseño especial de álabes que gira por acción de un motor, bien sea hidráulico o eléctrico y transmite el movimiento al material fundido hasta la boquilla.
- Boquilla: es el punto de conexión de la unidad de inyección con la unidad de cierre y el molde, en el cual inicia el llenado del molde para formar la pieza.
- Placa estacionaria: placa en la cual se ubica la parte fija del molde para hacer la inyección.
- Molde: conjunto de dos placas, móvil y fija, el cual, debido a una acción de cierre y la inyección del material en el mismo, forma la pieza.
- Placa móvil: es la encargada de hacer el cierre del molde mediante accionamiento hidráulico, para inyectar el material sin escape del mismo.
- Barras tensoras: conjunto mecánico encargado de mantener cerradas las placas mientras se ejerce la fuerza de inyección.

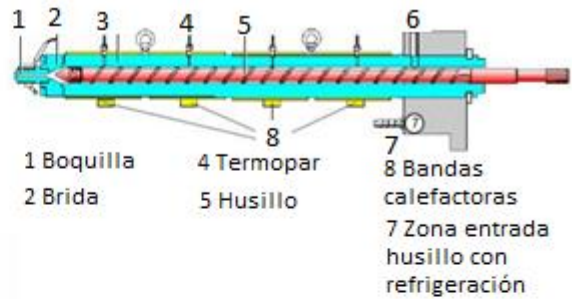
La unidad de inyección es la parte principal del funcionamiento de la máquina, ya que en ese punto la materia prima es expuesta a temperaturas, movimiento, fricción, presión y dosificación, factores que deben controlarse de una manera adecuada para no perder las propiedades del material y afectar el producto al momento de inyectarlo, en la figura 6 se pueden reconocer de manera más detallada las partes relacionadas con la unidad de inyección.

Figura 7. Componentes de una unidad de inyección

Grupos principales de montaje de una unidad de inyección



- 1 Tolva de material
- 2 Boquilla
- 3 Cilindro plastificador
- 4 Fijación vástago de cilindro
- 5 Zona de entrada refrigerada con termopar
- 6 Indicador de posición para husillo
- 7 Cilindro de inyección hidráulico
- 8 Hidromotor para accionamiento husillo



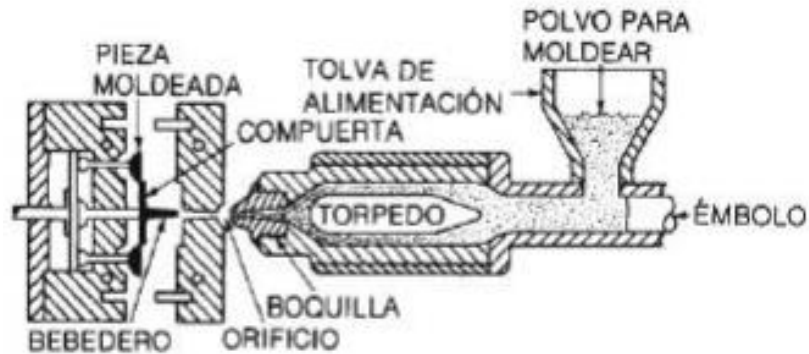
- 1 Boquilla
- 2 Brida
- 3 Termopar
- 4 Termopar
- 5 Husillo
- 6 Indicador de posición para husillo
- 7 Zona entrada husillo con refrigeración
- 8 Bandas calefactoras



Fuente: CFR. Proceso de inyección. [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible en: https://www.edu.xunta.gal/centros/cfrvigo/aulavirtual2/pluginfile.php/7262/mod_resource/content/0/02_inyeccion.pdf

Una vez se carga material al cilindro, la unidad de inyección conecta la boquilla con la siguiente etapa de funcionamiento, la unidad de cierre, observar figura 8, esta parte del proceso es fundamental para formar correctamente la pieza, al trabajar continuamente con la tercera etapa, el molde, observar figura 8, el cual es instalado en la unidad de cierre, compuesta de un cilindro hidráulico el cual genera la fuerza de cierre entre un par de placas, móvil y fija. El molde se compone de dos partes, instalados en cada una de las placas anteriormente nombradas, al hacer el cierre del molde el material contenido en el cilindro es inyectado en el molde, posteriormente el molde inicia un proceso de refrigeración de la pieza para luego ser retirada.

Figura 8. Proceso de moldeo por inyección

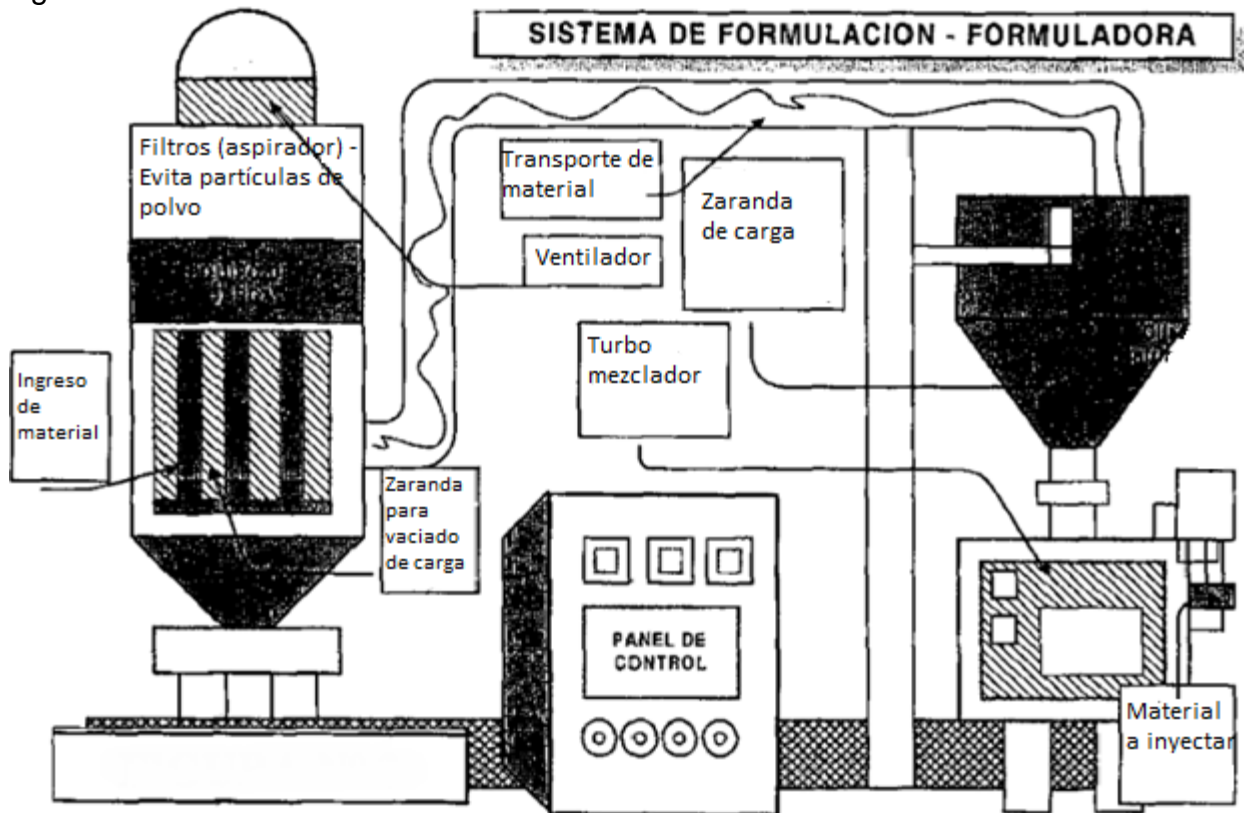


Fuente: Moldeo por Inyección. Diagrama principal de inyectora. [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible en:

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3430258>

En el proceso de inyección de plástico PET se adicionan aditivos para modificar las características del producto, como cristalinidad, plasticidad, índice de porosidad, color, entre otros. Industrialmente se establece una relación de peso para determinar la cantidad de aditivo que se adicionará según sean las características del producto inyectado. El proceso de mezcla entre la resina y los aditivos debe ser una mezcla completamente homogénea mediante el trabajo simultáneo de un sistema de formulación, como lo muestra la figura 9, para este proceso de mezcla se carga la resina con determinada cantidad de aditivos, inicialmente entra a un silo con zarandadas y filtros para aspirar el polvo producido durante el flujo del material, luego mediante tuberías en acero inoxidable y mangueras en PVC flexible hasta el silo independiente de la inyectora, en el cual otra zaranda recibe el material para que posteriormente ser dosificado en el tornillo extrusor de la máquina, en este punto es posible adicionar pigmento para dar determinado color al producto que se va a inyectar.

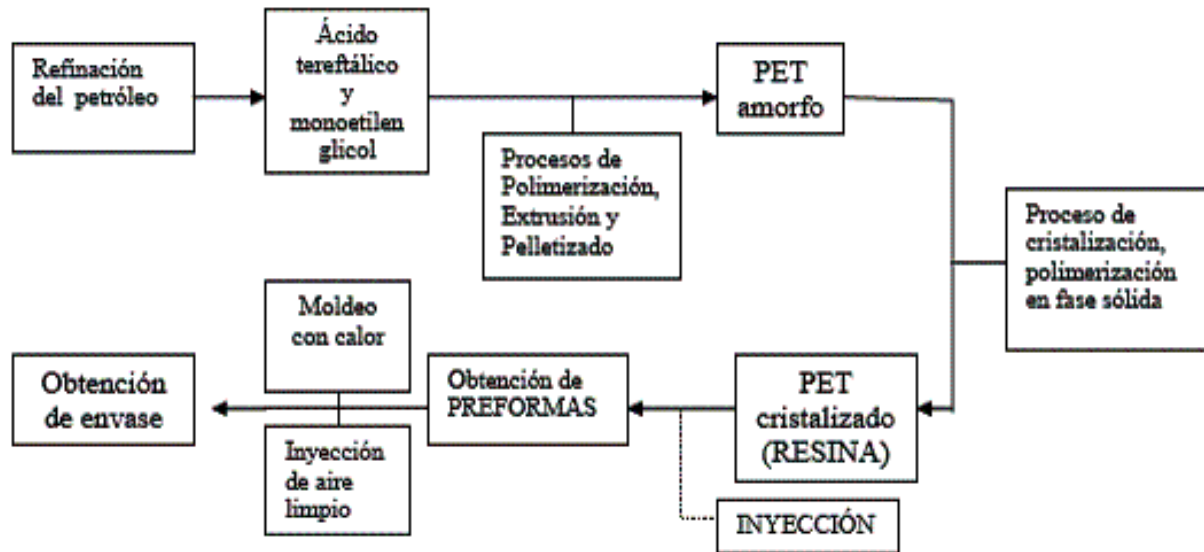
Figura 9. Sistema de formulación de aditivos



Fuente: Jose Luis Carrion. Proceso de Fabricación de Productos Plásticos. [En línea] [Consultado: 14.07.19] Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6568/5834>

En el proceso de inyección para la fabricación de productos plásticos se puede emplear como materia prima el PET (Polietilén Tereftalato), una resina manufacturada en forma de polvo o gránulos, véase en la Figura 10; patentada por J.R. Whinfield y J.T. Dickinson en 1941. Este material es un derivado del petróleo y se comporta como un polímero termoplástico lineal, es decir que su configuración química de átomos de carbono en la cadena principal tiene enlaces entre sí con ángulos cercanos a los 109° , las ramificaciones lineales de los enlaces incrementan la separación entre las cadenas y permiten un volumen libre en el material. El PET pertenece a la familia de los poliésteres, se caracteriza por tener una estructura altamente cristalina, su clasificación está delimitada por la viscosidad intrínseca por la relación proporcional presente con el peso molecular y la modificación polimérica, cambiando el punto de fusión y cristianización.

Figura 10. Diagrama de flujo para la producción del PET
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCIÓN DEL PET



Fuente: QUIMINET. Proceso de Producción del PET. [En línea] [Consultado: 14.05.19] Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/proceso-de-produccion-del-pet-2561170.htm>

El proceso inyección de plástico se desarrolla en moldes, los cuales se clasifican según sus características físicas y de trabajo.⁴

- a. Tamaño
 - i) Grandes
 - ii) Pequeños

- b. Cantidad de cavidades
 - i) Única
 - ii) Múltiples

- c. Ciclo de trabajo
 - i) Manual

⁴ MAYA ORTEGA, Enrique. Diseño de moldes de inyección de plástico con ingeniería concurrente [en línea]. Maestro en ciencia con especialidad de ingeniería mecánica. México, D.F: Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Estudios De Posgrado E Investigación 2007. 25 p. [Consultado: 26 de julio de 2019. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16404/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20moldes%20de%20inyecci%C3%83%C2%B3n%20de%20pl%C3%83%C2%A1stico%20con%20Ingenier%C3%83%C2%ADa%20concurrente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- ii) Automático
- iii) Semiautomático

d. Construcción

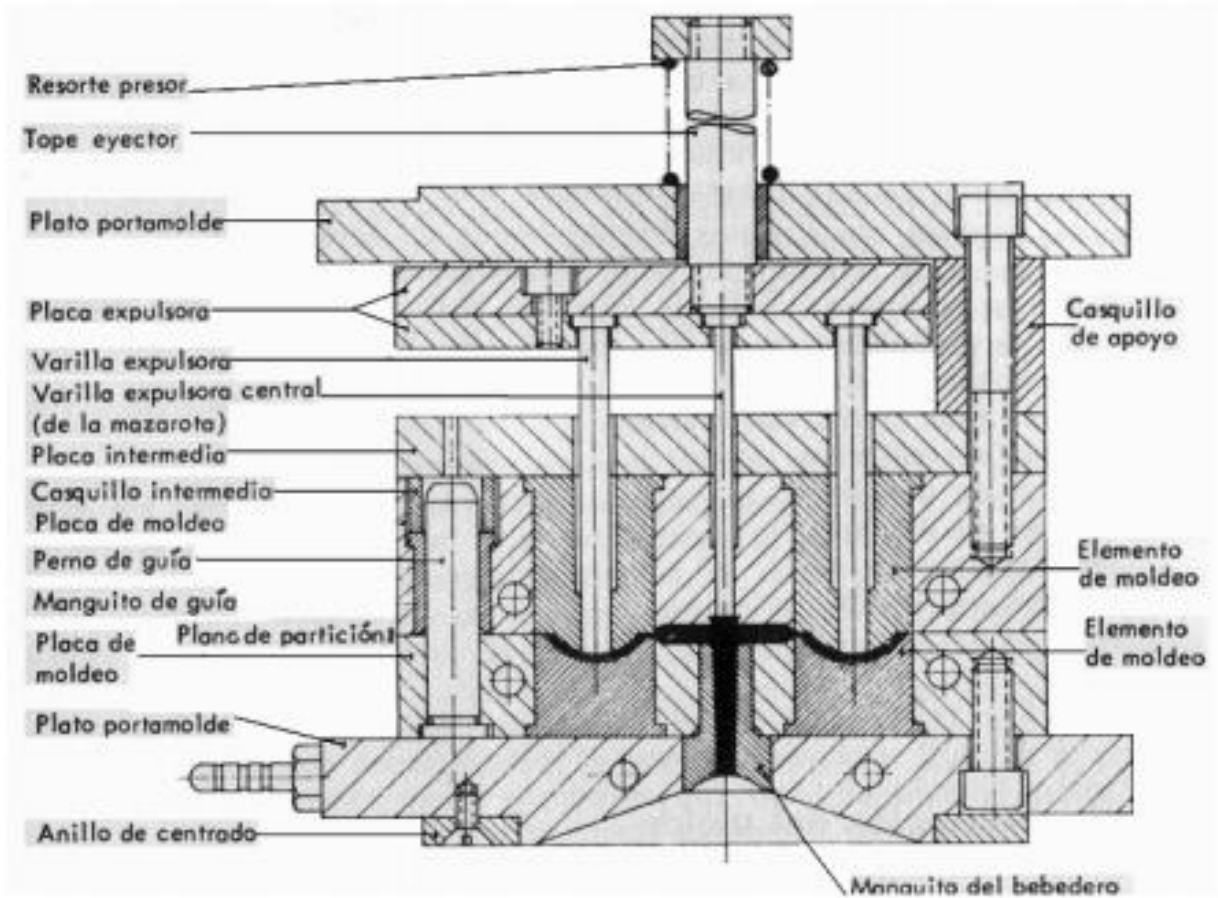
- i) Dos mitades o platos
- ii) Tres placas
- iii) Sin sobrantes

Los sistemas fundamentales presentes en la mayoría de moldes son:

- Alimentación
- Expulsión
- Refrigeración
- Guiado de molde

De acuerdo a la complejidad y necesidad del molde se adicionan partes o se suprimen al no ser necesarias, en la figura 11, se pueden observar algunas de las partes que componen un molde usado para la inyección de plástico.

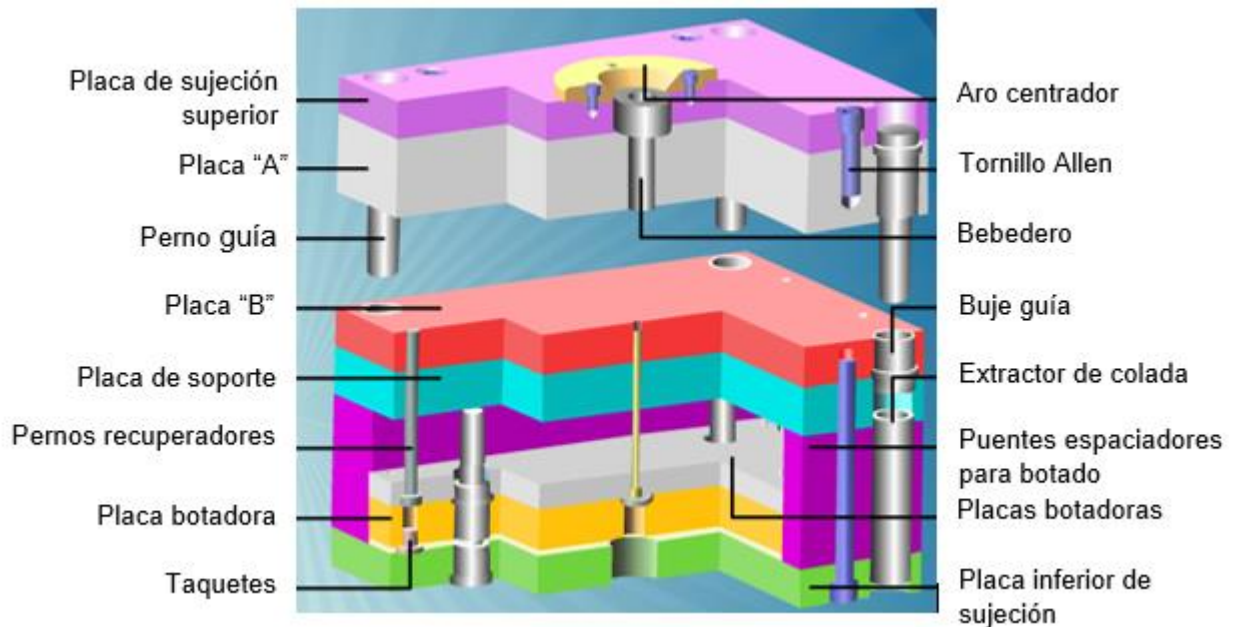
Figura 11. Partes de un molde para inyección de plástico



Fuente: Enrique Maya Ortega. Diseño de moldes de inyección de plástico con Ingeniería concurrente. [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16404/Dise%C3%83%C2%B1o%20de%20moldes%20de%20inyecci%C3%83%C2%B3n%20de%20pl%C3%83%C2%A1stico%20con%20Ingenier%C3%83%C2%ADa%20concurrente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De acuerdo a la anterior imagen se observa que el molde está compuesto por una gran cantidad de partes, las cuales se describen a continuación y se pueden ubicar según lo muestra la figura 12.

Figura 12. Nomenclatura general de las partes de un molde



Fuente: Módulo didáctico. Dealey's Mold Engineering Inc. 2006. 01. Nomenclatura / Terminología general del molde

- Placa de sujeción superior (PFS): es utilizada para fijar la placa fija del molde a la placa fija de la unidad de cierre. La PFS también asegura las cavidades, pernos guías, entre otros componentes dependiendo del molde. La alineación entre la PFS y la placa "A" se hace mediante pernos centradores (dowel pin) y para la unión entre estas placas se usan tornillos Allen de alta resistencia. La PFS debe ser plana con el fin de que las cavidades tengan una superficie uniforme de respaldo y debe ser paralela a las demás placas para mantener una simetría que brinde precisión.
- Placa "A": esta placa contiene las cavidades del molde y hace parte del lado fijo del molde. Sobre esta placa se encuentra la placa de refrigeración y los pernos guía, según el diseño se ubican los Candados, los cuales cumplen la función de alinear la placa "A" y "B", ya que estas son la línea de partición del molde. Su geometría debe ser plana y paralela a las demás placas para obtener una pieza sin defectos. Sobre la placa "A" se encuentran las cavidades, las cuales pueden ser mecanizadas sobre la placa o ensambladas como insertos dentro de alojamientos que pueden ser pasantes o con determinada profundidad según sea el diseño de la pieza.
- Perno guía: son los encargados de alinear la placa "A" y "B" durante el cierre de ambas placas, se usan en grupos de cuatro o dos, según sea el tamaño del molde, del mismo modo se determina el diámetro, contemplando también el peso del molde. Los pernos guía se complementan con bujes ubicados en la placa "B", los cuales guían durante la inserción en la placa, los pernos guía es la primera parte de cada placa que entra en contacto entre sí, para garantizar una correcta alineación. La longitud de los pernos

está dada por la suma de los espesores de ambas placas (“A” y “B”) y adicionalmente 25 mm, sin embargo, debe recalcularse de acuerdo al diseño del molde.

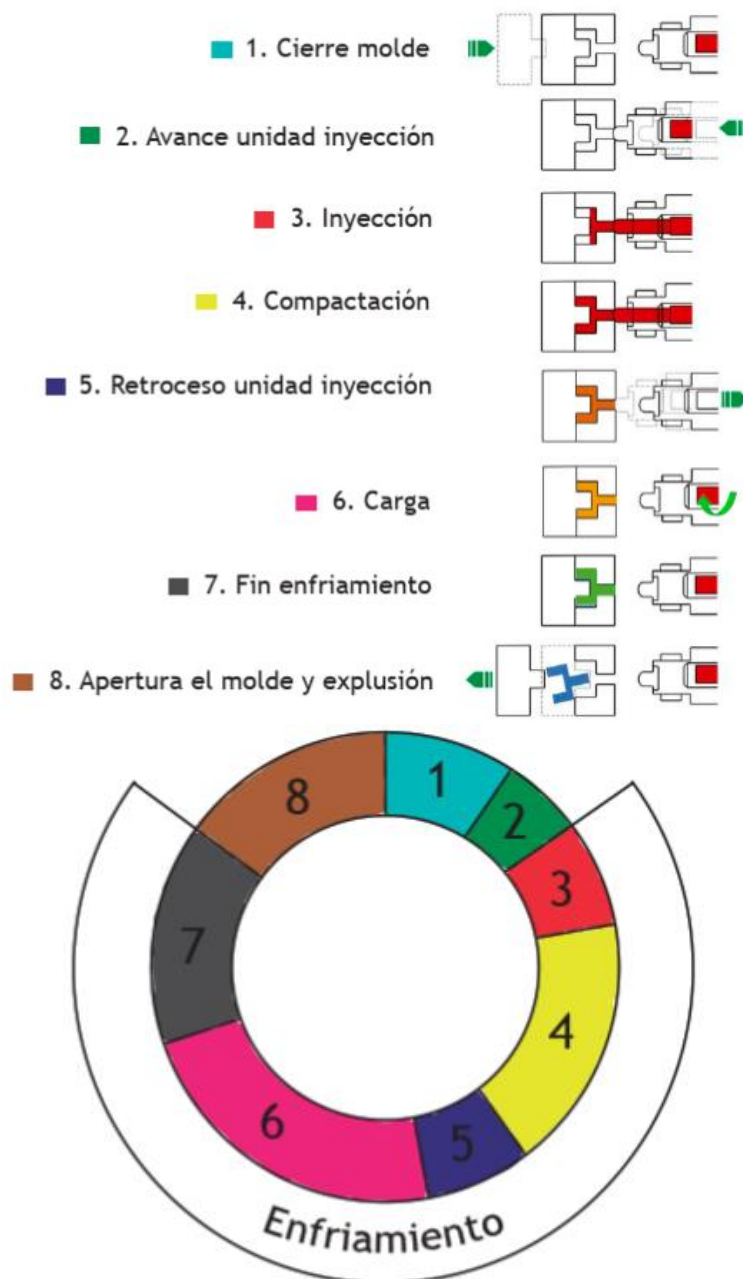
- Placa “B”: esta placa contiene el corazón del molde y está ubicada en la parte móvil de la unidad de cierre, se fija por medio de tornillos Allen, con mínimo un par de tornillos, estos también cumplen la función de alinear el molde en su posición de trabajo. Su geometría debe tener una superficie uniforme y paralela para lograr un cierre adecuado durante la inyección. El corazón es común que sea ensamblado sobre la placa, por medio de insertos, en un caso excepcional se mecanizará el corazón sobre la placa.
- Placa de soporte: cumple la función de respaldar estructuralmente la placa “B”, debe tener las mismas características de geometría nombradas en placas anteriores. Los puentes de botado están sujetos en la parte posterior de la placa de soporte y los pines centradores guían esta placa durante su funcionamiento, los cuales se ubican en las esquinas y dos por lado. Es común el montaje de pines huecos para maximizar espacios en el molde y permitir que los tornillos Allen fijen la placa.
- Pernos recuperadores: se ubican en el sistema de botado de la pieza y garantizan el regreso del sistema de expulsión a su posición de reposo para una nueva inyección. Para el caso del molde sin accionamientos, estos pernos evitan que los pernos botadores golpeen la cavidad y para los moldes con accionamientos es necesario adicionar un sistema de regreso temprano para evitar que la placa de botado quede en posición abierta luego de liberar la pieza.
- Placa botadora: es el sistema encargado de liberar la pieza del molde luego de ser inyectada, su accionamiento es a través de un sistema eléctrico o hidráulico el cual transmite movimiento a los pernos expulsores. El sistema usado para posicionar la placa botadora a su origen son los pernos expulsores por medio de un acople a esta placa o se hace uso de resortes de compresión.
- Taquetes / Stop pin: están ubicados entre la placa de respaldo y la botadora, brindando una superficie para el descanso de la placa botadora en su posición de reposo. Los taquetes normalmente van prensados en la placa botadora con el fin de tener una luz entre esta placa y la de respaldo.
- Aro centrador: cumple la función de alinear el molde a la máquina para que la nariz de la máquina y el bebedero del molde estén centrados entre sí, es común que el diámetro de este aro sea de cuatro pulgadas. El aro centrador va ubicado en la placa de respaldo o en la placa “A” del molde.
- Tornillo Allen: son usados para fijar todas las partes del molde debido a que son en acero con un grado de dureza de 8, por el diseño del tornillo se tiene versatilidad al instalarlos o desmontados en los espacios reducidos del molde, al momento de

ensamblarlos es necesario que como mínimo enrosque 2.5 veces su diámetro para garantizar su agarre.

- **Bebedero:** es la conexión entre la nariz de la máquina y el sistema de colada del molde, su diámetro es cercano al de la nariz de la máquina para evitar fugas de material durante la inyección, el bebedero cuenta con un ángulo de salida para lograr que la mazarota formada sea liberada fácilmente en el caso que el molde cuente con ese tipo de colada que forma mazarota.
- **Buje guía:** son los encargados de alinear la conexión entre las dos partes del molde, se usan en juegos de cuatro bujes o en el caso de moldes pequeños en grupos de dos bujes. Su diámetro está ligado al de los pernos guía y la combinación más efectiva de materiales es de bronce aluminio (bujes) y acero (pernos guía), ya que el coeficiente de fricción entre estos dos materiales es bajo y al adicionar una película lubricante incrementa sus propiedades durante el funcionamiento.
- **Extractor de colada:** bota la colada durante el momento de expulsión de la máquina, recibe su movimiento a través de un perno botador en sistemas convencionales de inyección. Existen dos tipos de extractores de colada, radial y de ángulo inverso.
- **Puentes espaciadores para botado:** conectan la placa de sujeción inferior a la placa de soporte dejando un espacio libre para que la placa botadora se mueva libremente y retiren la pieza inyectada del molde. La geometría de estas partes del molde debe ser igual en ambas partes para garantizar una alineación correcta y en conjunto a la fijación dada por los tornillos Allen usados para el ensamble.
- **Placa porta botadores:** contiene los pernos recuperadores, botadores y navajas botadoras, estas partes deben estar bajo una tolerancia adecuada para garantizar el movimiento de las partes durante la expulsión de la pieza inyectada.
- **Placa inferior de sujeción (PFI):** su función es fijar la placa "B" a la platina móvil de la unidad de cierre, su alineación con los espaciadores de botado está dada por pernos huecos y la sujeción de la placa se hace con tornillos Allen desde la placa de botado. La geometría de la placa debe cumplir con el paralelismo y uniformidad en su superficie.

Para la inyección de plástico y fabricación de piezas, el molde cumple la función de distribuir el material de manera uniforme y fluida por las cavidades que dan forma al producto final. El ciclo de inyección esquematiza de manera más clara las funciones ejecutadas por el molde, unidad de cierre y unidad de inyección, ver figura 13

Figura 13. Ciclo de inyección



Fuente: Moldeo por Inyección. Ciclo de inyección.
 [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible
 en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3430258>

Cada etapa del ciclo de inyección durante el proceso tiene como finalidad dar forma a la figura inyectada, explicados a continuación.⁵

- I. Cierre de molde: consta de la unión temporal entre la placa móvil y placa fija del molde (macho y hembra), debido a la fuerza ejercida por un sistema hidráulico o mecánico, la función principal de esta etapa es compensar la fuerza ejercida por el material inyectado dentro del molde para evitar la apertura del mismo y el daño de la pieza a fabricar. Generalmente la unidad usada para el valor de la fuerza de cierre está dada en toneladas (t).

En esta etapa, la construcción del molde cumple una función importante, ya que debe ser lo suficientemente resistente para soportar las presiones presentadas, usualmente son cientos de Mpa ejercidos durante el proceso. Una parte fundamental del molde durante el proceso es la correcta construcción de las columnas del molde, debido a que estas son las encargadas de hacer efectiva la unión entre ambas placas, para dar una forma correcta a la pieza inyectada.

- II. Avance de unidad de inyección: el carro de inyección por acción de una fuerza hidráulica o mecánica, se acerca hasta el punto en el que la boquilla hace contacto con el bebedero del molde para posteriormente inyectar el material.
- III. Inyección: etapa en la cual el husillo hace el llenado de la cámara, es fundamental un avance controlado para evitar perder propiedades mecánicas en el material a inyectar, posteriormente la válvula obturadora, ubicada al final de la unidad de inyección da paso de material fundido, impulsado por la rotación del husillo cargando de material al molde.
- IV. Compactación: una vez el material se encuentra dentro del molde se mantiene estable la presión de inyección por un lapso, según sea la pieza inyectada, con el fin de refrigerar la pieza adecuadamente y evitar daños en la misma en la apertura del molde.
- V. Retroceso unidad de inyección: inicialmente el pistón de inyección se retrae a la posición de retroceso, la válvula del distribuidor se cierra y en el caso de algunas inyectoras la unidad de inyección se retira de la unidad de cierre en cada inyección mientras el molde continúa cerrado y en refrigeración; en el caso contrario a la separación de la unidad de inyección, el husillo transfiere material a la cámara de inyección nuevamente y realiza la carga para la próxima inyección.

⁵ TABOADA, PIROTTE, Sandra, and GARCÍA, Luis Adargoma Suárez. Desarrollo de un producto en material plástico por inyección (I) [en línea], Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica, 2015. ProQuest Ebook Central, [Consultado el 15 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3430258>.

- VI. Carga: el material se posiciona adelante del husillo o pistón, según sea la configuración de la máquina, el material llega a este punto por acción de la rotación del husillo, llenando la cámara de inyección y dejando listo el material para la próxima inyección.
- VII. Fin enfriamiento: luego de terminar la inyección de la pieza en el molde, la pieza se somete a un cambio de temperatura para controlar características como el brillo de la pieza y acabado, sin embargo, la función más importante es controlar la contracción de la pieza para facilitar la expulsión de la pieza.
- VIII. Apertura de molde y expulsión: una vez termina la inyección de la pieza, el sistema de cierre se ubica en su posición de apertura para posteriormente realizar la expulsión de la pieza mediante un accionamiento mecánico acompañado en ocasiones de un sistema neumático, según sea la capacidad tecnológica de la inyectora la pieza puede ser retirada por un robot o en su defecto la pieza cae y es retirada por algún sistema de transporte.

3. GENERALIDADES DEL PET

Es un poliéster generado por una reacción entre un di-alcohol y di-ácido, el polietileno tereftalato (PET) está constituido por las siguientes materias primas:

- Di – metiltereftalato (DMT)
- Ácido tereftálico (TPA)
- Etilén glicol (EG)

El resultado de suministrar estas materias primas es un poliéster semi-cristalino con propiedades tanto físicas como mecánicas modificables durante el proceso de fabricación de productos como botellas, alfombras, recipientes de almacenamiento industriales o de uso convencional. El peso molecular es un factor fundamental que determina las propiedades del producto fabricado, esta característica se modifica a través de parámetros establecidos en el equipo usado para fabricar los productos, parámetros como temperatura, tiempo de secado, presión, velocidad de husillo, refrigeración, entre otros; estos parámetros son determinantes para el peso molecular y también para evitar la degradación del material, el parámetro más relevante es el secado, debido a que es un material higroscópico la humedad se presenta con facilidad, pero está contribuye a deteriorar el material durante el proceso sometido para fabricar piezas con PET.

3.1 TIPOS DE RESINA PET

Los fabricantes de resina PET son desarrolladores de distintas resinas de acuerdo a los requerimientos del mercado, adicionando características al PET para fabricar determinados productos. Existen fabricantes como Dak Americas⁶, Enka de Colombia S.A.⁷, Indorama⁸, Apropet⁹, Jade¹⁰, Shenyang Congke Chemical Co. Ltd¹¹, Shang Wallis Technology Co. Ltd¹², ENTEC POLYMERS¹³, TradePro INC¹⁴, entre otros.

⁶ DAK AMERICAS. Productos [En línea]. México 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.dakamericas.com/esp/products/products.php>

⁷ ENKA DE COLOMBIA. Productos [En línea]. Colombia 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.enka.com.co/enka/index.php/es/content/view/full/72>

⁸ INDORAMA. Productos [En línea]. Singapore 2020 [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.indorama.com/products>

⁹ APROPET. Página principal [En línea]. Colombia San Miguel Industrias 2016. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.smi.com.pe/es/Apropet>

¹⁰ JADE PET RESIN. Página principal [En línea]. China 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://jadepetresin.com/>

¹¹ SHENYANG CONGKE CHEMICAL CO. LTD. Productos [En línea]. China 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: https://congke-chemical.diytrade.com/sdp/2430408/4/pl-7466021/0/Product_Catalog.html

¹² SHANG WALLIS TECHNOLOGY CO. LTD. Página principal [En línea]. China 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <https://shwallis.en.made-in-china.com/product-list-1.html>

¹³ ENTEC POLYMERS. Tipos de resina. [En línea]. Bogotá, Colombia 2020. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.entecpolymers.com.co/products/resin-types>

¹⁴ TRADEPRO INC. Productos. [En línea]. North Miami 2017. [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <http://www.tradepro.com/en/products/>

Los desarrollos de diferentes tipos de resinas son a causa de las aplicaciones creadas por el mercado de los productos a base de PET, en lo que respecta a los envases de bebidas refrescantes o gaseosas, algunas tipos de resinas usadas en ese tipo de mercado son no retornables (botellas de agua y gaseosa), retornable (PRB) y llenado en caliente.¹⁵

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL PET

Debido a la gran variedad de productos elaborados a base de PET, se requieren características que cumplan con las necesidades de cada producto, dichas características se logran de acuerdo a atributos como la viscosidad intrínseca (IV), contenido de co-polimero y aditivos usados para fabricar determinadas resinas.¹⁶ . El PET puede tener una morfología cristalina (aspecto blanco) o amorfa (aspecto transparente), al ser cristalino posee una densidad específica aproximada de 1.4 g/cm³, un porcentaje de cristalinidad de 0,5 y punto de fusión entre 240-245 °C y al ser amorfo posee una densidad específica aproximada de 1.335 g/cm³, un porcentaje máximo de cristalinidad de 0,05 y una temperatura de ablandamiento entre 70-80 °C Algunos aspectos que tiene el PET son:

- Impermeabilidad
- Estructura con una barrera para contener gases (CO₂ y O₂), humedad y radiación UV
- Resistencia al desgaste por su dureza y rigidez
- Presenta transparencia es su estado amorfo (APET).
- Presenta opacidad en su estado cristalino (CPET)
- Comportamiento inerte
- Soporta la adición de colores durante la manufactura
- Apto para aplicaciones de alta inocuidad
- Reciclable

Las propiedades mecánicas del PET es el resultado del control y estabilidad en los parámetros dados durante el proceso de inyección, ver cuadro 1, con información sobre las propiedades físicas típicas del PET.

¹⁵ QUIMINET. Uso y aplicaciones del PolietilenoTereftalato PET. [En línea]. México D.F 2020 [Consultado: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-polietileno-tereftalato-pet-42703.htm>

¹⁶ ARAPACK. ¿Qué es el PET? [en línea] Zaragoza. [Consultado: 30 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/>

Cuadro 1. Propiedades físicas típicas del PET

<i>Polyethylene Terephthalate Mechanical Properties</i>	
Elongation at Break	30 - 70 %
Elongation at Yield	3.8 %
Flexibility (Flexural Modulus)	2.8 - 3.5 GPa
Hardness Rockwell M	50 - 100
Hardness Shore D	85 - 95
Stiffness (Flexural Modulus)	2.8 - 3.5 GPa
Strength at Break (Tensile)	45 - 70 MPa
Strength at Yield (Tensile)	50 - 57 MPa
Toughness (Notched Izod Impact at Room Temperature)	140 J/m
Young Modulus	2.8- 3.5 GPa

Fuente: OMNEXUS.SPECIALCHEM. Polyethylene Terephthalate PET Plastic Properties. [En línea] [Consultado: 14.09.19] Disponible en: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic/properties-of-pet-plastic#content>

3.2.1 Variables de control. Durante el proceso de manufactura de preformas del PET se somete a entornos de altas temperaturas (secado y fundición), presión, contrapresión, fricción, velocidad de transferencia e inyección, adición de colores, refrigeración, contracción volumétrica, definitivos para las propiedades finales del producto. La viscosidad intrínseca y la cantidad de copolímero son el punto de partida para establecer las propiedades mecánicas de la preforma, iniciando con la velocidad de cristalización y temperatura de fundido, por otro lado al no tener una alta viscosidad se genera un bajo nivel de acetaldehído AA, el cual genera un sabor a los alimentos almacenados.¹⁷

¹⁷ QUIMINET. Todo lo que quería saber del PET. [En línea]. México D.F 2020 [Consultado: 10 de noviembre de 2019]. Disponible en internet: <https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-del-pet-2806.htm>

4. MOLDES GPET, HYPET Y HPP USADOS PARA LA INYECCIÓN DE PREFORMAS

Husky Injection Molding Systems fabrica moldes para la inyección de preformas, para el desarrollo de este proyecto se trabajarán sobre los moldes GPET, HyPET y HPP, debido a su configuración entre el sistema eléctrico, de control, refrigeración, neumático y de expulsión de preforma, logra ciclos considerablemente bajos y un alto nivel de precisión, en cuanto a la dosificación de material en cada inyección, apoyándose en los diseños de los manifold, los cuales tienen geometrías específicas en los canales internos, permitiendo así que el material fluya uniformemente hasta llegar al sistema de obturadores que dosifica el material. Por otro lado, gran parte de la efectividad de los moldes fabricados por Husky se obtiene en la controlada refrigeración que brinda a la preforma, mediante canales de agua que reducen gradualmente la temperatura aportando a las propiedades mecánicas de la preforma.

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los moldes de inyección industrialmente están sometidos a contextos de trabajo exigentes, la cuales por naturaleza generan deterioro en sus partes, debido a esto los materiales de construcción deben tener propiedades mecánicas considerables para asegurar un correcto funcionamiento del molde, además de esto un factor importante a considerar es la resistencia al desgaste, ya que, los cambios de medidas afectan considerablemente la calidad de la pieza.

Actualmente el grupo BRT¹⁸, está posicionado como una empresa con un alto potencial, dedicada a trabajar en campos como la inyección de plástico, soplado de plástico, moldes para la inyección de plástico, moldes de soplado, matrices progresivas, maquinaria para packing, líneas de llenado y procesado de alimentos.¹⁹

En la línea de fabricación BRT manufactura moldes de inyección, existen cuatro líneas de diseño y fabricación de moldes para cajas agrícolas, PVC, tapones y preformas. Para la primera línea utilizan materiales como aceros 1.2311, 1.2723, 1.2343 y 1.2344 de procedencia alemana, otro grupo de aceros implementados son aceros 718, 738, s136 y 8407 de ASSAB de Suecia, también los aceros P20 y 420 de Estados Unidos y por último NAK80, SKD61 y SKD11 de Japón. En el caso de los moldes para cajas agrícolas se utilizan insertos de cobre de berilio con el fin de reducir ciclo, igualmente fabrican molde de dos cavidades aumentando la capacidad de producción.

¹⁸ BRT INNOVATIVE SOLUTIONS Diseño y fabricación de moldes. [En línea]. Interempresas Media, S.L.U. 2019. [Consultado: 10 de octubre de 2019]. Disponible en internet:

<https://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Moldes-de-cajas-agricolas-153322.html>

¹⁹ BRT INNOVATIVE SOLUTIONS Diseño y fabricación de moldes. [En línea]. Interempresas Media, S.L.U. 2019. [Consultado: 10 de octubre de 2019]. Disponible en internet:

<https://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Moldes-de-cajas-agricolas-153322.html>

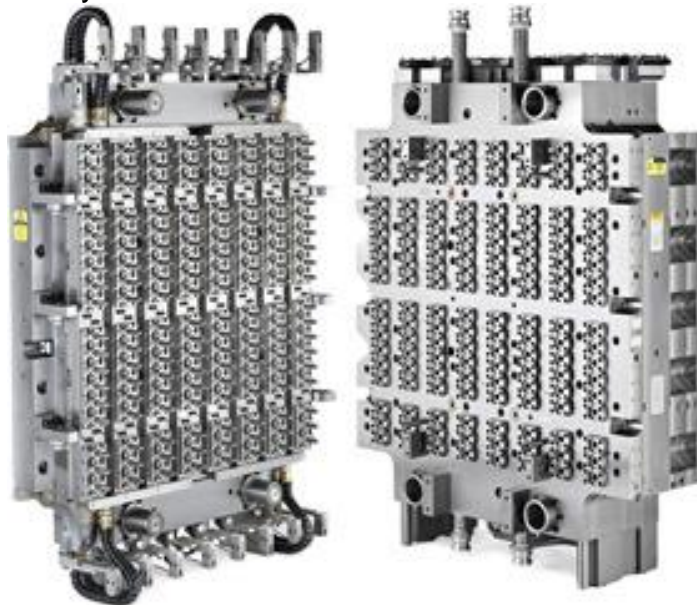
Respecto a la línea de moldes para PVC los materiales usados por BRT son aceros inoxidable DIN 1.2316 o DIN 1.2083, estos materiales complementan significativamente la resistencia y duración de los moldes ante ataques corrosivos por agua, vapor de agua, ácidos orgánicos, entre otras causantes de desgaste. Otro factor importante considerado en estos tipos de molde es la dureza del material, la cual está entre los 45 y 52 HRC. Los moldes para tapones plásticos están compuestos igualmente con materiales de alta calidad y resistencia, debidos a que sus márgenes de producción y velocidades de producción son altas, esto implica un desgaste considerable de las partes que componen al molde.

Los moldes de inyección de preforma BRT tienen versatilidad en el diseño, de acuerdo a los requerimientos de producción. Los materiales de producción para las cavidades y centros son aceros inoxidable S-136 (sueco) y 2316 (alemán). Respecto a las placas que componen el molde están igualmente fabricadas en aceros de alta calidad, anteriormente nombrados, como el acero P20 y 420, respecto a la fabricación y construcción del diseño de cada parte, se realiza mediante mecanizados de alta precisión y complejidad. Un factor importante dentro de la construcción del molde es el sistema de refrigeración, este punto es el más complejo y clave, puesto que hace parte del ciclo de inyección, por lo tanto, afecta el tiempo de inyección de la pieza a fabricar. Industrialmente BRT es fabricante de cámaras calientes para marcas como Husky, Hasco, DME, Yudo y Thermoplay.

Actualmente la marca Husky Injection Molding Systems Ltd. Es potencia en la fabricación y diseño de máquinas para la inyección de plástico, canales calientes, robots, moldes y sistemas integrados. Las inyectoras fabricadas por Husky son usadas para fabricar productos como botellas y tapas para envases de bebidas, envases de comida, componentes de automoción y piezas para la electrónica de consumo.²⁰ En relación a los moldes de inyección para preforma, ver figura 14; Husky desarrolla moldes con altas capacidades de producción, ciclos bajos y alta eficiencia, optimizando el proceso de fabricación con programaciones predeterminadas para establecer parámetros de proceso de acuerdo a la referencia de preforma a fabricar.

²⁰ HUSKY INJECTION MOLDING SYSTEMS LTD. Sistemas HyPET. [en línea]. Canada 2020. [Consultado: 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.husky.co/ES-ES/HyPET-Overview.aspx>

Figura 14. Molde de inyección de preforma
Husky HYPET / HPP



Fuente: HUSKY. Husky molds. [En línea]
[Consultado: 19.06.19] Disponible en:
<https://www.husky.co/assets/0/440/457/8d5f1c0e-a5fd-47be-983d-83dd6f10a6ab.jpg?n=8859>

Husky Injection Molding Systems Ltd. maneja los siguientes moldes de inyección para preformas de alta productividad, con ciclos de inyección rápidos y altas eficiencias, respecto a su funcionamiento, Husky, profundiza en los materiales de construcción y su diseño para tener una alta disponibilidad del molde y un proceso estable de producción, adicionalmente los moldes actuales cuentan con un sistema de identificación para programar parámetros de producción según sea el equipo o referencia de preforma. Los moldes de inyección de preforma Husky tienen una alta eficiencia en cuanto al poco desperdicio que genera, ya que maneja una colada caliente, la cual permite controlar de manera independiente las temperaturas de los puntos de inyección.²¹

4.1.1 Partes de un molde de inyección de preforma. Los moldes Husky cuentan con sistemas eléctricos, mecánicos, neumáticos y de refrigeración, los cuales trabajan de acuerdo a la programación o receta determinada en la inyectora que se instalará el molde, esto aplica para los moldes HYPET y HPP. Las placas que componen un molde Husky son las siguientes:

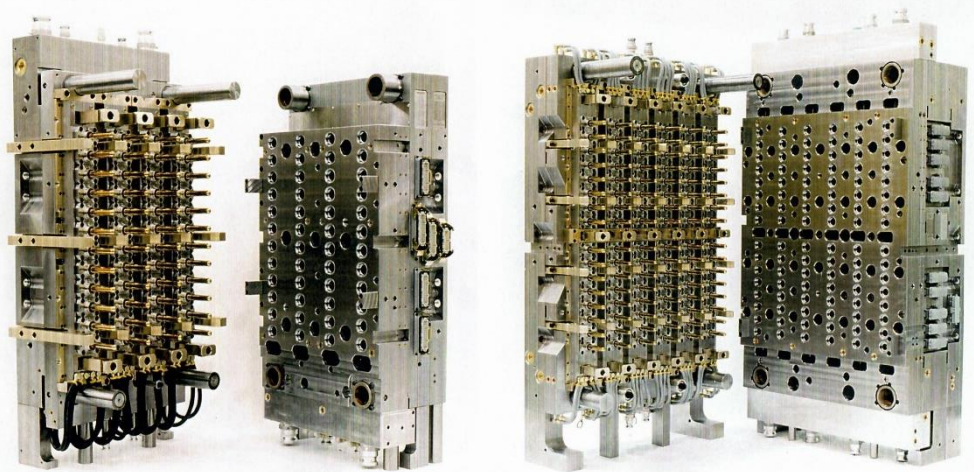
- Manifold Backing Plate (según diseño del molde)
- Hot Runner o Colada Caliente

²¹ HUSKY INJECTION MOLDING SYSTEMS LTD. Moldes Husky. [en línea]. Canada 2020. [Consultado: 15 de septiembre de 2019]. Disponible en:<https://www.husky.co/ES-ES/Molds.aspx>

- Cavity Plate
- Moving Half (Core Plate y Neck Ring Plate)
- Placa de sujeción superior (según diseño del molde)
- Robot
- Coolplik (HYPET y HPP)

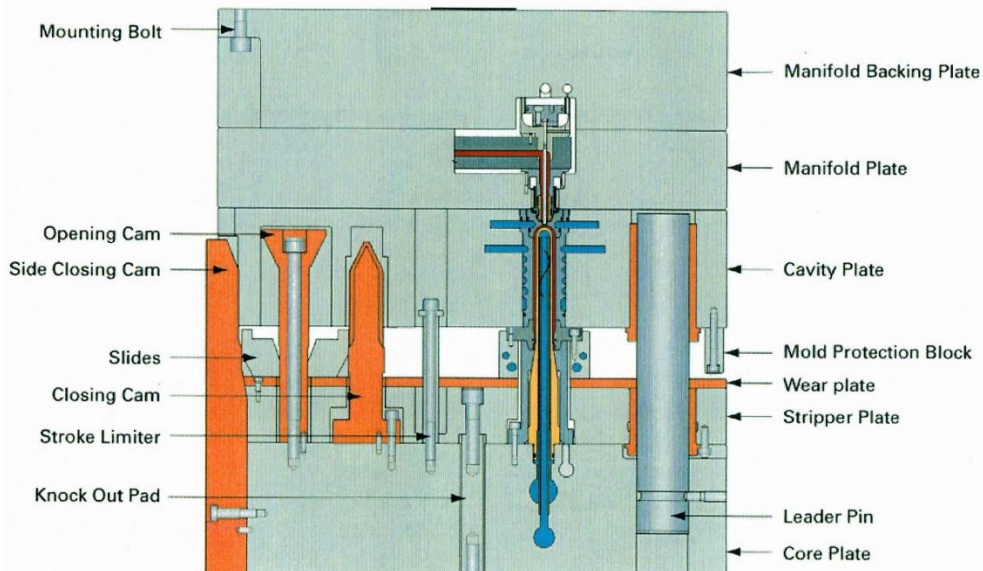
La placa de sujeción superior y manifold backing plate, son las encargadas de hacer la sujeción de la parte fija y móvil del molde a la inyectora, algunos moldes tienen los puntos de anclaje en el Core Plate y Hot Runner, ver figuras 15 y 16.

Figura 15. Molde de inyección de preforma Husky GPET



Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

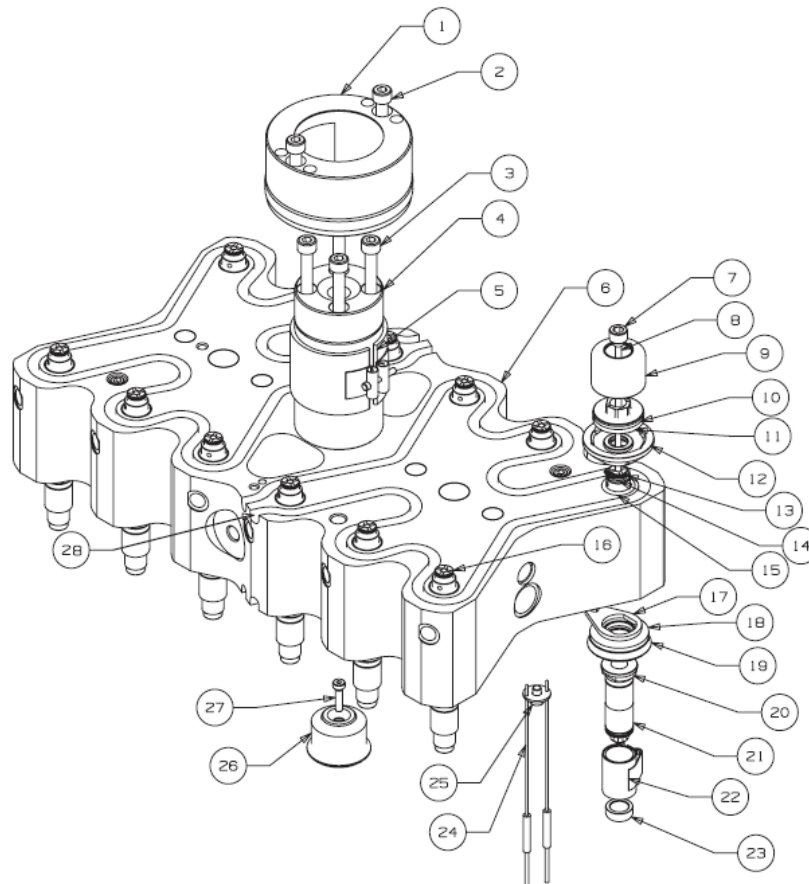
Figura 16. Vista de sección para molde de inyección de preforma Husky GPET



Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

Hot Runner o Colada caliente, cumple la función de distribuir el material PET, hacia los puntos de inyección del molde, una característica fundamental del Hot Runner es mantener estable la temperatura del material durante la inyección y la dosificación del material en los puntos de inyección del molde es a través de obturadores, ver figuras 17 y 18. El Hot Runner se compone de una placa sobre la cual está instalado el sistema eléctrico para alimentar las resistencias del manifold o distribuidor, ver figura 17.

Figura 17. Manifold o distribuidor



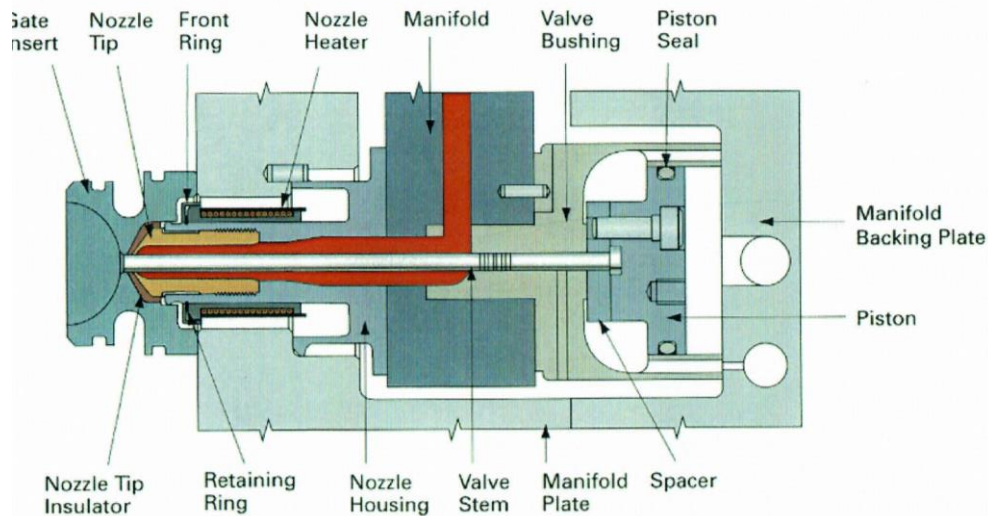
1. Centrador 2. Tornillos del centrador 3. Tornillos del casquillo del bebedero
4. Casquillo del bebedero 5. Resistencia del casquillo del bebedero (no enviar para limpieza)
6. Distribuidor 7. Tuerca hexagonal de la aguja del obturador 8. Aguja del obturador
9. Cilindro 10. Pistón 11. Junta del pistón (no enviar para limpieza)
12. Tope de apoyo 13. Circlip 14. Retén Grafoil® 15. Retén flexible (no enviar para limpieza)
16. Casquillo del distribuidor (no enviar para limpieza) 17. Anillo antirotación
18. Muelle de disco 19. Aislador de posicionamiento 20. Alojamiento de la boquilla
21. Punta de boquilla (no enviar para limpieza) 22. Resistencia de boquilla (no enviar para limpieza)
23. Aislante de la punta de boquilla (no enviar para limpieza)
24. Termopar (no enviar para limpieza) 25. Tornillo allen 26. Aislador de posicionamiento central
27. Tornillo allen 28. Resistencia del distribuidor (retirar los hilos eléctricos, dejar las resistencias instaladas)

Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET Gen 3.5 – 2004 – P 7-79

En este punto el material inicia a fluir dentro del molde y las resistencias, tanto del manifold como las boquillas o puntos de inyección; mantienen la temperatura por encima de los 240 - 245 °C, puesto que esta es la temperatura de fusión del PET. Los obturadores neumáticos están instalados sobre el manifold, en este punto dosifican determinada cantidad material en cada cavidad, según sea la referencia del molde instalado y la receta programada en la inyectora.

Figura 18. Sistemas obturadores en moldes GPET

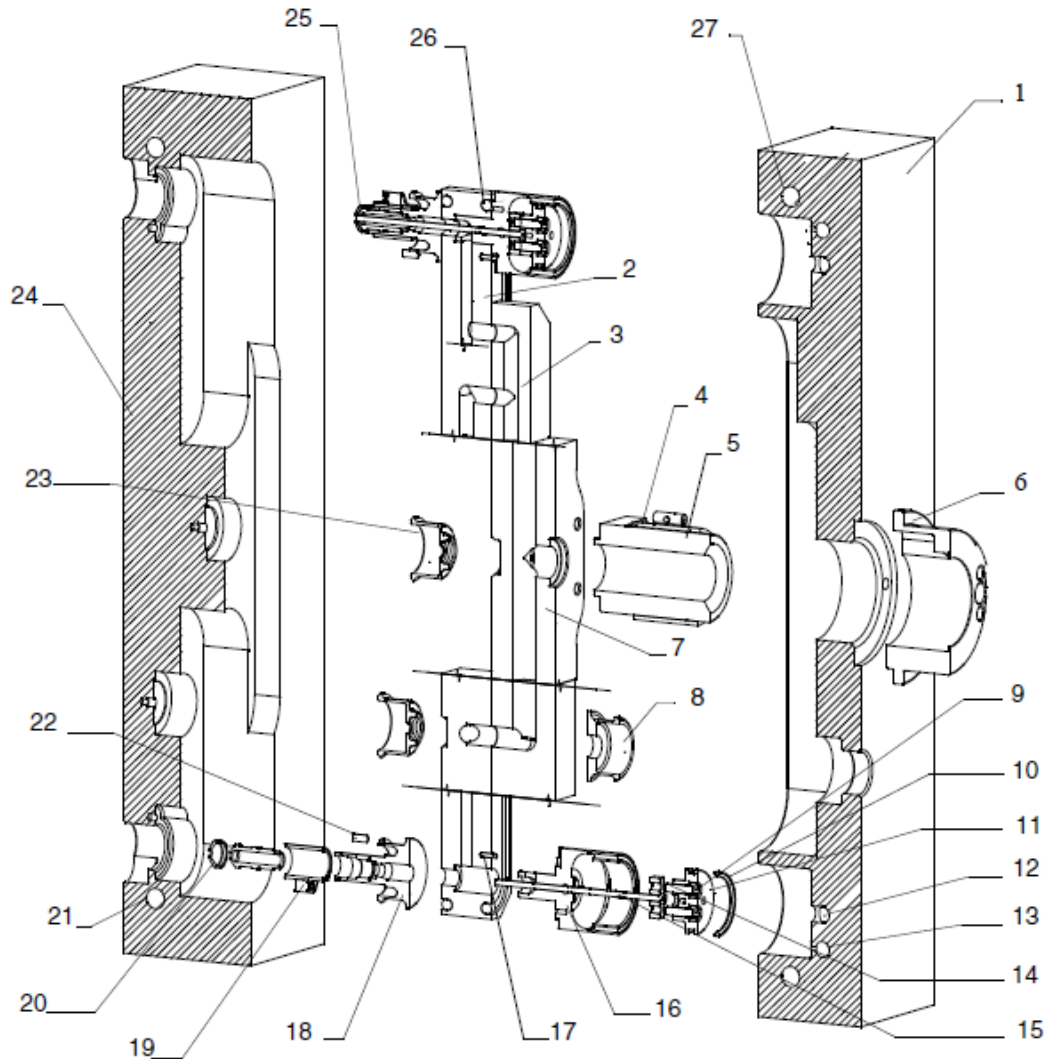
PET VALVE GATE



Fuente: HUSKY MANUAL Manual Impreso- Molde de preformas
1998 – ANEXOS

El sistema de obturadores trabaja con una aguja, ver figuras 19 y 20, la cual cumple el papel de compuerta para el material fundido. Para la apertura y cierre de la boquilla, un pistón neumático de doble acción, recibe aire y ejecuta el movimiento al momento de inyectar la pieza, su control es por medio de una válvula neumática de 4 vías.

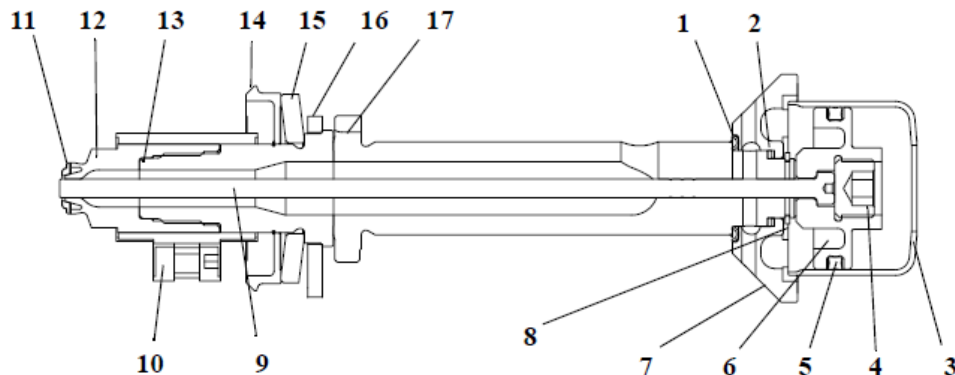
Figura 19. Sistemas obturadores en moldes HYPET y HPP



1. Placa trasera del distribuidor
2. Distribuidor
3. Distribuidor de puente
4. Resistencia del bebedero
5. Bebedero
6. Anillo de centrado
7. Distribuidor de reparto
8. Aislante posterior
9. Tornillos allen
10. Junta del pistón
11. Pistón
12. Aire de cerrar
13. Aire de abrir
14. Espaciador
15. Aguja del obturador
16. Casquillo de válvula
17. Pasador de posicionamiento
18. Alojamiento de la boquilla
19. Resistencia de la boquilla
20. Aislante de punta de boquilla (opcional)
21. Líneas de refrigeración de la placa del distribuidor
22. Pasador de centrado
23. Aislador de centrado del distribuidor
24. Placa del distribuidor
25. Punta de boquilla
26. Resistencia de calefacción del distribuidor
27. Líneas de refrigeración de la placa trasera del distribuidor

Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET Gen 3.5
 – 2004 – P 2-2

Figura 20. Componentes de obturadores en moldes HYPET y HPP



1. Retén flexible 2. Retén Grafoil® 3. Cilindro del pistón 4. Tornillo prisionero del pistón 5. Junta del pistón 6. Pistón 7. Tope de apoyo 8. Circlip 9. Aguja del obturador 10. Resistencia de la boquilla 11. Aislante de punta de boquilla 12. Punta de boquilla (PET) 13. Cuerpo de la boquilla 14. Aislante de boquilla 15. Muelle Ultra 16. Elemento de bloqueo de rotación 17. Casquillo del distribuidor

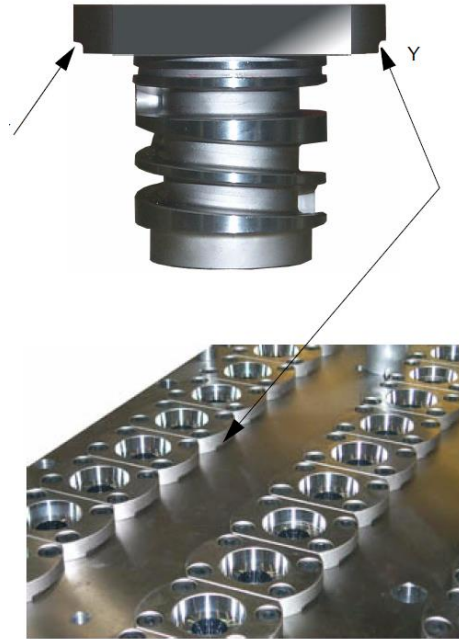
Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET Gen 3.5 – 2004 – P 7-2

La parte fría está compuesta por el Core Plate, Neck Ring Plate y Cavity plate, adicionalmente el robot cuenta con refrigeración en los tubos que hacen la extracción de la preforma desde el molde. La parte fría del molde refrigera la preforma luego de ser inyectada, en esta etapa el material debe sufrir una contracción para posteriormente ser retirado por el robot, también es importante que la pieza no disminuya radicalmente su temperatura, por lo cual el sistema de enfriamiento tiene un control de temperatura a través del chiller de la máquina. Las partes que refrigeran la preforma son:

- Cavity plate
- Core plate
- Neck Ring Plate
- Robot

La placa de cavidades o cavity plate, complementa al core plate o placa de machos, para crear un espacio en el cual se da forma a la preforma inyectando plástico, en este punto del molde inicia el enfriamiento del PET, mediante el flujo de agua por canales de refrigeración. La cavidad, ver figura 21, cumple un papel importante al momento de dar un acabado superficial a la preforma, también influye drásticamente sobre el tiempo de ciclo de inyección, debido a esto es fundamental tener control sobre su estado en los mantenimientos preventivos que deba intervenir.

Figura 21. Cuidad de molde



Fuente: HUSKY DIGITAL
MANUAL - Molde de preformas
HyPET Gen 3.5 – 2004 – P 7-42

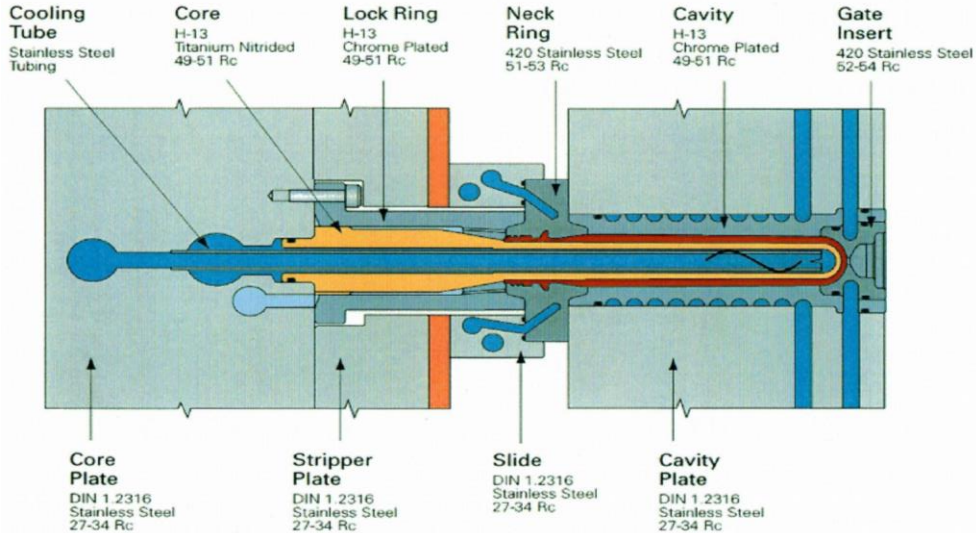
A continuación, en las figuras 22 a la 26, se grafica los tipos de diseños usados por Husky para los moldes GPET, HYPET y HPP, respecto a la configuración macho – hembra, también se muestra el arreglo de ductos para la refrigeración según sea el diseño. Las partes principales de estos diseños son:

- Tubo de refrigeración
- Núcleo
- Cuello o Neck Ring
- Slide o porta Neck Ring
- Cavidad

Existen tres tipos de diseños, Standard Stack, Front Mounted Cavity y Reverse Taper. El primer diseño

Figura 22. Diseño "Standard Stack" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET

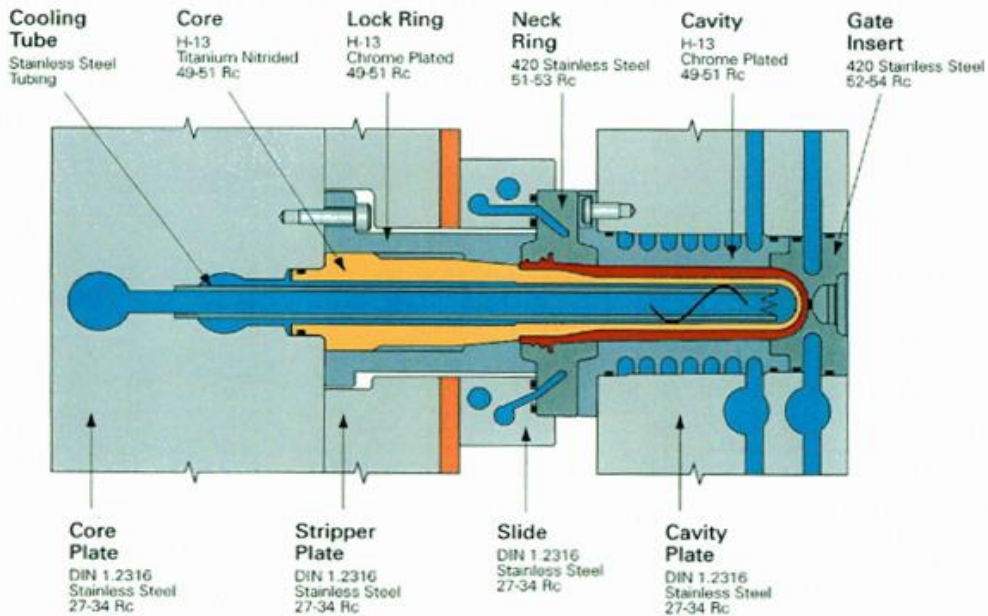
STANDARD STACK DESIGN



Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

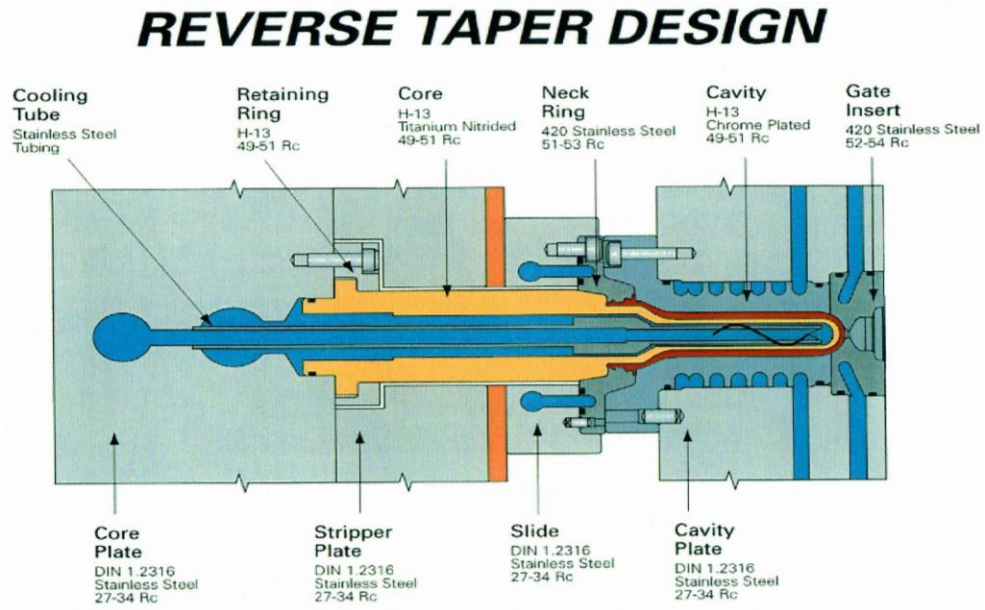
Figura 23. Diseño "Front Mounted" para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET

FRONT MOUNTED CAVITY



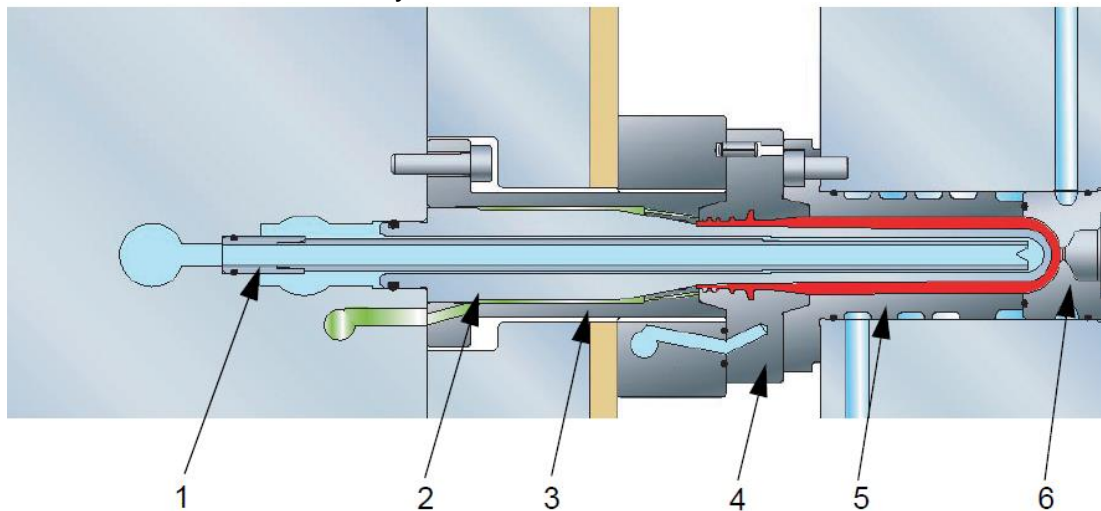
Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

Figura 24. Diseño “Reverse Taper” para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes GPET



Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

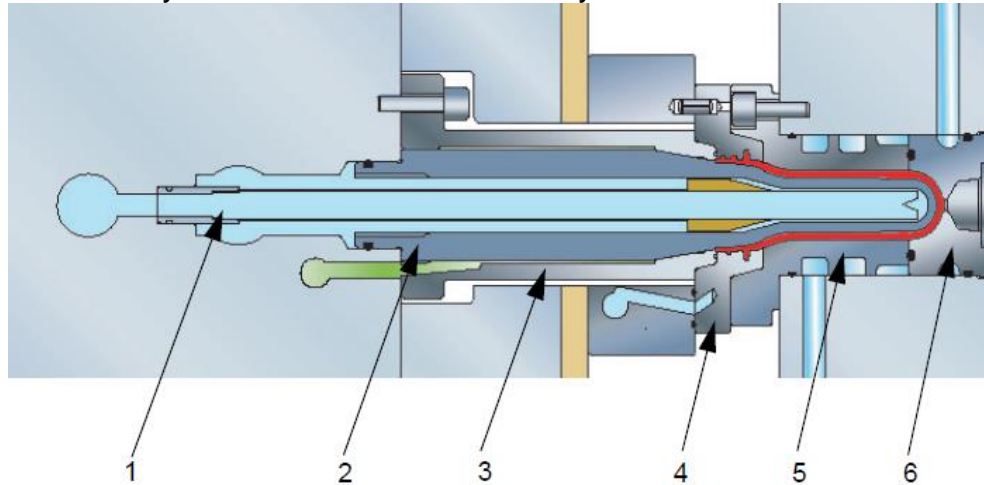
Figura 25. Diseño “bloqueo por el macho” para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes HYPET y HPP



1. Tubo de refrigeración del macho 2. Macho 3. Centrador de macho 4. Cuello
5. Cavity 6. Fondo de cavidad

Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET Gen 3.5 – 2004 – P 2-8

Figura 26. Diseño “bloqueo por cavidad” para refrigeración de cavidades y núcleos en moldes HYPET y HPP



1. Tubo de refrigeración del macho 2. Macho 3. Centrador de macho 4. Cuello
5. Cavidad 6. Fondo de cavidad

Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET
Gen 3.5 – 2004 – P 2-8

El enfriamiento de la preforma es un punto clave a controlar, la etapa de refrigeración de la pieza inyectada impacta considerablemente en el ciclo de inyección, ya que, mediante un flujo de agua entre las partes frías del molde se mantiene una temperatura ideal en la pieza, con una máquina frigorífica o un chiller, ver figura 27; es posible lograr un alta efectividad de enfriamiento durante el proceso de inyección, controlando variables como la distorsión del material, rigidez del material para aplicar una fuerza de expulsión, rango de temperatura para replicar el acabado superficial del molde en la pieza inyectada y la temperatura de deflexión / distorsión térmica; Todas las variables anteriormente nombradas dependen de las características del material inyectado y de los componentes adicionales para obtener el producto final requerido.

Figura 27. Chiller Scroll enfriados por agua

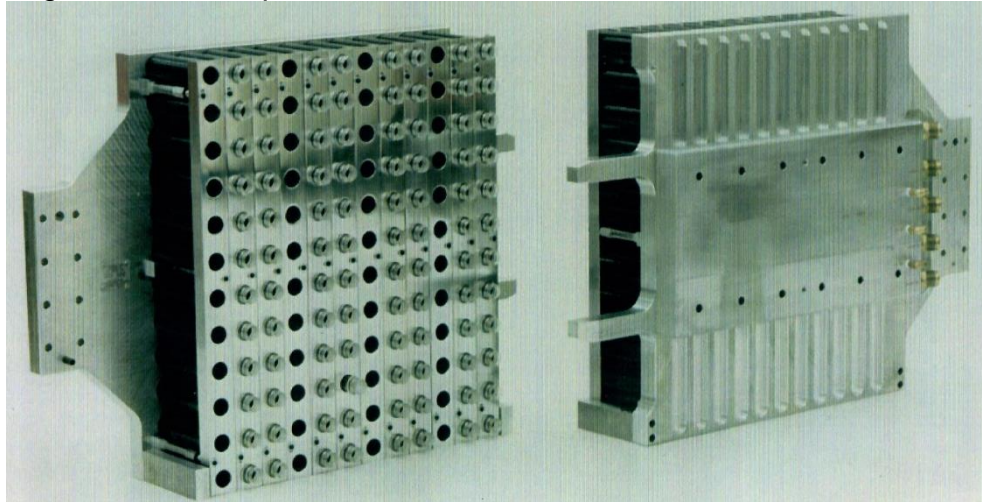


Fuente: ECOCHILLERS. Que Es Un Chiller. [En línea] [Consultado: 24.10.19] Disponible en: https://ecochillers.net/que-es-un-chiller.html?gclid=Cj0KCQiAmZDxBRDIARIsABnkbYRJTT2KLWT55-XRqX2aubhQOmN7xSHLoVvjXnBwUTiBm8Ozmj920ygaAsGSEALw_wcB

En lo que respecta al molde, la refrigeración pertenece en su mayor parte al Moving Half, partiendo en el núcleo o core, trabaja de manera conjunta con el tubo de refrigeración ubicado dentro del core, por el cual sale un flujo de agua, el cual choca con el final de core y recircula por el espacio entre el tubo y el core, enfriando de este modo la parte interna de la preforma. El neck ring y porta neck manejan un mismo circuito de refrigeración, encargado de refrigerar la rosca y el cuello de la preforma interna y externamente, hasta disminuir la temperatura de tal modo que la rigidez de la preforma sea la apropiada para luego ser expulsada.

El robot en las inyectoras de preformas cumple la función de retirar las preformas del core plate, luego de ser inyectadas, ver figura 28; adicionalmente tiene un tiempo de refrigeración mientras se realiza otra inyección en el molde. El robot se compone de una placa de aluminio con ductos para conducir aire y agua.

Figura 28. Robot para moldes GPET

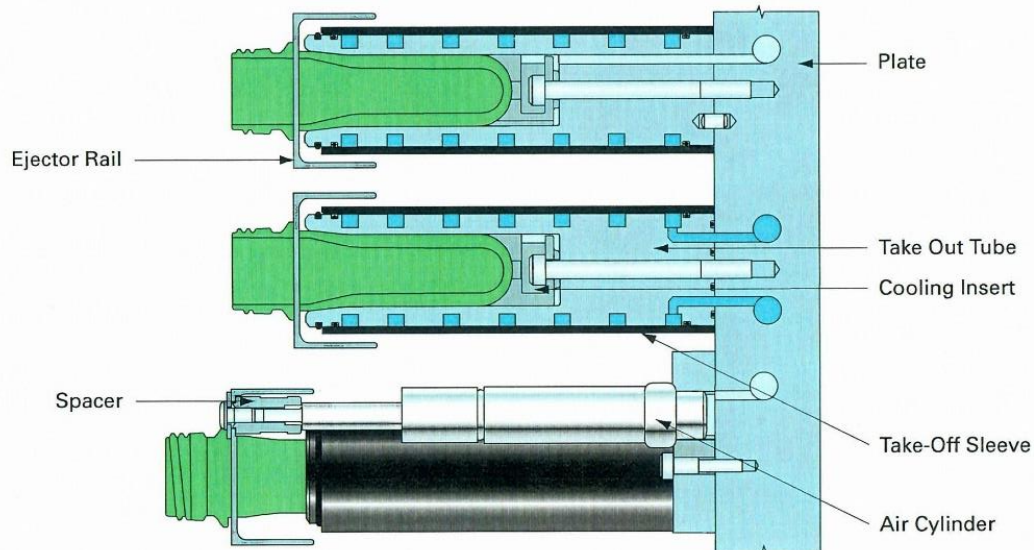


Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

El sistema neumático es un apoyo para el Neck Ring Plate, generando vacío durante la transferencia de la preforma cuando el robot se encuentra entre las dos secciones del molde, el robot cuenta con tres etapas cada una con la misma cantidad de cavidades del molde, es decir que si el molde cuenta con 48 cavidades el robot tiene un total de 144 cavidades para la succión de la preforma. El sistema de expulsión de la preforma desde el robot a la banda transportadora funciona con un riel de eyección, el cual ejerce fuerza en el cuello de la preforma por el efecto del accionamiento de un cilindro neumático y posteriormente la preforma cae en la banda transportadora para luego ser almacenada en un gaylord.

Figura 29. Vista de sección de robot para moldes GPET

MECHANICAL EJECTION TAKE-OFF PLATE



Fuente: HUSKY MANUAL - Molde de preformas 1998 – ANEXOS

Para los moldes HYPET y HPP, existe una etapa extra que aporta a la refrigeración de la preforma durante la transferencia del molde a la banda transportadora. El sistema coolpik, es un sistema neumático el cual trabaja paralelamente a las etapas de robot, al momento de retirar las preformas de la etapa correspondiente, genera un vacío para retirar las preformas del robot, adicionalmente cuando el coolpik se acerca al robot, las otras columnas que no pertenecen a la etapa de transferencia realizan un soplo de aire para aportar a la refrigeración interna de la preforma.

4.1.2 Variables de control. Los moldes de inyección de preforma marca Husky tiene todos sistemas centralizados en controlar los parámetros de generar un aumento y reducción de temperatura, de este modo es posible hacer una correcta inyección de la preforma.

El punto de control principal del molde está en la pantalla IHM de la máquina, sus siglas traducen Interfaz Hombre Máquina, mediante esta interfaz además de controlar los parámetros de inyección, secado, presión, ajustes de cierre en el molde, entre otros; en el molde se controla la calefacción de los manifolds y de todos los obturadores del molde, la fuerza de cierre, velocidad de cierre, fuerza de expulsión, velocidad de expulsión, velocidad del robot, presión y vacío. En el caso de los moldes HyPET y HPP es posible usar un sistema de etiquetas para identificar el molde y relacionarlo con determinada receta al iniciar producción, ajustando parámetros anteriormente nombrados para proceder con la inyección de preformas, una vez el molde se haya calibrado de manera correcta luego de su montaje en el montaje en la inyectora.

4.1.3 Sistemas de funcionamiento de moldes Husky.

4.1.3.1 Mecánico. Posterior a la inyección de las preformas, estas quedan en la placa móvil del molde, es decir en el Core Plate y Neck Ring, un sistema mecánico separa las columnas en las cuales van montados los Neck Ring, paralelo a la apertura de las columnas estas se separan del Core Plate, de este modo se libera cada preforma de cada macho o core. Para lograr la apertura de las columnas, las inyectoras Husky cuentan con un sistema hidráulico en la placa móvil, el cuál mediante un pistón ejerce fuerza sobre las columnas porta Neck Ring para separarlas del Core Plate y para la apertura de estas hay dos o tres pares de barras, según sea el tamaño del molde, ubicadas horizontalmente y con un sistema de levas deslizantes por cada barra, uno ubicado en un lado del molde y el otro en el lado contrario, ver figura 30.

Figura 30. Calzado de la leva/guía de leva



Fuente: HUSKY DIGITAL MANUAL - Molde de preformas HyPET Gen 3.5 – 2004 – P 7-53

4.1.3.2 Eléctrico. El sistema eléctrico de los moldes Husky está compuesto por zonas de control de temperatura, conectores de terminales múltiples, terminales de termopares para resistencias, conexión de resistencias, además tiene variables de control fundamentales como el amperaje, voltaje, resistencia de cada resistencia. En lo que respecta a los moldes GPET, su configuración eléctrica cuenta con controles básicos, debido a que las tecnologías son de las primeras generaciones de molde, en los cuales no hay etiquetas del molde usadas para la programación del mismo.

4.1.3.3 Neumático. El molde dosifica el material para ser inyectado por medio de un sistema de obturadores accionados por pistón neumático, el control está dado por una

válvula neumática la cual da paso de aire para que la aguja o pin gate ubicado en el centro del pistón haga el cierre o apertura en la boquilla de cada cavidad. Por otro lado, el proceso de transferencia de la preforma se hace mediante vacío y soplos de aire, iniciando en el core plate, cuando se hace la apertura de las columnas porta neck ring, desde el core plate un flujo de aire impulsa la preforma para posteriormente ser recibida por el robot, el cual genera un vacío para retirar todas las preformas, luego el coolpik, en el caso de los moldes HYPET y HPP retira las preformas del robot generando un vacío y de manera paralela un flujo de aire de la parte interna de cada tubo del robot impulsa la preforma, además cuando el coolpik se acerca retirar las preformas, las etapas que se mantienen en el robot reciben un flujo de aire que contribuye a la refrigeración.

4.1.3.4 Refrigeración. Para la inyección de piezas de plástico el control de temperatura es una etapa fundamental en el proceso, dentro del molde la refrigeración es con agua, la cual antes de ingresar al molde, pasa por un circuito de refrigeración de un Chiller, el sistema de refrigeración está presente en las cavidades, Cores, columnas porta Neck Ring, Neck Ring y tubos de robot, mediante el flujo interno de agua por cada una de estas piezas se logra bajar la temperatura de las preformas inyectadas, cabe aclarar que este sistema es fundamental al momento de reducir tiempo en el ciclo de inyección.

5. DIAGNÓSTICO DEL MANTENIMIENTO ACTUAL EJECUTADO EN LOS MOLDES

A continuación, se diagnosticará el mantenimiento ejecutado en actualmente en los moldes Husky, usados para la producción de preformas PET. Para el diagnóstico se tendrá en cuenta el inventario actual, modos de mantenimiento preventivo, control de para la ejecución de mantenimiento, registros de datos, documentación de los moldes y actividades de mantenimiento actuales.

5.1 LISTADO DE MOLDES PARA INYECCIÓN DE PREFORMAS EN IBERPLAST S.A.S.

Actualmente en la compañía actualmente hay tres familias de moldes, GPET, HYPET Y HPP, existen un total de 51 ítems, ver cuadro 2.

Cuadro 2. Moldes de inyección Husky usados en Iberplast S.A.S.

Categoría	Cantidad	
Molde Completo	14	
Hot Runner	5	
Core Plate / Neckring / Cavity Plate	8	
Core Plate	9	
Core Plate / Neckring	9	
Cores	6	
	51	Total Ítems

Fuente: elaboración propia, en base al inventario de moldes actual.

La forma en que se agrupan los moldes depende de las compras realizadas por cada referencia de preforma requerida para producir, ya que los moldes Husky tienen la capacidad de cambiar partes determinantes en el diseño de la preforma, como lo son los Neck Rings, Cavidades y Cores.

Los moldes se encuentran codificados por defecto con un número llamado “número de proyecto” o “Job Number”, mediante este número se identificarán los moldes para su manejo.

Cuadro 3. Tipos de moldes Husky GPET, HYPET y HPP

GPET	HYPET	HPP
10	37	4

Fuente: elaboración propia, en base al inventario de moldes actual.

Actualmente Iberplast cuenta con un total de 51 ítems, clasificados de acuerdo al cuadro 2, en el cuadro 4, se evidencia la cantidad de ítems por tipo de molde.

Cuadro 4. Ítems por tipos de molde

	GPET	HYPET	HPP
Core Plate	7	30	4
Cores	-	5	-
Cavity Plate	3	19	1
Hot Runner	5	14	1
Neck Ring Plate	7	30	2
Robot	7	15	1
	29	113	9
	151		

Fuente: elaboración propia, en base al inventario de moldes actual.

De acuerdo al anterior cuadro es posible dimensionar la cantidad de ítem por familia de molde, sin embargo, cada una de estos ítems les corresponde un “Job Number” para su identificación y ensamblar de acuerdo a este número, para obtener las referencias en gramos. La forma de combinar estos moldes depende primordialmente de la familia (GPET, HyPET y HPP) y la cantidad de cavidades por molde (32, 48, 72, 96, 128 o 144).

5.2 MANEJO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MOLDES PARA INYECCIÓN DE PREFORMAS EN IBERPLAST S.A.S.

La demanda de producción de preformas relacionada con los moldes GPET, HYPET Y HPP, requiere que la disponibilidad de los moldes usados actualmente en la planta sea alta, debido a esto cada molde se somete a un procedimiento de limpieza, lubricación y almacenamiento; la limpieza hace parte de las actividades preventivas primarias para proteger las partes del molde y mantener óptimo su funcionamiento, por otro lado el correcto almacenamiento y protección del mismo durante el tiempo de reposo es fundamental para evitar la contaminación principalmente por polución de cada molde, evitando así problemas de producto no conforme por contaminación.

Actualmente, el área de Planeación es la encargada de determinar la rotación de los moldes, según sea la necesidad de producción proyectada para satisfacer los requerimientos de los clientes. Diariamente se realiza uno o dos cambios de molde, lo que implica que los moldes deben estar en óptimas condiciones para cumplir rápidamente el pedido relacionado con la referencia trabajada. El personal encargado del montaje y desmontaje de los moldes recibe información sobre cual referencia trabajará y la máquina correspondiente, con un día de anticipación o en casos especiales durante el transcurso del día, posteriormente proceden a hacer el desmontaje del molde, cerca al final del

desmontaje se solicita el traslado del molde que trabajará en la máquina, debido a su tamaño es necesario un monta carga de 2.5 toneladas para realizar el traslado con seguridad, del mismo modo se traslada el molde desmontado de la máquina con ayuda de un puente de grúa y posteriormente se traslada hacia el cuarto de moldes.

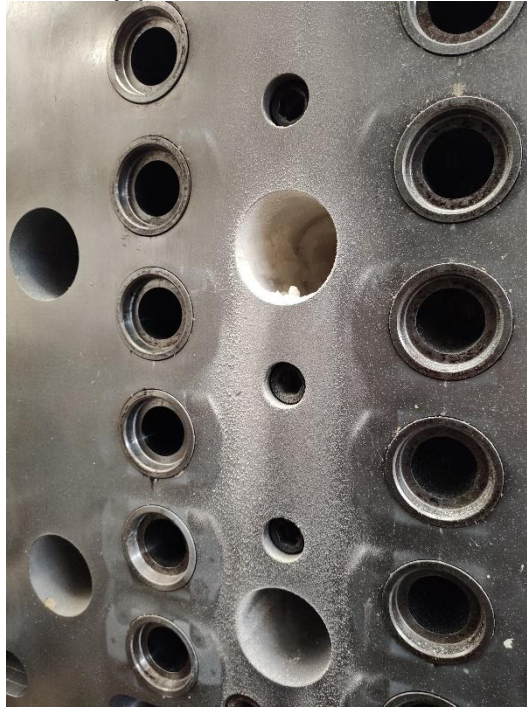
Una vez el molde se encuentra en el cuarto de moldes, el personal encargado debe programar su limpieza y en lo posible corregir los errores presentados durante su funcionamiento antes de ser retirado de la máquina, principalmente estos errores se ven reflejados en la anulación de las cavidades.

Los mantenimiento se clasifican en dos modalidades, la inspección (limpieza y lubricación) del molde y arreglos en los cuales no sea necesario hacer una intervención profunda de la parte caliente del molde; la otra modalidad del mantenimiento contempla el desarme total del molde, separar todas las placas que lo contemplan, agregando las partes internas del molde (obturadores, resistencias, boquillas, sellos etc.); el punto central de mantenimiento y donde recae la mayor parte de tiempo es en el Hot Runner, debido a las cantidades de partes involucradas para cambiar y las actividades de limpieza de material degradado, en lo que respecta a la parte fría del molde, se inspeccionan las mangueras de conexión entre placas en busca de fugas y en el core plate se hace un desensamble de cada core para limpiarlos internamente y los tubos internos, el resto de vías de refrigeración no se intervienen, paralelamente se valida contra el historial de fallas presentadas y verifica en el molde que los cores involucrados.

5.2.1 Descripción de actividades preventivas de mantenimiento actual. El personal encargado del mantenimiento de los moldes debe realizar una inspección continuamente a los moldes luego ser retirados de la máquina, cabe aclarar que no siempre corresponde a una inspección del molde completo, debido que es posible hacer cambios de solo la placa móvil del molde (Core Plate y Stripper Plate), otro caso es el cambio únicamente de Cores, este tipo de cambio no implica ningún cambio de placa. La inspección del molde o placa contempla las siguientes actividades:

- Limpieza: durante el proceso de inyección es común que internamente los moldes sufran de acumulación de PET en forma de polvo, este polvillo se genera de manera normal por el proceso de inyección, durante el momento de inyección del PET se generan gases, estos son liberados por los venteos del molde, sin embargo, tienen micropartículas de PET degradado las cuales se van acumulando dentro del molde y por fuera del mismo, ver figura 32. También puede causar contaminación en las preformas u obstrucciones en los venteos, afectando la inyección de al final de la preforma, es decir en el Neck Ring.

Figura 31. Acumulación de polvo PET en cavity plate



Fuente: elaboración propia.

De manera rutinaria el molde se lubrica, sin embargo, luego de que el molde es retirado de la máquina esta grasa debe ser retirada del molde para aplicar nuevamente grasa en buen estado, por otro lado, los ambientes acondicionados dentro de la cabina de la unidad de cierre generan óxido en la parte posterior de las placas de sujeción, el cual debe eliminarse de las placas.

- Lubricación: en el sistema mecánico del molde para la apertura de las columnas Neck Ring y las columnas guía del molde están sometidas a contacto metal-metal, debido a esto la lubricación con las grasas especiales como PARALIQ GA 343 y FGL - 2, su característica principal es su composición de grado alimenticio.

La lubricación del molde se hace indispensable para evitar el daño de piezas por desgaste o rotura, especialmente en el caso del sistema de expulsión, también es fundamental la lubricación en las columnas guías.

- Almacenamiento: posterior a los trabajos de limpieza y lubricación, el molde debe mantenerse en el cuarto de almacenamiento hasta que nuevamente sea solicitado su montaje, evitando que la polución generada en el ambiente vuelva a contaminar el molde, para esto se cubre el molde con forros y también es necesario aplicar un lubricante protector para evitar la corrosión.

Durante las actividades de limpieza, lubricación y almacenamiento, es posible incluir un mantenimiento correctivo haciendo cambio de partes externas del molde como mangueras, tornillos, pines de conexión eléctrica, seguros en mal estado y sensores. Para los mantenimientos totales del molde se hace la separación de las placas que componen al molde, la placa fija es la más robusta, puesto que en este se encuentra todo el sistema de distribución de material, en esta zona los manifolds hacen conexión con los obturadores, sin embargo, es ocasiones los gases y material sobre inyectado logra salir entre la transición del manifold a los obturadores, ver figura 31.

Figura 32. Material sobre inyectado y degradado en Hot Runner



Fuente: elaboración propia.

5.2.2 Descripción de actividades del mantenimiento general de los moldes. De acuerdo a las recomendaciones de los manuales el mantenimiento preventivo de los moldes está ligado a la cantidad de ciclos de inyección o también llamados golpes del molde, tipo de resina, fuerza de cierre y entorno de moldeo. Para determinada cantidad de ciclos lleva consigo un listado de actividades para ser ejecutadas, sin embargo, dentro de las recomendaciones se aclara que el mantenimiento debe ajustarse a las condiciones de trabajo presentes. En los cuadros 5,6 y 7 se describen las actividades consideradas por el fabricante para el mantenimiento preventivo.

Cuadro 5. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes GPET Husky

Calendario de mantenimiento para moldes de preforma							
	Tarea / Día Reemplazar componentes gastados o como se señala	3	7	10	14	182	365
1	Verifique visualmente si hay fugas de aire, agua e hidráulicas	x	x	x	x	x	x
2	Verifique visualmente si hay mangueras en contacto en el molde y EOAT	x	x	x	x	x	x
3	Limpie las caras y conos de cierre de las cavidades	x	x	x	x	x	x
4	Engrase el cono de la cavidad si corresponde	x	x	x	x	x	x
5	Limpie el anillo de cierre del cuello, respiraderos, y conos	x	x	x	x	x	x
6	Engrase el anillo del cuello si es necesario	x	x	x	x	x	x
7	Limpie el molde, quite grasa extra de los pasadores	x	x	x	x	x	x
8	Retire y reemplace la grasa deteriorada de las placas, levas y corredera	x	x	x	x	x	x
9	Engrase pasadores y bujes	x	x	x	x	x	x
10	Accione el circuito de ventilación central y/o el circuito de soplado de aire, si corresponde, asegúrese que todo esté funcionando	x	x	x	x	x	x
11	Verifique el desgaste visible en los pasadores y bujes guía				x	x	x
12	Verifique el desgaste visible en levas, placas de desgaste y correderas				x	x	x
13	Limpie e inspeccione visualmente la superficie de molde de la cavidad y el cono				x	x	x
14	Limpie e inspeccione visualmente el anillo del cuello y la superficie de moldeo				x	x	x
15	Enganche la placa del separador a la placa de la cavidad, limpie los conos de bloqueo, las ventilaciones de la línea divisora				x	x	x
16	Inspeccione visualmente los conos de bloqueo, la ventilación y líneas de separación				x	x	x
17	Limpie e inspeccione la superficie de moldeo del núcleo				x	x	x

Cuadro 5. Continuación

18	Engrase el cono de bloqueo, si corresponde				x	x	x
19	Verifique el desgaste del rodillo del soporte del receptor				x	x	x
20	Girar correderas de arriba abajo					x	x
21	Retirar la placa de sujeción de la colada caliente y limpiar acumulación de plástico					x	x
22	Verificación eléctrica de resistencias, continuidad y conexión a tierra de los calentadores del canal caliente					x	x
23	Retirar el bloqueador de la leva y verificar acumulación de corrosión. Analizar agua si es necesario					x	x
24	Limpie y pula la superficie de moldeo si es necesario						x
25	Reemplace sellos de los obturadores. Limpie el interior de los casquillos del obturador (no requiere lubricante en los sellos de la válvula doble delta)						x
26	Limpie e inspeccione visualmente la punta del vástago de la válvula. Reemplazar si es necesario						x
27	Inspeccione las puntas de la boquilla y los aisladores. Reemplace si es necesario.						x

Fuente: elaboración propia, basado en manual impreso de moldes Husky GPET, 1998.

Cuadro 6. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes HYPET Husky

Tarea (reemplazar los componentes gastados o según se indique)		N° de ciclos de intervalo			
		15000 (3 a 4 días)	60000 (14 días)	800000 (6 meses)	1600000 (12 meses)
1	Comprobar visualmente eventuales fugas de aire, agua, vacío o aceite	x	x	x	x
2	Limpiar las superficies de cierre y los conos de la cavidad	x	x	x	x
3	Engrasar el cono de la cavidad	x	x	x	x
4	Limpiar el cierre del cuello, las ventilaciones y los conos	x	x	x	x
5	Engrasar el cono del cuello	x	x	x	x
6	Pasar una gamuza sobre el molde, retirar el exceso de grasa de las columnas guía	x	x	x	x
7	Retirar la grasa usada y aplicar grasa nueva en las placas de desgaste y las levas	x	x	x	x
8	Engrasar las columnas guía y los casquillos	x	x	x	x
9	Comprobar visualmente el desgaste de las columnas guía y de los casquillos		x	x	x
10	Comprobar visualmente el desgaste de los canales de las levas, las placas de desgaste, las levas y las guías de las levas. Reemplazar si es necesario		x	x	x
11	Limpiar y comprobar visualmente la superficie de moldeo y el cono de la cavidad		x	x	x
12	Limpiar y comprobar visualmente el cono del cuello y la superficie de moldeo		x	x	x
13	Engrasar los conos de la cavidad y del cuello ¹		x	x	x
14	Colocar tiras de bloqueo entre la placa expulsora y la placa de cavidades, limpiar el cono del anillo de centrado, las ventilaciones, la línea de separación ¹		x	x	x

Cuadro 6. Continuación

15	Comprobar visualmente las juntas de desgaste, los conos del anillo de centrado, la ventilación y la línea de separación ¹		x	x	x
16	Engrasar los conos del anillo de centrado y del cuello ¹		x	x	x
17	Limpia y controlar la superficie de moldeo de los machos ¹		x	x	x
18	Retirar los obturadores de vacío de CoolPik de la máquina		x		
19	Limpia los obturadores de vacío de CoolPik		x		
20	Retirar la placa trasera del distribuidor y limpiar el polvo y los restos			x	x
21	Utilizar un ohmímetro para verificar las resistencias del canal caliente en busca de fallos de continuidad y de protección a tierra			x	x
22	Retirar un racor de bloqueo de leva y comprobar que no se encuentren depósitos de corrosión en el molde. Analizar el agua si es necesario			x	x
23	Retirar un manguito del tubo de extracción y comprobar el estado del circuito de refrigeración. Limpiar según se requiera			x	x
24	Comprobar y apretar según se requiera todos los tornillos de montaje del tubo de extracción			x	x
25	Limpia la superficie interna de los tubos de extracción			x	x
26	Alinear las mitades del molde			x	x
27	Limpia y pulir la superficie de moldeo de los machos, si es necesario			x	x
28	Sustituir la junta de desgaste				x
29	Sustituir las juntas del pistón del canal caliente				x
30	Sustituir el rodamiento de guía de leva				x

Fuente: elaboración propia, basado en manual impreso de moldes Husky HyPET, 2010.

Cuadro 7. Actividades de mantenimiento preventivo para moldes HPP Husky

Procedimiento	Intervalos de mantenimiento entre ciclos				
	Cada 45.000	Cada 90.000	Cada 225.000	Cada 900.000	Cada 3'000.000 a 4'000.000
Limpiar todos los arreglos conos y caras internas y aplicar grasa en los conos de anillos del cuello de la preforma	x				
Limpiar e inspeccionar venteos	x				
Inspeccionar placa de núcleos		x			
Verificar alineación entre placa de cavidades y núcleos		x			
Inspeccionar placa de herramientas y retirar tubos		x			
Asegurar placa de expulsión a la placa de cavidades, limpiar bloqueadores de conos, venteos, línea de partición		x			
Inspección visual de los conos en los anillos de bloqueo, venteos y línea de división		x			
Engrasar anillos de cierre y conos de los anillos de cuello		x			
Limpiar e inspeccionar la superficie de los núcleos		x			
Limpiar y lubricar todos los pines guía, bujes de pines, barras de conexión platos internos y correderas			x		
Limpiar todos los disco móviles ensamblados en el coolpik				x	

Cuadro 7. Continuación

Limpiar e inspeccionar las levas y seguidores de leva				x	
Reemplazar todos los aisladores de boquillas, boquillas, vástago de válvula, sellos de pistón y cilindros					x
Retirar el exceso de resina presente en el canal caliente					x
Reemplazar todos los seguidores de leva cada 3 millones de ciclos					x

Fuente: elaboración propia, basado en manual impreso de moldes Husky HyPET, 2014.

La limpieza y lubricación son actividades fundamentales para ejecutar en cada parte del molde, mediante ambas actividades se inspecciona continuamente todo tipo de desgaste o piezas en mal estado, sin embargo, la ejecución rutinaria de dichas actividades tiene falencias, omitiendo la intensidad de las actividades preventivas.

5.2.3 Programación periódica actual de los mantenimientos. El encargado de los mantenimientos preventivos de los moldes, actualmente lleva un control de ciclos en cada molde, sin embargo, no está establecido un inventario claro y flexible para lograr manejar de manera organizada los ciclos correspondientes a cada placa del molde, del mismo modo el control carece de un formato para controlar de manera más clara y recolectar información para proyectar todo tipo de actividad relacionada con el mantenimiento.

En la placa móvil está instalado de fábrica un contador de ciclos, ver figura 31; cada ciclo significa un cierre del molde.

Figura 33. Contador de ciclos en placa móvil



Fuente: elaboración propia

Debido a la falta de un formato adecuado el plan de mantenimiento generalmente se ejecuta cuando la eficiencia del molde está demasiado baja, esta eficiencia se relaciona con la cantidad de cavidades anulas, sin embargo el problema de esto es que incrementa el tiempo de intervención y proyectar los daños adicionales por superar la cantidad de ciclos recomendada por el fabricante para intervenir el molde representa una disminución en la efectividad de los mantenimientos preventivos, ya que en muchas ocasiones no se cuenta con la disponibilidad de todos los repuestos.

Para mejorar la programación de mantenimientos preventivos es necesario desarrollar un formato el cual permita recolectar información y relacionarla con cada molde, controlando principalmente el Hot Runner, del mismo modo esta información permite proyectar los mantenimientos y coordinar con el área de Planeación la fecha para ejecutar el mantenimiento.

5.2.4 Relación de defectos en la preforma con averías de los moldes. La función principal del molde es lograr formar preformas con las dimensiones requeridas para cada inyección, sin embargo, esto puede tener complicaciones que se ven reflejadas en la preforma, las características físicas es el factor vital a controlar en lo que respecta al funcionamiento del molde. Los problemas típicos presentes durante el proceso de inyección de preformas son:

- Puntos negros en la preforma: por el trabajo constante es posible que se acumule material y pueda ser degradado en cada inyección contaminando la preforma.
- Líneas de cierre marcadas: por desajuste mecánico de los neckring, cores o columnas porta neckring, también obstrucción de material entre en cierre de los neckring es

posible que las líneas de partición del molde queden marcadas al inyectar las preformas.

- Cristalinidad en punto de inyección de preforma: debido al flujo inadecuado de material por obstrucción de los venteos, refrigeración inadecuada por taponamiento de canales para refrigerar y apertura y cierre de obturador inadecuada por desgaste de partes o acumulación de material.
- Espesor delgado en el end cap o base de la preforma: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo) y fallas en el flujo de resina por los canales calientes.
- Contracción en punto de inyección: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo) y fallas en el flujo de resina por los canales calientes.
- Desprendimiento de material en punto de inyección: está relacionado con el desgaste de la boquilla y vástago de válvula, también se relaciona con obstrucciones en canales de refrigeración.
- Vacío interno en el punto de inyección: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo), en el calentamiento de la boquilla, en el sistema neumático de obturadores y acumulación de material en los obturadores y venteos.
- Emblanquecimiento en el cuerpo de la preforma: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo).
- Variación de espesor de pared: está relacionado con la desalineación y nivel entre las placas de núcleos y cavidades, también puede presentarse por núcleos dañados o golpeados y con problemas de refrigeración.
- Línea de unión en la corona: está relacionado con las fugas de agua en la columna de neckrings o conexiones de agua.
- Punto de inyección largo: está relacionado con obstrucciones en el sistema de obturadores y en los venteos, también desgaste en sellos y vástago de válvula.
- Inyección incompleta: está relacionado con la obstrucción de los venteos por acumulación de material.
- Colapso de material en el cuerpo de la preforma: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo).

- Líneas de flujo: está relacionado con el daño en el cierre de los obturadores al dosificar material.
- Hilos de resina en el punto de inyección: está relacionado con fallas en el sistema de refrigeración (presión, temperatura y flujo), en el sistema neumático de obturadores y acumulación de material en los obturadores.
- Puntos blancos en la corona de la preforma: está relacionado con la obstrucción de los venteos por acumulación de material.

De acuerdo a lo anterior la mayor cantidad de fallas en el molde se ven reflejadas en las cualidades de la preforma inyectada, a partir de esto es posible evaluar los puntos críticos a tratar durante el mantenimiento preventivo. Adicionalmente también es común encontrarse con fallas netamente mecánicas, principalmente la falta de lubricación en el sistema de expulsión y columnas guías del molde.

5.2.5 Histórico de cavidades anuladas en el segundo semestre del 2019. El área de Calidad es la encargada de controlar y recolectar información sobre el comportamiento de las cavidades al largo del año, para esto se toman datos de la máquina sobre las cavidades con las cavidades anuladas (posición). Además de la información obtenida en la máquina se apoya en el personal de Producción para determinar la razón de las cavidades anuladas, de este modo se obtiene información importante para la ejecución del mantenimiento preventivo. Durante el segundo semestre del 2019 se presentaron las siguientes fallas, ver cuadro 8.

Cuadro 8. Fallas en moldes Husky relacionadas con las cavidades durante el segundo semestre del 2019

Falla	Causa
Sin core	Rotura de pieza
Falla resistencia en boquilla	Daño eléctrico
Obturador no abre	Daño neumático y/o mecánico de obturador
Variación de espesor	Daño dimensional en core
Preforma quemada	Falla en refrigeración
Recalentamiento de core	Falla en refrigeración
Marca interna por tubo de robot	Limpieza y/o alineación
Raya en preforma	Limpieza y/o alineación
Rebaba en rosca	Limpieza de venteos y/o alineación de neckring
Rebaba en juntas	Alineación de neckring
Falla de transferencia	Falla de sensores y/o refrigeración
Cristalización en preforma	Falla de temperatura
Rechupe en preforma	Falla en refrigeración
Humedad en preforma	Fugas de agua en sistema de refrigeración
Línea vertical en el cuerpo	Alineación de neckring
Golpe en neckring	Manipulación errónea
Hilos por babeo	Daño neumático y/o mecánico de obturador
Desmoldeo incorrecto	Falla en refrigeración
Recalentamiento en tubo de robot	Falla en refrigeración
Piel de naranja	Falla en refrigeración
Contaminación de material	Acumulación de material
Golpe en core	Manipulación errónea
Fisura en cavidad	Sobre presión
Variación de peso	Parámetros de presión erróneos
Rosca de preforma incompleta	Limpieza de venteos
Tubo de robot rayado	Manipulación errónea
Inyección incompleta	Limpieza de venteos

Fuente: elaboración propia, en base a datos suministrados por la empresa

De acuerdo al anterior cuadro es posible determinar las principales problemáticas para solucionar al hacer mantenimiento preventivo, complementando las actividades propias del mantenimiento y del mismo modo evaluar las partes relacionadas con las fallas más repetitivas.

5.2.6 Documentos para el mantenimiento. Actualmente los mantenimientos ejecutados están ligados con las rutinas de limpieza, lubricación y almacenamiento, sin embargo, dichas actividades están dirigidas por el técnico a cargo y no hay un control o

seguimiento sobre lo que se hace durante la rutina, posterior al mantenimiento existen formatos de inspección y verificación, para el montaje del molde en cada máquina, los formatos son:

- **ND 430073** Lista de chequeo para la realización de mantenimiento o cambios de moldes
- **ND 43092** Lista de chequeo para el alistamiento de moldes
- **NP 42006 A0** Procedimiento para programar los cambios de formatos y los mantenimientos preventivos
- **NP 43054 A1** Procedimiento para cambio completo de moldes en los sistemas por inyección de preformas Husky HyPET

En lo que respecta al mantenimiento preventivo mayor, actualmente se han desarrollado mantenimientos en compañía de un técnico especializado y sin él; el mínimo de necesario para un mantenimiento preventivo general en un molde completo de 48 cavidades ha sido 4 días, trabajando 24 horas, sin embargo, se presentan demasiados tiempos muertos debido a que las actividades ejecutadas sin compañía del técnico son solo de limpieza. Por la falta de un plan de actividades estructurado el desarrollo del mantenimiento se ve retrasado y las actividades paralelas no pueden ser ejecutadas para reducir tiempos.

5.2.7 Histórico de mantenimiento preventivo en 2019. El manejo de tiempos en la planta actualmente se controla con formatos llamados requisiciones, dentro del cual se registra el tiempo inicial y final del mantenimiento, sin embargo, no hay un control óptimo en el registro, ya que no hay una estructura clara del inventario y manejo de nombre de las partes que componen el molde al momento de hacer el mantenimiento.

Durante el año 2019 se realizaron los siguientes mantenimientos preventivos, ver cuadro 9.

Cuadro 9. Mantenimientos preventivos mayores ejecutados en moldes Husky durante el 2019

Tipo de mantenimiento	Ítem del molde	Costo de servicio técnico	Días requeridos
Mayor	Hot Runner 32 cavidades	USD 4.540,00	3
Mayor	Hot Runner 48 cavidades	USD 7.700,00	5
Mayor	Molde completo 96 cavidades	USD 11.200,00	7
Mayor	Molde completo 72 cavidades	USD 8.900,00	6

Fuente: elaboración propia, basado en reportes técnicos

La mayor parte de los mantenimientos preventivos se hicieron en compañía de un técnico Husky, debido a que se justificó la necesidad de producción para reducir tiempo, sin embargo, la estructura y manejo del personal actualmente no garantiza una reducción considerable de tiempos.

5.2.8 Costos aproximados de mantenimiento actuales. Actualmente, existen dos opciones para realizar el mantenimiento preventivo del molde, la primera de ella es apoyarse en los colaboradores internos de la empresa y en las actividades preventivas propias del plan de mantenimiento actual de cada molde. En el cuadro 10, se observa un costo aproximado del valor de un servicio técnico para intervenir un molde, sin contemplar el gasto en insumos y repuestos.

Cuadro 10. Gastos aproximados de servicio técnico para mantenimiento preventivo de moldes

DESCRIPCION	HORAS CALCULADAS	COSTO APROX HORA TEC. EXTERNO	TRM PROM 2019	VALOR HORA PESOS	VALOR TOTAL EN PESOS C.
HOT RUNNER 23,6 gr (96)	80	USD 140	COP 3.200	COP 448.000	COP 35.840.000
HOT RUNNER 23,6 gr (96)	80	USD 140	COP 3.200	COP 448.000	COP 35.840.000
HOT RUNNER 40.5 gr (96)	80	USD 140	COP 3.200	COP 448.000	COP 35.840.000
HOT RUNNER 23,6 gr (72)	64	USD 140	COP 3.200	COP 448.000	COP 28.672.000
HOT RUNNER 26 gr (48)	48	USD 140	COP 3.200	COP 448.000	COP 21.504.000
					COP 157.696.000

Fuente: elaboración propia, basado en reportes técnicos Husky.

Consumo actual de insumos para desarrollar mantenimiento preventivo y general de los moldes está relacionado principalmente con lubricantes de nivel alimenticio, aerosol para limpieza, papel lija, brocas, cepillos en cerdas de bronce y barras de bronce.

Respecto al molde el mayor gasto recae sobre el mantenimiento del Hot Runner, debido a que se deben cambiar sellos, cilindros y vástagos de los obturadores; los moldes tienen de 32 a 144 cavidades y por cavidad es un kit para cambiar. Por otro lado, el sistema de refrigeración se inspecciona y limpia, mientras esta actividad es posible encontrar daño en partes y juntas tóricas, las cuales deben cambiarse para garantizar un correcto

funcionamiento, en el cuadro 11, contiene información sobre los repuestos comunes para cambiar en los mantenimientos preventivos mayores.

Cuadro 11. Repuestos de cambio en mantenimiento preventivo mayor

Repuesto	Valor unitario [COP]
Resistencias	\$ 98.000
Boquilla	\$ 83.000
Aguja	\$ 51.000
Sellos	\$ 35.000
Aisladores	\$ 47.000
Pistones / Casquillos	\$ 119.000
Cilindros	\$ 75.000

Fuente: elaboración propia.

5.3 CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO

La ejecución del mantenimiento preventivo tiene gran complejidad al desarrollarse un mantenimiento mayor, para intervenir un molde completo es necesario contemplar un consecutivo de actividades que involucran trabajos consecutivos para lograr reducir tiempos y de igual manera mantener la efectividad del mantenimiento.

5.3.1 Ejecución de tareas básicas y rutinarias (limpieza, lubricación y almacenamiento). Para un molde completo, placa móvil y fija, el técnico encargado debe dividir las cargas de trabajo respecto a las placas, es decir una persona encargada de la placa móvil y otra persona de la placa fija (en el caso de intervenir un molde incluyendo el robot se debe priorizar el molde y posteriormente se procederá con el robot).

El trabajo en ambas placas procede con la limpieza de superficies, de manera colectiva ambos técnicos deben hacer uso de los paños Wypall X75²², aerosol WD-40²³, papel lija y copa grata con hilos de bronce, para limpiar la acumulación de PET degradado, óxido y grasa deteriorada. Para aprovechar de manera más eficiente el tiempo, es necesario que el operario encargado de trabajar en la placa fija inicie limpiando la parte trasera de la placa, ya que en este punto es necesario hacer uso de la copa grata para retirar las capas de óxido generada durante el trabajo del molde. De manera paralela el otro técnico debe proceder con la limpieza la placa fija, de igual manera debe retirar el óxido acumulado en la superficie de los neckring, cores, limpieza de venteos, retirar la grasa acumulada y contaminada en el sistema de expulsión (abierto y cerrado) y en las columnas guía del molde.

²² KC PROFESSIONAL. Productos. [en línea]. Colombia 2020. [Consultado: 25 de enero de 2020]. Disponible en: <https://www.kcprofessional.com.co/wypall/productos>

²³ WD 40. Producto Multiuso Original. [en línea]. España 2020. [Consultado: 25 de enero de 2020]. Disponible en: <https://wd40.es/producto-multi-uso/original/>

Una vez termine el trabajo en ambas placas se procede a hacer limpieza de las superficies mediante la aplicación de hielo seco a presión, este trabajo se puede hacer exclusivamente por un técnico, ya que solo se cuenta con un equipo; en el caso de que el robot del molde también sea retirado, paralelamente se deben limpiar los tubos con un paño wypall y verificar las perforaciones por las cuales se hace vacío.

Finalmente se debe eliminar la condensación del hielo seco en ambas placas y paralelamente engrasar todos los puntos de lubricación (casquillos de las columnas, guías de leva, levas y barras de expulsión. Para ello son necesario dos engrasadoras manuales. De este modo el tiempo necesario para ejecutar las tareas básicas de limpieza reducirá.

5.3.2 Estructurar de inventario de moldes. Mediante una estructuración clara del inventario de moldes es posible controlar información sujeta a cada parte del molde, para esto se enlistará todos los moldes por el “Job Number”, siguiente a esto se clasificarán las placas principales del molde Hot Runner, Cavity Plate, Core Plate, Stripper Plate o Neckring Plate, Cores y Robot. Debido a que según la referencia solicitada para producir algunas placas cambian es posible controlar de manera independiente el trabajo de cada placa clasificándolas de este modo.

5.3.3 Listado de actividades preventivas básicas. Para controlar el estado del molde durante su trabajo es necesario recolectar información sobre cada intervención hecha, desde una limpieza hasta un intercambio de placas, debido a esto es necesario establecer un formato de trabajo para los mantenimientos o actividades preventivas. A través de esta recolección de datos se controlarán los ciclos y será posible proyectar una intervención del molde para conciliar con el área de Planeación la intervención del molde evitando generar retrasos considerables o incumplimiento de órdenes de producción.

5.3.4 Listado de actividades de mantenimiento preventivos mayores. El mantenimiento general de un molde contempla un gran listado de actividades el cual puedo organizarse y ejecutarse de manera tal que reduzca el tiempo necesario para hacer mantenimiento, debido a esto es necesario un listado de actividades para la ejecución del mantenimiento con la claridad suficiente para lograr recibir apoyo de personal adicional y ejecutar actividades paralelas.

5.3.5 Formato digital de hoja de vida de los moldes. Mediante formatos establecidos y un inventario claro será posible recolectar información sobre los moldes, así mismo generar una trazabilidad de fallas poco comunes y mantenimientos mayores, debido a lo anterior y considerando la ausencia actual de una estructura para la recolección de información sobre los moldes es necesario desarrollar un archivo digital para almacenar información importante sobre los moldes.

5.3.6 Evaluar la capacidad de las herramientas especiales actuales. Durante la ejecución de los mantenimientos son necesarias herramientas especiales para retirar partes y para instalar, sin embargo, es necesario evaluar si las herramientas actuales

están en buen estado y si son suficientes para desarrollar el mantenimiento sin generar tiempos muertos por esperas.

6. OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento preventivo actual ejecutado en los moldes de inyección de preformas Husky, usados en Iberplast se someterá a un proceso de optimización a través del PMO, mediante esta herramienta es posible evaluar la estructura de los planes de mantenimiento y optimizarla, a través de la evaluación de tareas del mantenimiento preventivo para eliminar aquellas que no tengan propósito o no sean efectivas, análisis de fallas e histórico de las mismas, elimina esfuerzos duplicados, re direcciona la filosofía del mantenimiento preventivo para basarlo en condición de los activos, distribuye el cargo de trabajo de manera adecuada y a través del análisis de modo de falla determinas tareas adicionales para el plan de mantenimiento preventivo.

Su desarrollo estará enmarcado en nueve pasos:

- I. Establecer funciones y tareas
- II. Análisis de modos de falla
- III. Racionalización y revisión de procedimientos
- IV. Análisis funcional basado en confiabilidad
- V. Evaluación de consecuencias
- VI. Determinación de las políticas de mantenimiento
- VII. Agrupación y revisión de los procesos funcionales
- VIII. Aprobación e implementación de programas
- IX. Programa de vida y mejora continúa

Dentro de la optimización de plan de mantenimiento para los moldes de inyección de preformas usados en Iberplast S.A.S. se contemplarán hasta el paso VII, debido a que los dos siguientes pasos sobrepasan el alcance del proyecto.

6.1 ESTABLECER FUNCIONES Y TAREAS

Para el desarrollo del mantenimiento preventivo en los moldes se mantendrán los dos pilares de actividades contemplados actualmente, actividades de limpieza y mantenimiento general. A continuación, se describen de manera más amplia las actividades contempladas en cada pilar.

6.1.1 Actividades básicas de limpieza. El técnico encargado del manejo de los moldes debe mantener los moldes en un estado óptimo de funcionamiento, brindando confiabilidad para desarrollar su producción. Estos trabajos de mantenimiento se ejecutan paralelamente con la programación de los cambios de molde, cada vez que se solicitan un cambio de molde, se retira de la inyectora la parte que corresponde cambiar para producir la referencia solicitada y posteriormente se interviene la parte que se retiró de la

inyectora, cabe aclarar que existen 5 tipos de cambio de molde, es decir que las actividades básicas de limpieza están ligadas al tipo de cambio de molde, los cuales son:

- Molde completo
- Hot Runner
- Core Plate
- Core Plate y Neckring Plate
- Cores

De acuerdo al tipo de cambios nombrados anteriormente, ordenados de manera descendente según su nivel de complejidad, las actividades de mantenimiento preventivo tienen el mismo nivel de complejidad agregando principalmente más actividades y requiriendo consecuentemente más tiempo.

Ahora bien, es necesario que el técnico encargado de los moldes tenga presente la cantidad de ciclos del contador antes de iniciar la producción con la referencia solicitada para el cambio, ya que no siempre se acumula la cantidad de ciclos necesaria para realizar a profundidad las actividades de mantenimiento básicas, los puntos principales que siempre se deben tratar en cada cambio de molde son la limpieza de Cores y cavidades, junto con la limpieza de grasa y aplicar nuevamente grasa. También es de importancia que por cada cambio de molde se informe al técnico la cantidad de preformas a producir para organizar y proyectar los trabajos sobre el molde, así mismo dimensionar los insumos y definir prioridades.

En las tablas presentadas a continuación se relacionan las actividades básicas de mantenimiento preventivo por cada cambio de molde realizado. En la tabla 1, se enlistan las actividades de mantenimiento preventivo luego de un cambio de molde completo, en la tabla 2, se enlistan las actividades básicas de limpieza para un Hot Runner, en la tabla 3 se enlistan las actividades básicas de limpieza para un Core Plate, en la tabla 4, se enlistan las actividades básicas de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate, en la tabla 5, las actividades intermedias de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate y en la tabla 6 se enlistan las actividades básicas de limpieza para un Cores.

Tabla 1. Actividades básicas de limpieza para un molde completo

Actividad	Tiempo en minutos por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están divididos entre la placa fija (FH) y móvil (MH) del molde.	32	48	72	96	128	144
FH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa fija	30	45	70	90	120	140
FH - Limpieza de material degradado en cavidades con herramientas de bronce ***	15	30	45	60	75	90
FH - Inspección visual de estado general de conectores eléctricos y racores	10	10	10	10	10	10
FH - Limpieza de polvo producido por el proceso en todas las superficies del molde con aire	10	20	30	40	50	60
FH - Medición resistencias eléctricas	15	30	45	60	75	90
FH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
FH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
FH - Limpieza de cavidades con hielo seco a presión	60	90	120	150	180	210
FH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde	20	40	60	80	100	120
FH - Limpieza y lubricación de guías para columnas del molde.	10	10	10	10	10	10
SUBTOTAL (min)	220	375	545	710	895	1040
MH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil	30	45	70	90	120	140
MH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
MH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
MH - Limpieza de excesos de grasa de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90

Tabla 1. Continuación

MH - Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración	10	10	10	10	10	10
MH - Inspección de estado de sensores por columnas de preformas	10	10	10	10	10	10
MH - Limpieza con hielo seco a presión de placa con expulsor cerrado	60	90	120	150	180	210
MH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde	20	40	60	80	100	120
MH - Lubricación de leva y seguidor	10	15	20	30	40	50
	10	10	10	10	10	10
SUBTOTAL (min)	215	350	500	650	820	950
TOTAL (min)	435	725	1045	1360	1715	1990

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Tabla 2. Actividades básicas de limpieza para un Hot Runner

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa fija (FH) del molde	32	48	72	96	128	144
FH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa fija.	30	45	70	90	120	140
FH - Limpieza de material degradado en cavidades con herramentales de bronce. ***	15	30	45	60	75	90
FH - Inspección visual de estado general de conectores eléctricos y racores.	10	10	10	10	10	10
FH - Limpieza de polvo producido por el proceso en todas las superficies del molde con aire.	10	20	30	40	50	60
FH - Medición resistencias eléctricas.	15	30	45	60	75	90
FH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
FH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
FH - Limpieza de cavidades con hielo seco a presión.	60	90	120	150	180	210
FH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde.	20	40	60	80	100	120
FH - Limpieza y lubricación de guías para columnas del molde.	10	10	10	10	10	10
TOTAL (min)	220	375	545	710	895	1040

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Tabla 3. Actividades básicas de limpieza para un Core Plate

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa móvil (MH) del molde.						
MH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil	30	45	70	90	120	140
MH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
MH - Limpieza con zabra en cono de cierre	45	90	140	190	250	280
MH - Limpieza de excesos de grasa de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90
MH - Inspección visual de conexiones de refrigeración	10	10	10	10	10	10
MH - Inspección de estado de sensores por columnas de preformas	10	10	10	10	10	10
MH - Limpieza con hielo seco a presión de placa con expulsor cerrado	60	90	120	150	180	210
MH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde	20	40	60	80	100	120
TOTAL	195	325	470	610	770	890

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Tabla 4. Actividades básicas de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa móvil (MH) del molde.						
MH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil	30	45	70	90	120	140
MH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
MH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
MH - Limpieza de excesos de grasa de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90
MH - Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración	10	10	10	10	10	10
MH - Inspección de estado de sensores por columnas de preformas	10	10	10	10	10	10
MH - Limpieza con hielo seco a presión de placa con expulsor cerrado	60	90	120	150	180	210
FH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde	20	40	60	80	100	120
MH - Lubricación de leva y seguidor	10	15	20	30	40	50
MH - Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor	10	10	10	10	10	10
TOTAL	215	350	500	650	820	950

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Tabla 5. Actividades intermedias de limpieza para un Core Plate y Neckring Plate

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa móvil (MH) del molde.	32	48	72	96	128	144
MH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil.	30	45	70	90	120	140
MH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	5	10	15	20	25	30
MH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
MH - Limpieza de excesos de grasa y de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90
MH - Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración.	10	10	10	10	10	10
MH - Inspección de estado de sensores por columnas de preformas.	10	10	10	10	10	10
MH - Limpieza con hielo seco a presión con placa expulsora abierta.	120	180	240	300	360	420
FH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde.	40	60	80	100	120	140
MH - Lubricación de leva y seguidor.	10	15	20	30	40	50
MH - Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor.	10	10	10	10	10	10
TOTAL (min)	295	460	640	820	1020	1180

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Los valores de tiempo establecidos se contemplan solo con un técnico encargado del mantenimiento y están sujetos a incrementos según sea el estado del molde o cambios de partes en las cuales se detecta un desgaste que puede generar posteriormente una falla.

En el caso de intervenir el molde completo, ver tabla 1, el trabajo se puede dividir en dos partes, al ser dos placas el técnico encargado se dedica a una de las placas y el técnico permanente de apoyo se dedica a la otra placa, cabe aclarar que para la limpieza con hielo seco a presión solo se cuenta con un equipo, debido a esto se debe iniciar primero con la placa fija, ya que las actividades que anteceden a la limpieza con hielo seco son de menor complejidad que las actividades en la placa móvil.

Tabla 6. Actividades básicas de limpieza para un Cores

Actividad	Tiempo (min)
Limpieza del cuerpo exterior del core con paño suave.	1
Inspección de junta tórica.	1
Limpieza de rayas de material degradado sobre el cuerpo del core con paño y crema para pulido de 9 micras.	2
Cambiar junta tórica en caso de estar en mal estado.	1
Almacenar core en guacal.	0,5
TOTAL (min)	5,5

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Los tiempos establecidos para el mantenimiento básico de los Cores, ver tabla 6, están cuantificados por Core, para los moldes de 48 y 72 cavidades aplica el cambio de moldes, es decir que son necesarios 115 y 172 minutos respectivamente, este escenario está propuesto contemplando que todos los Cores tengan material degradado sobre la superficie del cuerpo, lo cual es poco probable que se presente en todos de manera simultánea.

En resumen, los tiempos necesarios para ejecutar los diferentes tipos de mantenimientos preventivos básicos son:

Tabla 7. Resumen de tiempos necesarios para mantenimiento preventivo básico

Tipo de mantenimiento	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Molde completo	435	725	1045	1360	1715	1990
Hot Runner	220	375	545	710	895	1040
Core Plate	195	325	470	610	770	890
Core Plate y Neckring Plate	215	350	500	650	820	950
Core Plate y Neckring Plate (intermedio)	295	460	640	820	1020	1180
Cores	-	264	396	-	-	-
TOTAL	1360	2499	3596	4150	5220	6050

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Los tiempos registrados en la tabla 7, están considerados bajo condiciones ideales y actividades ejecutadas por una sola persona, sin contemplar tareas colectivas, es decir que los tiempos pueden ser mayores en caso de presentarse algún problema y del mismo modo pueden reducir si se distribuye de una manera efectiva las actividades de tal manera que puedan realizarse colectivamente y reducir el tiempo necesario para realizar mantenimiento preventivo básico.

6.1.2 Mantenimiento general del molde. Este tipo de intervención tiene una gran complejidad en su desarrollo, se compone de una gran cantidad de actividades, a continuación, se agrupan las actividades por cada placa que compone la parte fija y móvil del molde.

Es vital verificar las fijaciones de las siguientes partes:

- Cavidades
- Cuellos
- Anillos de centrado
- Cores
- Placa de cavidades
- Placa de distribuidor
- Placa de expulsión

Tabla 8. Mantenimiento general placa fija

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa fija (FH) del molde.						
Extracción de la placa de cavidades	15	30	45	60	75	90
Liberación de placa trasera de manifold	15	30	45	60	75	90
Liberación de air plate	15	30	45	60	75	90
Desensamble puntas de boquilla	160	240	360	480	640	720
Extracción de agujas	160	240	360	480	640	720
Limpieza de material degradado alrededor y sobre los manifolds	180	360	540	720	900	1080
Limpieza e inspección de cilindros y pistones	320	480	720	960	1280	1440
Taladrado de material solidificado en el ducto de la boquilla	320	480	720	960	1280	1440
Rectificar roscas de boquillas	96	144	216	288	384	432
Verificar manualmente el ajuste de la aguja en cada obturador	32	48	72	96	128	144
Verificar el correcto ensamble de la punta de boquilla (rosca y ajuste de posición)	160	240	360	480	640	720
Ensamblar sellos en pistones de obturadores	160	240	360	480	640	720
Limpieza de placa de cavidades	60	90	120	150	180	210
Limpieza de aire plate	60	90	120	150	180	210
Limpieza de placa de manifold	15	30	45	60	75	90
Ensamble de agujas en obturadores	160	240	360	480	640	720
Ensamble de pistones	160	240	360	480	640	720
Ensamble de boquillas	160	240	360	480	640	720
Medición eléctrica de resistencias en el molde	10	20	30	40	50	60
Ensamble de placas	45	90	135	180	225	270
Medición eléctrica resistencias en el molde posterior al ensamble	10	20	30	40	50	60
TOTAL (min)	2335	3650	5445	7240	9515	10830

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

Tabla 9. Mantenimiento general placa móvil

Actividad	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Los trabajos están centrados en la placa móvil (MH) del molde.	32	48	72	96	128	144
Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración.	10	10	10	10	10	10
Separar placas de expulsión y machos	30	45	60	75	90	105
Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil.	30	45	70	90	120	140
Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	10	20	30	40	50	60
Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre	45	90	140	190	250	280
Limpieza de excesos de grasa y de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90
Limpieza de excesos de grasa y de aceite OKS 370	15	30	45	60	75	90
Desensamble cores y anillo de bloqueo	160	240	360	480	640	720
Limpieza de cores y anillo de cierre	160	240	360	480	640	720
Ensamble de cores y anillo de bloqueo	160	240	360	480	640	720
Ensamble de placa de expulsión	30	45	60	75	90	105
Inspección de estado de sensores por columnas de preformas.	10	10	10	10	10	10
Limpieza con hielo seco a presión en placas	240	360	480	600	720	840
Secar condensación se hielo seco en todo el molde.	80	120	160	200	240	280
Lubricación de leva y seguidor.	10	15	20	30	40	50
Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor.	10	10	10	10	10	10
TOTAL (min)	1060	1640	2360	3080	3950	4510

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

En las tablas 8 y 9 se encuentran relacionados las actividades y tiempos necesarios para realizar un mantenimiento preventivo general del molde, se aclara que los tiempos están contemplados en condiciones ideales y ejecutadas solo por una persona. En la tabla 10,

se relaciona la cantidad total de tiempo necesario para llevar a cabo un mantenimiento general en ambas placas.

Tabla 10. Resumen de tiempos necesarios para mantenimiento preventivo mayor

Tipo de mantenimiento	Tiempo por cantidad de cavidades					
	32	48	72	96	128	144
Placa Fija	2335	3650	5445	7240	9515	10830
Placa Móvil	1060	1640	2360	3080	3950	4510

Fuente: elaboración propia con base a información de PM actual.

6.2 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA

Actualmente hay información sobre un historial de fallas en el molde, por parte del área de Calidad se lleva un control de cavidades anuladas y una descripción de la razón de la anulación, mediante este registro se puede tener una trazabilidad sobre algunas fallas presentadas en el molde, sin embargo cabe aclarar que las fallas nombradas en este registró implican una parada prolongada del molde, ya que están relacionadas únicamente con el canal caliente y las cavidades en servicio, es decir puede considerarse como una falla parcial, debido a esto producción maneja un límite de cavidades anuladas, a partir del 20% de cavidades anuladas en el molde. Respecto a las fallas críticas o funcionales que se presentan en el molde no se tiene un registro en el cual se pueda trazar un histórico de fallas, sin embargo, si hay claridad sobre las posibles fallas razonablemente probables de que sucedan.

Se desarrollará la estrategia AMFE para identificar las causas y efectos de las fallas presentadas en los moldes, determinando así los posibles modos de falla y de este modo evaluar las actividades actuales del plan de mantenimiento, para posteriormente modificarlas o ampliar su efecto sobre el molde. Las fallas pueden ser categorizadas en crónicas y esporádicas según Alberto Mora en su libro “Mantenimiento. Planeación, ejecución y control²⁴” 328 P o según J. Moubray en su libro “Reliability-centered Maintenance²⁵” 48 P, fallas funcionales, de las cuales se desglosa un gran modo en el que se puede categorizar las fallas, durante el desarrollo de este capítulo se tratarán aquellas que se relacionen con el caso trabajado.

De acuerdo J. Moubray en su libro “Reliability-centered Maintenance²⁶” el AMFE contempla cualquier posible suceso que puede causar una falla funcional sobre determinado activo, es decir un evento que genera una parada del equipo un funcionamiento fuera de lo esperado. Para el implementar el AMFE según J. Moubray se debe listar cada posible falla funcional en cada sistema y subsistema, con el objetivo de

²⁴ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Mexico: Alfaomega, 2009. ISBN: 9789586827690

²⁵ MOUBRAY, Jhon. RCM II. Reliability – centered Maintenance. Editorial Elsevier Science & Technology. 1999. p. 38. ISBN: 9780750633581.

²⁶ MOUBRAY, Jhon. Op. Cit., p. 56

que sobre el plan de mantenimiento preventivo se puedan anticipar, prever, detectar y corregir.

El proceso para definir los modos de falla está directamente relacionado con el contexto operacional del equipo, en este caso se tratarán moldes de inyección de preformas PET, descritos en el capítulo 4, partiendo desde la capacidad misma del activo y el manejo dado, los posibles modos de falla se determinarán a partir de la definición de sus categorías y posteriormente los efectos de cada modo, a partir de esto es posible entrar a analizar las actividades de mantenimiento preventivo y los modos de falla determinados, para bien sea erradicar o controlar.

Debido a que en el caso de los moldes las fallas funcionales parciales, que afectan el funcionamiento esperado del activo, pero no generan una parada hasta no superar los límites establecidos por el usuario, son mayores respecto a las fallas totalmente funcionales, por esta razón el AMFE se centrará en las fallas totalmente funcionales para su análisis y presentará una descripción sobre el manejo de las fallas parciales en el molde, cabe aclarar que estas fallas parciales son tratadas en una intervención general del molde, ya que es necesario un trabajo más especializado y que requiere de un tiempo de parada considerable.

Los sistemas del molde, mecánico, refrigeración, eléctrico y neumático, serán tratados dentro del AMFE contemplando las posibles fallas funcionales del activo. Los modos de falla se establecerán inicialmente en cada uno de los sistemas y subsistemas, seguido a esto se describirán cada efecto de falla asociado, por último, se relacionará cada modo de falla con el mantenimiento preventivo y finalmente se planteará un tratamiento o una solución en su defecto. Para mayor claridad, el análisis AMFE se desarrollará mediante un cuadro en el cual se relaciona el sistema de funcionamiento, modo de falla, efecto, causa y manejo de cada modo de falla.

Cuadro 12. Análisis modo falla y efecto, AMFE

Sistema	Modo de Falla	Efecto	Causa	Manejo de modo de falla
Mecánico	Movimiento forzado de barras expulsoras	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desgaste de barras ○ Fatiga en tornillos de sujeción 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento de tiempo en el ciclo de inyección ○ Sin expulsión de preforma ○ Contaminación de grasa por limadura 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza de grasa degradada ✓ Lubricación en todas las graseras ✓ Verificar movimiento libre del sistema ✓ Apriete de tornillos con torque indicado en manual
	Operación forzada de columnas guía	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desgaste de columnas ○ Colisión entre columnas y guías 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento de tiempo en el ciclo de inyección ○ Cierre desbalanceado del molde ○ Contaminación de grasa por limadura 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza de grasa degradada ✓ Lubricación en todas las graseras ✓ Verificación de alineación posterior al montaje
	Leva seguidor descalibrado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desgaste de irregular de seguidor y leva ○ Fatiga de tornillos ○ Aumento de cargas en las demás levas y seguidores ○ Erosión en esferas de rodamiento de leva 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Apertura irregular de columnas porta neckring ○ Expulsión incorrecta de preforma ○ Incremento de tiempo en el ciclo de inyección 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calibración de ajuste entre leva y seguidor en cada cambio y MP ✓ Pruebas de movimiento ✓ Lubricación de rodamiento ✓ Apriete de tornillos con torque indicado en el manual

Cuadro 12. Continuación

Mecánico	Rodamiento deteriorado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desgaste en leva y seguidor ○ Golpe de seguidor contra leva ○ Rotura de seguidor ○ Fatiga en tornillo de fijación del seguidor 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Apertura irregular de columnas porta neckring ○ Expulsión incorrecta de preforma 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desmontaje de seguidor y verificar que el movimiento no requiera mayor esfuerzo ✓ Calibración de ajuste entre leva y seguidor en cada cambio y MP ✓ Lubricación de rodamiento ✓ Apriete de tornillo con torque indicado en el manual
	Rotura de barras expulsoras	<ul style="list-style-type: none"> ○ Inhabilitación total de sistema de expulsión 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar calibración de ajuste entre leva y seguidor en cada cambio y mp ✓ Calibración de expulsión con molde en máquina en cada cambio de molde (velocidades, recorrido y presiones)
	Rotura de leva	<ul style="list-style-type: none"> ○ Inhabilitación total de sistema de expulsión 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar calibración de ajuste entre leva y seguidor en cada cambio y mp ✓ Calibración de expulsión con molde en máquina en cada cambio de molde (velocidades, recorrido y presiones)

Cuadro 12. Continuación

	Cierre incorrecto de columnas Neckring	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sobrecarga en partes de sistema de expulsión durante el cierre del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar calibración de ajuste entre leva y seguidor en cada cambio y mp ✓ Verificar posiciones iniciales y finales de placa expulsora en mp
Eléctrico	Resistencia de manifold principal no caliente	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sobre inyección de material ○ Material solidificado dentro de manifold ○ Resistencia abierta 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medir resistencias en cada intervención de mp y registrar datos ✓ Limpieza de conectores en cada mp
	Molde totalmente aislado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ningún sistema eléctrico funciona ○ Conexión incorrecta 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción del molde 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza de conectores en cada mp ✓ Ajustar cierres de conectores
	Daño de termocuplas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sobre temperatura en resistencias ○ Sobre inyección de material ○ Lectura de temperatura irreal 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Inyección contaminada ○ Inyección con defectos ○ Obstrucción durante la inyección por material solidificado 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza de conectores en cada mp mayor ✓ Cambiar termocupla con material carbonizado en mp mayor ✓ Medir termocuplas en cada intervención de mp y registrar datos

Cuadro 12. Continuación

Neumático	No hay apertura de obturadores	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sobre inyección de material en obturadores 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar conexiones neumáticas en cada cambio de molde ✓ Inspeccionar visualmente válvula en cada cambio de molde
	Fuga de aire en conexión principal	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aguja forzada por no trabajar en una posición totalmente abierta ○ Sistema de venteos inhabilitado 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Inyección incompleta ○ Transferencia de preforma incompleta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ajustar y verificar estado de acoples en cada cambio de molde ✓ Inspeccionar y ajustar racores en cada mp
Refrigeración	Obstrucción de ducto de refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alta temperatura en core ○ Alta temperatura en cavidad ○ Alta temperatura de columna y neckrings 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alta temperatura en preformas ○ Acumulación de material en Neckrings ○ Preforma aglomerada en neckrings por falta de enfriamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeccionar mangueras de alimentación en cada cambio de molde ✓ Verificar la ausencia de algún cuerpo extraño en las entradas de agua ✓ Inspeccionar estado de racores en distribuidores en cada mp mayor

Cuadro 12. Continuación

	Fuga de agua en conexión principal del molde	<ul style="list-style-type: none"> ○ Daño de acople OPW ○ Cierre erróneo de acople ○ Fuga en manguera de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Paro total de producción ○ Humedad en preformas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambiar cierres de acoples en mal estado y evitar arreglos temporales ✓ Hacer pruebas de fugas luego de cada cambio de molde
	Fuga de agua en distribuidores	<ul style="list-style-type: none"> ○ Daño en junta tórica ○ Distribuidor suelto ○ Error de montaje de distribuidor ○ Deterioro de teflón en racor ○ Racor desajustado 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Humedad en la preforma ○ Paro total de producción 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apriete de tornillos con torque indicado en el manual ✓ Calibración de neckrings en el mp ✓ Apriete de racores con torque indicado en el manual ✓ Ajuste adecuado de parámetros de operación en cada cambio de molde ✓ Usar herramientas de bronce para retirar material acumulado en mp ✓ Cautela de manipulación del molde durante el cambio de molde y mp
	Fuga de agua en cavidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fisura en cavidad ○ Cavidad suelta 		
	Fuga de agua en Neckrings	<ul style="list-style-type: none"> ○ Fisura en neckring ○ Daño de junta tórica 		
	Fuga de agua en columna porta Neckring	<ul style="list-style-type: none"> ○ Daño de junta tórica ○ Fisura de columna ○ Neckring suelto 		
	Fuga de agua en cores	<ul style="list-style-type: none"> ○ Daño de junta tórica ○ Fisura en core ○ Desajuste de tornillos de sujeción 		

Fuente: elaboración propia.

En el contexto operacional del molde, las fallas parciales se presentan en su gran mayoría en la placa caliente, es decir el Hot Runner, debido a la complejidad de la operación para corregir una falla parcial, como por ejemplo, no hay inyección de material en la cavidad, este problema se puede presentar por varias razones, obstrucción de material en la línea de aire, presencia de cuerpos ferrosos en la boquilla del obturador, aguja rota, daño de sellos en el pistón, entre otras y su solución puede resumirse en el cambio de una pieza, sin embargo para llegar a ese punto es necesario ejecutar un gran listado de actividades, las cuales no justifican la parada del molde contra el beneficio de recuperar una cavidad anulada

Del mismo modo se pueden presentar eventos de este tipo en la placa fría o móvil del molde, por ejemplo, un golpe en un neckring, lo que puede causar la deformación de la rosca de la preforma inyectada, aunque es una falla a la cual se puede dar tratamiento cambiando dicha pieza solo parando la máquina, es posible que se llegue al punto de agotar el stock de esa parte por eventos simultáneos y sea necesario anular la cavidad, asumiendo esta falla como parcial. Debido a lo anterior, este tipo de fallas no se contemplan en el cuadro de AMFE, ya que el plan de acción es directamente intervenir el molde para cambiar piezas.

Los eventos de fallas totalmente funcionales descritos en el cuadro 12, consideran fallas racionalmente probables y el manejo actual ante muchos de estos eventos se soporta con un stock de repuestos almacenados. Según sean el evento presentado y la pieza dañada se cambiará, sin embargo es posible llegar a tener un stock cero en algún repuesto, la solución para este tipo de evento es el intercambio de piezas entre otro molde no operativo con piezas comunes y en el peor de los casos detener la producción con el molde averiado y proceder con el montaje de otra referencia necesaria para evitar tener detenida la máquina, hasta la llegada del repuesto a la planta, cabe aclarar que su fabricación no es nacional y requiere de importación, sin embargo la disponibilidad de entrega puede ser inmediata o tomar varias semanas según sea el stock del proveedor.

A continuación, se listarán fallas funcionales razonablemente más posibles afectan directamente al funcionamiento general del molde, es decir un evento que en las condiciones menos esperadas no podrá ser solucionada o manejada, ver cuadro 13.

Cuadro 13. Fallas funcionales

	Fallas Funcionales	Pérdida Funcional
Sistema Mecánico (SM)	Movimiento forzado de barras expulsoras	Sistema de expulsión deshabilitado
	Operación forzada de columnas guía	Cierre incorrecto de molde
	Leva seguidor descalibrado	Expulsión incorrecta de preforma
	Rodamiento deteriorado	
	Rotura de barras expulsoras	Sistema de expulsión deshabilitado
	Rotura de leva	
Cierre incorrecto de columnas Neckring	Inyección de preforma defectuosa	
Sistema Eléctrico (SE)	Resistencia de manifold principal no caliente	Imposibilidad de inyección
	Molde totalmente aislado	Imposibilidad de inyección
	Daño de termocuplas	Sin control de temperatura en el material
Sistema Neumático (SN)	No hay apertura de obturadores	Imposibilidad de inyección
	Fuga de aire en conexión principal	Sin suministro de aire para accionar obturadores
Sistema de Refrigeración (SR)	Obstrucción de ducto de refrigeración	Temperatura fuera de rango para evitar defectos en preforma
	Fuga de agua en conexión principal del molde	Alta temperatura en el molde y enfriamiento nulo en preformas
	Fuga de agua en distribuidores	Alta temperatura en el molde, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
	Fuga de agua en cavidad	Alta temperatura en cavidad, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
	Fuga de agua en Neckrings	Alta temperatura en neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
	Fuga de agua en columna porta Neckring	Alta temperatura en columna porta neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
	Fuga de agua en cores	Alta temperatura en cores, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los cuadros 12 y 13, se relacionan las posibles fallas funcionales en los moldes Husky para la inyección de preformas, sin embargo, su codificación es necesaria para controlar de una mejor manera el registro de las fallas, en el cuadro 14 se recopilan las fallas mencionadas anteriormente y se codifican.

Cuadro 14. Codificación de fallas funcionales

Sistema	Falla	Código
Mecánico	Movimiento forzado de barras expulsoras	SM-001
	Operación forzada de columnas guía	SM-002
	Leva seguidor descalibrado	SM-003
	Rodamiento deteriorado	SM-004
	Rotura de barras expulsoras	SM-005
	Rotura de leva	SM-006
	Cierre incorrecto de columnas Neckring	SM-007
Eléctrico	Resistencia de manifold principal no caliente	SE-001
	Molde totalmente aislado	SE-002
	Daño de termocuplas	SE-003
Neumático	No hay apertura de obturadores	SN-001
	Fuga de aire en conexión principal	SN-002
Refrigeración	Obstrucción de ducto de refrigeración	SR-001
	Fuga de agua en conexión principal del molde	SR-002
	Fuga de agua en distribuidores	SR-003
	Fuga de agua en cavidad	SR-004
	Fuga de agua en Neckrings	SR-005
	Fuga de agua en columna porta Neckring	SR-006
	Fuga de agua en cores	SR-007

Fuente: elaboración propia

En resumen, mediante el AMEF se pretende manejar y controlar las posibles fallas completamente funcionales en el molde, apoyándose en mejorar las actividades de mantenimiento preventivo, potencializando el control del mantenimiento y el registro de información.

6.3 RACIONALIZACIÓN Y REVISIÓN DE PROCEDIMIENTOS

Las posibles fallas funcionales del molde pueden ser evitadas o avisadas mediante las tareas y rutinas incluidas en el mantenimiento preventivo, de acuerdo a la clasificación de fallas desarrollada en el AMFE, el control y registro de actual carece de información

estratégica, ya que el manejo de fallas se resume en una breve descripción general del trabajo a realizar, esto acontece que las fallas se contemplan de manera diferente en cada caso, según sea la interpretación del técnico u operador que la reporte. De acuerdo a lo anterior se revisarán las actividades de mantenimiento respecto a las fallas funcionales, en el cuadro 15, se relacionan por cada falla funcional las actividades de mantenimientos preventivos básicos y mayores. La estructura del cuadro consiste de tres columnas, en la primera columna se nombran las fallas funcionales, en la segunda y tercera columna se relacionan las actividades de mantenimiento que tratan cada falla.

Cuadro 15. Relación de fallas con actividades de mantenimiento preventivo

Código de falla	Actividades de MP básicas	Actividades de MP mayor
SM-001	MH - Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor	Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor
SM-002	Limpieza y lubricación de guías para columnas del molde.	Limpieza y lubricación de guías para columnas del molde.
SM-003	No hay actividad relacionada	No hay actividad relacionada
SM-004	Lubricación de leva y seguidor	Lubricación de leva y seguidor
SM-005	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SM-006	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SM-007	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SM-008	Falla atacada directamente durante la operación del molde	

Cuadro 15. Continuación

SM-009	No hay actividad relacionada	No hay actividad relacionada
SE-001	FH - Medición resistencias eléctricas	Medición eléctrica de resistencias en el molde
SE-002	FH - Medición resistencias eléctricas	Medición eléctrica de resistencias en el molde
SE-003	No hay actividad relacionada	No hay actividad relacionada
SE-004	FH - Medición resistencias eléctricas FH - Inspección visual de estado general de conectores eléctricos y racores	Medición eléctrica de resistencias en el molde Inspección visual de estado general de conectores eléctricos y racores
SN-001	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SN-002	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SR-001	No hay actividad relacionada	Limpieza de cores y anillo de cierre
SR-002	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SR-003	MH - Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración	Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración.
SR-004	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SR-005	Falla atacada directamente durante la operación del molde	

Cuadro 15. Continuación

SR-006	Falla atacada directamente durante la operación del molde	
SR-007	Falla atacada directamente durante la operación del molde	Limpieza de cores y anillo de cierre

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a lo anterior es necesario adicionar actividades para tratar y controlar las posibles fallas SM003 en el MP básico y mayor, también para las fallas SE-003, SR-001 en el MP básico. En lo que respecta a “Falla atacada directamente durante la operación del molde”, son eventos que su aparición es repentina y no presentan indicios antes de presentarse, adicionalmente para su control se requiere que el molde esté en operación. Respecto a las fallas que no tienen actividad relacionada se incluyen las siguientes tareas:

- **SM-003:** calibración de leva seguidor con galga de 0.1 mm
- **SE-003:** medición de continuidad en termocuplas
- **SR-001:** limpieza de ductos de refrigeración

Y para las nuevas fallas determinadas luego de codificar las fallas se incluyen las siguientes tareas:

- **SE-004:** esta falla consiste en un corto circuito del molde, actualmente se controla mediante las tareas de revisión de las resistencias e inspección de conectores eléctricos.
- **SM-008:** esta falla consiste en la rotura del tornillo que conecta con el pistón hidráulico que acciona el sistema expulsor del molde, para evitar que se presente esta falla es necesario inspeccionar en cada MP el estado de los tornillos.
- **SM-009:** esta falla consiste en la desalineación de neckrings, la cual debe ser tratada liberando ligeramente los moldes y usar herramienta de alineación en cada mantenimiento mayor y en operación del molde según se presente el defecto en la preforma inyectada.

6.4 ANÁLISIS FUNCIONAL BASADO EN CONFIABILIDAD

Por cada evento presentado de fallas funcionales el molde pierde la capacidad de cumplir su tarea, en este caso se están tratando las fallas completamente funcionales, es decir el molde queda totalmente inhabilitado hasta una intervención, es decir las fallas críticas, debido a esto a continuación se relaciona el código de falla con la función que pierde el molde anterior a su parada.

Cuadro 16. Fallas funcionales y pérdida de funciones por sistema

Código de falla	Pérdida de función
SM-001	Sistema de expulsión deshabilitado
SM-002	Cierre incorrecto de molde
SM-003	Expulsión incorrecta de preforma
SM-004	
SM-005	Sistema de expulsión deshabilitado
SM-006	
SM-007	Inyección de preforma defectuosa
SM-008	Sistema de expulsión deshabilitado
SM-009	Inyección de preforma defectuosa
SE-001	Imposibilidad de inyección
SE-002	Imposibilidad de inyección
SE-003	Sin control de temperatura en el material
SE-004	Sistema eléctrico deshabilitado
SN-001	Imposibilidad de inyección
SN-002	Sin suministro de aire para accionar obturadores
SR-001	Temperatura fuera de rango para evitar defectos en preforma
SR-002	Alta temperatura en el molde y enfriamiento nulo en preformas
SR-003	Alta temperatura en el molde, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
SR-004	Alta temperatura en cavidad, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
SR-005	Alta temperatura en neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
SR-006	Alta temperatura en columna porta neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas
SR-007	Alta temperatura en cores, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas

Fuente: elaboración propia

Debido a que en el análisis AMFE se tratan las fallas críticas, de las cuales depende totalmente el funcionamiento del molde, las 22 posibles fallas presentadas son igualmente críticas. Sin embargo, dentro de los sistemas de funcionamiento relacionados con las fallas, con apoyo del grupo de trabajo se establece la siguiente criticidad por sistemas contemplando el recurso y la complejidad necesaria para tratar y controlar las posibles fallas.

En el cuadro 17, en la primera columna se nombra el sistema, en la siguiente el nivel de criticidad contemplado entre los valores 1 a 5, siendo 5 el valor más crítico y 1 el valor

menos crítico; en la tercera columna se da una descripción general sobre la complejidad para tratar los posibles eventos de falla, categorizada en tres niveles baja, media y alta.

Cuadro 17. Análisis de criticidad por sistema

Sistema	Criticidad	Complejidad de intervención
Mecánico (SM)	5	Baja. Las fallas se encuentran relacionadas directamente con la rotura de una pieza, lo que implica un cambio, sin embargo no requiere un trabajo complejo.
Eléctrico (SE)	4,5	Alta. Las partes que componen en su mayoría están instaladas internamente, lo que implica un desarme del mole y una para prolongada para corregir las fallas.
Neumático (SN)	3	Baja. Debido a que las fallas son externas al molde, estas requieren de un recambio o ajuste de conexiones, lo que hace de cierto modo sencillo el camino de solucionar la falla.
Refrigeración (SR)	4	Media. Debido a que todo el funcionamiento de este sistema depende del estado de las piezas en cuanto a hermeticidad e internamente la limpieza, se hace medianamente complejo controlar y tratar el estado interno del molde de manera efectiva.

Fuente: elaboración propia

En ese orden de ideas, el sistema mecánico debe controlarse con una mayor cautela y manejar un stock de repuestos para evitar tiempos perdidos considerables, por parte del sistema eléctrico el registro y trazabilidad del comportamiento de partes es la clave para proyectar intervenciones, respecto a la refrigeración también es importante manejar un stock que permita eliminar las partes cuando requieran cambio, sin embargo es necesario priorizar la limpieza interna del molde para evitar acumulación de mugre; por último el sistema neumático va de la mano de un buen control de stock de repuestos para tratar los eventos de falla presentados sin mayor efecto.

6.5 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

El funcionamiento normal del molde se puede ver afectado por fallas evidentes y fallas ocultas, estas deben ser detectadas para dar un tratamiento adecuado y controlar aquellas que no se pueden determinar en análisis funcional, en este apartado se determinarán cuales fallas son evidentes y cuales ocultas, de este modo el plan de mantenimiento puede complementar sus acciones.

Para efectos de contextualización, las fallas evidentes son aquellas que durante la operación del molde su efecto es inmediatamente notorio y la operación se ve afectada de inmediato; por otro lado, las fallas ocultas están directamente relacionadas con los sistemas de seguridad del activo, para mitigar las consecuencias de las fallas.

Cuadro 18. Fallas operacionales y ocultas

Código de falla	Pérdida de función	Consecuencia
SM-001	Sistema de expulsión deshabilitado	Operacional
SM-002	Cierre incorrecto de molde	Operacional
SM-003	Expulsión incorrecta de preforma	Operacional
SM-004		
SM-005	Sistema de expulsión deshabilitado	Operacional
SM-006		
SM-007	Inyección de preforma defectuosa	Operacional
SM-008	Sistema de expulsión deshabilitado	Operacional
SM-009	Inyección de preforma defectuosa	Operacional
SE-001	Imposibilidad de inyección	Operacional
SE-002	Imposibilidad de inyección	Operacional
SE-003	Sin control de temperatura en el material	Operacional
SE-004	Sistema eléctrico deshabilitado	Operacional
SN-001	Imposibilidad de inyección	Operacional

Cuadro 18. Continuación

SN-002	Sin suministro de aire para accionar obturadores	Operacional
SR-001	Temperatura fuera de rango para evitar defectos en preforma	Operacional
SR-002	Alta temperatura en el molde y enfriamiento nulo en preformas	Operacional
SR-003	Alta temperatura en el molde, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Operacional
SR-004	Alta temperatura en cavidad, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Operacional
SR-005	Alta temperatura en neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Operacional
SR-006	Alta temperatura en columna porta neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Operacional
SR-007	Alta temperatura en cores, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Operacional

Fuente: elaboración propia

De acuerdo al anterior cuadro es posible evidenciar que en el análisis AMFE falta contemplar los sistemas de seguridad incluidos en el molde, en este caso son sensores de barrera de luz, para controlar que no quede nada de material en el core, antes de una inyección. Por la anterior razón se incluirá la siguiente falla en el sistema eléctrico.

✓ **SE-005:** falla de sensor de barrera en coreplate.

Esta nueva falla posee una consecuencia oculta, ya que está relacionada con un dispositivo de seguridad inherente para que el molde pueda operar correctamente y no vayan a presentarse consecuencias sobre el daño de piezas, lo que implica tiempo y un costo adicional por el cambio de la pieza. Para el tratamiento de esta nueva falla es necesario incluir actividades de inspección y medición de continuidad en el circuito del sensor para validar su correcto funcionamiento.

6.6 DETERMINACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Según el listado del cuadro 16 se determinarán las políticas de manejo por cada falla y controlar de manera efectiva la ejecución del mantenimiento del mantenimiento mediante una estructura que permita al técnico manejar las tareas de MP dentro de un margen para garantizar la funcionalidad del molde, como complemento del cuadro 16 se elabora el cuadro 19, mediante el cual se relaciona por cada falla funcional que política se aplicará.

Cuadro 19. Políticas de MP por cada modo de falla

Código de falla	Pérdida de función	Política de MP
SM-001	Sistema de expulsión deshabilitado	Inspección Lubricación
SM-002	Cierre incorrecto de molde	Inspección Prueba manual
SM-003	Expulsión incorrecta de preforma	Inspección Lubricación
SM-004		Calibración
SM-005	Sistema de expulsión deshabilitado	Calibración
SM-006		Parametrización de movimiento
SM-007	Inyección de preforma defectuosa	Inspección Limpieza
SM-008	Sistema de expulsión deshabilitado	Inspección Ajuste
SM-009	Inyección de preforma defectuosa	Calibración Ajuste
SE-001	Imposibilidad de inyección	Medición eléctrica
SE-002	Imposibilidad de inyección	Medición Inspección
SE-003	Sin control de temperatura en el material	Medición eléctrica
SE-004	Sistema eléctrico deshabilitado	Medición eléctrica Inspección
SE-005	Sistema de seguridad deshabilitado	Medición eléctrica Inspección
SN-001	Imposibilidad de inyección	Inspección Cambio de válvula
SN-002	Sin suministro de aire para accionar obturadores	Inspección Cambio de manguera

Cuadro 19. Continuación

SR-001	Temperatura fuera de rango para evitar defectos en preforma	Medición de temperatura Inspección Limpieza
SR-002	Alta temperatura en el molde y enfriamiento nulo en preformas	Inspección Ajuste
SR-003	Alta temperatura en el molde, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Inspección Ajuste Cambio de juntas
SR-004	Alta temperatura en cavidad, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Inspección Ajuste
SR-005	Alta temperatura en neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Inspección Ajuste
SR-006	Alta temperatura en columna porta neckring, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Inspección Ajuste
SR-007	Alta temperatura en cores, enfriamiento insuficiente y humedad en preformas	Inspección Ajuste

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente se agregarán formatos y documentos para el manejo de información acerca del molde, los cuales deben ser diligenciados correctamente por parte del equipo de trabajo encargado de hacer cambios de molde y mantenimiento preventivo. En el siguiente apartado se ilustra cada formato que se adicionará.

6.7 AGRUPACIÓN Y REVISIÓN DE LOS PROCESOS FUNCIONALES

De acuerdo al diagnóstico y el análisis de modos de fallas, se evidencia la necesidad de incluir los siguientes formatos y documentos para mejorar el manejo del mantenimiento preventivo en los moldes, ver anexos del 1 al 5, respectivamente.

- Formato de tareas básicas y rutinarias
- Formato para mantenimiento general
- Formato de control de ciclos
- Formato de control de cavidades anuladas
- Formato de hoja de vida de moldes
- Inventario de moldes

La estructura del inventario de moldes definida a partir de las variantes posibles de instalación de placas en el molde para producir preformas de diferentes referencias, ver cuadro 20. Por temas de privacidad el inventario de moldes no se incluirá dentro del listado de anexos.

Cuadro 20. Estructura de inventario de moldes

Número de Proyecto	Cavidades	Peso - Referencia	Máquina	Generación	Código Interno	Partes
300351	32	108 gr	Husky 1 - 2	GPET	A	Core Plate
				GPET		Cores
				GPET		Cavity Plate
				GPET	A	Neck Ring Plate
				GPET	A	Hot Runner
				GPET	A	Robot

Fuente: elaboración propia.

En la primera columna se encuentra información sobre el número de proyecto, este número es la identificación comercial del molde, mediante la cual es posible solicitar repuestos, la segunda columna hace referencia a la cantidad de cavidades del molde, la tercer columna relaciona la información de la referencia que produce el molde, la cuarta contiene información sobre las máquinas en las que se puede instalar, la quinta es la generación del molde o familia de moldes, la sexta contiene un código interno, el cual da información sobre la compatibilidad de montaje entre un molde y otro, a través de esta columna es posible también saber que parte del molde existe y que referencia se produce con dicha parte; por último la columna titulada “partes” hace referencia a las partes del molde que se intercambian durante la producción.

Por otro lado, se evaluó el recurso humano para la ejecución del mantenimiento preventivo, actualmente hay dos técnicos encargados de mantener los moldes en óptimas condiciones para la producción, el desarrollo del mantenimiento básico y rutinario se ejecuta entre los dos sin problema alguno. En cuanto al mantenimiento mayor, es necesario incluir más personal para reducir el tiempo de intervención, dada la posibilidad de trabajar paralelamente en actividades como limpieza, desarme de partes, ensamble, cambio de partes, entre otras, el mantenimiento mayor se acoplará para trabajar con dos colaboradores más pertenecientes a la compañía.

Para incluir dos personas más en el desarrollo del mantenimiento es necesario que las tareas sean claras y contar con la supervisión del técnico líder todo el tiempo, debido a esto en el cuadro 21, se presenta el listado de actividades de mantenimiento mayor y el orden de ejecución en el que se debe desarrollar para reducir el tiempo de ejecución, contemplando que actualmente si el mantenimiento se ejecuta por una sola persona para un molde de 32 cavidades son necesarios 3365 minutos, para uno de 48 cavidades son

necesarios 5290 minutos, para uno de 72 cavidades son necesarios 7805 minutos, para uno de 96 cavidades son necesarios 10320 minutos, para uno de 128 cavidades son necesarios 13465 minutos y para uno de 144 cavidades son necesarios 15340 minutos.

Cuadro 21. Optimización de ejecución de tareas en MP mayor

	Moldes GPET, HyPET y HPP	Tareas	Tiempos		
			Sin PMO	Con PMO	Diferencia
No. Cavidades	32	42	3105	1649	1456
	48	42	4924	2604	2320
	72	42	7235	3796	3439
	96	42	9546	4990	4556
	128	42	12359	6423	5936
	144	42	14158	7370	6788

Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo las tareas colectivas para los MP se estructuran bajo la política de ejecución colectiva y secuencial, esto implica un trabajo en cadena entre los colaboradores que participan en el mantenimiento preventivo. Un proceso similar al que se trata en el cuadro 21 se realizará con el MP básico, en el cuadro 22 se organizan de manera colectiva la ejecución de tareas para reducir los tiempos actuales de intervención compilados en la tabla 8.

Cuadro 21. Optimización de ejecución de tareas en MP básico

Tarea	Descripción	Ejecución	Cavidades por molde					
			32	48	72	96	128	144
01	FH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa fija	Colectiva						
02	FH - Limpieza de material degradado en cavidades con herramientas de bronce		30	50	70	90	120	140
03	FH - Inspección visual de estado general de conectores eléctricos y racores							
12	MH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa							
04	FH - Limpieza de polvo producido por el proceso en todas las superficies del molde con aire	Individual	10	20	30	40	50	60

Cuadro 21. Continuación

06	FH - Aplicar aceite OKS 370 para ablandar los excesos de grasa	Colectiva	33	65	100	135	175	200
05	FH - Medición resistencias eléctricas, sensores y termocuplas							
07	FH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre							
08	FH - Limpieza de cavidades con hielo seco a presión	Colectiva	68	113	165	215	275	315
11	MH - Limpieza de óxido acumulado en parte trasera de placa móvil.							
13	MH - Limpieza con zabra de cavidad y cono de cierre							
09	FH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde	Colectiva	33	50	68	85	103	120
10	FH - Limpieza y lubricación de guías para columnas del molde							
14	MH - Limpieza de excesos de grasa y de aceite OKS 370							
15	MH - Inspección visual de mangueras y conexiones de refrigeración.							
16	MH - Inspección de estado de sensores por columnas de preformas.							
17	MH - Limpieza con hielo seco a presión con placa expulsora abierta.	Individual	120	180	240	300	360	420
18	MH - Secar condensación se hielo seco en todo el molde.	Colectiva	104	156	229	304	399	454
19	MH - Alinear cierre de neckrings							
20	MH - Calibración de leva seguidor con galga de 0,1 mm							
21	MH - Lubricación de leva y seguidor.							
22	MH - Lubricación en barras horizontales de sistema expulsor.							
TOTAL			396	634	901	1169	1481	1709

Fuente: elaboración propia

Por último, se evaluó el contexto operacional de la ejecución de mantenimiento preventivo y se determinaron las herramientas especiales y las comunes para desarrollar el mantenimiento de una manera más efectiva, ver cuadro 23.

Cuadro 22. Herramientas necesarias ejecutar MP

Herramienta	Medidas
Llaves Bristol [mm]	4 - 6 - 8 - 10 - 14 - 16 - 19
Puntas Bristol [mm]	4 - 6 - 8 - 10 - 14 - 16 - 19
Llaves Fijas	8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-32
Ratchet	Cuadrante 3/8
Extensor	Cuadrante 3/8 Longitud 4 y 6 pulgadas
Copas	Cuadrante 3/8 8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-32
Herramientas motortool	Copa grata 3" con hilos de bronce Grata entorchada de 1" con hilos de bronce
Pistola neumática	Cuadrante 3/8
Bandejas rectangulares plásticas 20x40 cm para almacenar repuestos (15)	
Motortool neumático (1)	
Kit especial para moldes Husky (2)	

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a lo anterior es posible lograr una optimización de tiempo y actividades en el plan de mantenimiento preventivo, desarrollando una organización adecuada de las tareas y del mismo modo ordenar la ejecución de actividades sin tener retrasos por actividades simultáneas cruzadas.

6.8 INDICADORES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Mediante la toma de datos del comportamiento de los moldes durante la operación y estadísticas de tiempo, sobre la ejecución del mantenimiento preventivo, se plantean a

continuación los siguientes indicadores con el fin de cuantificar el funcionamiento del plan y la optimización ejecutada en el plan de mantenimiento.

6.8.1 Indicador de cavidades anuladas. Mediante el registro de las posiciones anuladas de cavidades en el molde, se controla la cantidad de cavidades y las razones de anulación, de este modo es posible buscar solución a cada cavidad anulada en los mantenimientos básicos o en los mantenimientos mayores.

Su control se llevará a cabo mediante el formato desarrollado en el anexo D, ver figura 34; cuantitativamente el indicador se presenta contemplando las siguientes variables de medición:

Figura 34. Formato para control de cavidades anuladas

Número de Proyecto		Ref. [gr]	Total Cavidades	Hot Runner	Posición cavidad	Fecha dd/mm/aa	Cavity Plate	Posición cavidad	Fecha dd/mm/aa	Neck Ring Plate	Posición cavidad	Fecha dd/mm/aa	Core Plate	Posición cavidad	Fecha dd/mm/aa	Robot	Posición cavidad	Fecha dd/mm/aa	

Fuente: elaboración propia

- Número de cavidades del molde
- Cantidad de cavidades del molde

A partir de estos dos valores es posible obtener un porcentaje de eficiencia del molde:

Ecuación 1. % Eficiencia molde

$$\%Eficiencia\ molde = \frac{Cavidades\ anuladas}{Cavidades\ Totales\ del\ molde} \times 100\%$$

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente al valor de eficiencia, se debe anotar posteriormente una línea del formato en la que especifique la cantidad de cavidades anuladas por cada una de las placas.

6.8.2 Indicador de temporal mantenimiento preventivo. El control de tiempo en este plan de mantenimiento preventivo y desde el desarrollo de este proyecto es fundamental para controlar lo efectivo que es el plan de mantenimiento, a partir de esto se establece un indicador basado en el tiempo de trabajo.

Ecuación 2. % tiempo MP

$$\% \text{ tiempo MP} = \frac{\text{Horas programadas}}{\text{Horas trabajadas}} \times 100\%$$

Fuente: elaboración propia

Las variables contempladas son recolectadas por el grupo de trabajo técnico, el cual debe ser diligenciado en un volante o requisición manejada por la empresa para el control del trabajo y tiempo de ejecución.

7. EVALUACIÓN FINANCIERA E IMPACTO AMBIENTAL

Los costos para el mantenimiento preventivo de moldes Husky en Iberplast S.A.S. actualmente están distribuidos en tres pilares principales, insumos, repuestos y mano de obra (servicio técnico externo o de colaboradores). Para el cálculo de costos promedio se recopilará información de los mantenimientos ejecutados durante el año 2019, dicho cálculo se basará en el promedio de insumos consumidos, en lo que respecta a los repuestos, a partir de un listado de los repuestos principales consumidos durante el mantenimiento, es decir aquellos que requieren un recambio por la intervención del molde; respecto a la mano de obra se plantearán los dos escenarios, el primer escenario contempla el mantenimiento del molde con ayuda de uno o dos técnicos externos de la casa matriz Husky; el segundo escenario se evaluará teniendo en cuenta la participación con solo colaboradores de la empresa.

7.1 EVALUACIÓN FINANCIERA

La ejecución de los mantenimientos preventivos en los moldes maneja tres tipos de costos, mano de obra, insumos y repuestos. Su intervención se fundamenta en el aumento de confiabilidad y capacidad para producir preformas, a medida que aumenta la cantidad de ciclos es posible que algunas partes de los sistemas tiendan a fallar y su inspección o cambio se hace necesaria, los técnicos encargados del cuidado y mantenimiento del molde son empleados directos de la compañía, sin embargo, en ocasiones también se solicita asistencia técnica para intervenir un molde, buscando aumentar la confiabilidad y disminución de tiempo, cabe aclarar que la ventaja de tener el apoyo de un técnico externo se ve reflejada en la experiencia adquirida por el equipo de trabajo, en lo que respecta a tiempos y costos no hay un mayor porcentaje de favorabilidad.

Para evaluar financieramente el mantenimiento preventivo de los moldes, se recopilará información sobre los costos indirectos, costos directos (insumos y repuestos), se comparará financieramente contra un mantenimiento ejecutado por un técnico externo y se concluirá que efecto financiero tiene hacer la optimización del mantenimiento preventivo actual. No sobra decir que, actualmente en la compañía se hace uso de la plataforma SAP, mediante este software es posible controlar los insumos y repuestos utilizados para cualquier tipo de intervención en un molde.

La plataforma SAP en Iberplast se maneja a través de órdenes de trabajo, para direccionar los gastos a un centro de costo, en primera instancia el técnico abre una requisición, en este documento se relacionan tiempos iniciales de intervención y finales, fecha de trabajo, el molde sobre el cual se está trabajando, el tipo de mantenimiento en ejecución, breve descripción del trabajo realizado y el número de orden SAP, en la cual se cargarán todos los insumos y repuestos necesarios para el mantenimiento.

7.1.1 Costos indirectos del mantenimiento preventivo. Los costos indirectos relacionados en cualquier trabajo, son aquellos que no tienen posibilidad de asignación a cualquier actividad, en el caso del aire comprimido, energía eléctrica, colaboradores que interactúan para la gestión de repuestos e insumos, repuestos deteriorados fuera de consideración y técnico externo, para los casos que se solicita, en la tabla 11, se relacionan los tipos de costos y para los que es posible se da un costo estimado.

Tabla 11. Estimación del valor de costos indirectos

Tipo de costo indirecto	Valor estimado
Energía Eléctrica	53.000 COP/DÍA
Aire comprimido	31.000 COP/DÍA
Deterioro de repuestos	1'350.000 COP
Servicio de mano de obra	4'000.000 COP/DÍA
Deterioro de herramientas especiales	750.000 COP/DÍA

Fuente: elaboración propia

Para el manejo de estos costos estimados se recopila información sobre consumos en la planta, la estimación para el gasto en energía eléctrica y aire comprimido se obtiene a partir del consumo diario de los equipos propiamente, en cuanto a las herramientas y repuestos, a partir del análisis modos de falla calculado en el anterior capítulo, se recopila cuáles son los repuestos y herramientas involucradas al hacer mantenimiento preventivo, se determina un costo promedio. Por último, a partir del cuadro 10, capítulo 5; se calcula un promedio del gasto diario de un técnico externo.

7.1.2 Costos directos repuestos e insumos. Los costos directos son aquellos que se pueden identificar plenamente antes de ejecutar el mantenimiento, es decir repuestos, insumos y mano de obra, para la ejecución del mantenimiento preventivo básico y mayor en los moldes Husky, se tienen en común los siguientes insumos, ver tabla 12, dentro del análisis de costos directos se contemplará el mantenimiento mayor, ya que es el punto en el cual incurren una mayor cantidad de gastos, respecto al mantenimiento preventivo básico los insumos se distribuyen entre dos o más moldes, debido a la presentación en la se distribuye a la compañía, por lo tanto en la tabla 13, se presentan los insumos, su presentación, costo y una tasa aproximada de consumo.

Tabla 12. Insumos usados para el mantenimiento preventivo de moldes Husky

INSUMO	COSTO (COP)	UM
Paños de limpieza Wypall	\$ 17.000	ROLLO
Lijas	\$ 15.000	PZAS
Hielo seco	\$ 185.000	KG
Grasa FLG – 2	\$ 180.000	PZA
Grasa PARALIQ 343	\$ 250.000	KG
Brocas	\$ 45.000	PZA
Aceite OKS 370	\$ 210.000	L
Aerosol WD-40	\$ 17.000	PZA
TOTAL	\$ 919.000	

Fuente: elaboración propia

Igualmente, que en la tabla 12, se puede presentar el caso de que los insumos no se usen en su totalidad para el mantenimiento de un molde, sin embargo, no se presentará desperdicio de estos restantes, ya que el técnico encargado los administra para un próximo mantenimiento.

En relación a la optimización del mantenimiento y el gasto relacionado de insumos, es posible determinar que las compras de insumos en presentaciones mayores reducen el costo de los mismos, pero inicialmente es necesario hacer una inversión en envases para suministrar de manera apropiada cada uno, en la tabla 13, se relacionan los envases y un costo aproximando.

Tabla 13. Envases para insumos

TIPO DE ENVASE	COSTO (COP)
Bandeja	\$ 15.000
Balde	\$ 20.000
Envase de 500 ml	\$ 1.500
Envase de 1 L con boquilla	\$ 5.000
Atomizador	\$ 8.500
TOTAL	\$ 50.000

Fuente: elaboración propia

Respecto a los repuestos, cabe aclarar que en el mantenimiento preventivo básico no se proyecta hacer cambio de repuestos, se realizan inspección y en el caso que lo requiera se cambiará algún repuesto, sin embargo, este caso está contemplado como un costo indirecto, relacionado con la depreciación de las partes del molde. En el mantenimiento preventivo mayor se proyecta el cambio de repuestos, ver tabla 14, sin embargo, puede presentarse igualmente partes que por el estado del molde deban cambiarse y salir de las proyecciones.

Tabla 14. Repuestos de recambio en mantenimiento preventivo mayor

REPUESTO	COSTO (COP)	UM
Resistencias	\$ 98.000	PZA
Boquilla	\$ 83.000	PZA
Aguja	\$ 51.000	PZA
Sellos	\$ 35.000	KIT
Aisladores	\$ 47.000	PZA
Pistones / Casquillos	\$ 119.000	PZA
Cilindros	\$ 75.000	PZA
TOTAL	\$ 508.000	

Fuente: elaboración propia

Los repuestos contemplados para cambiar, no tienen excepción e interpretación por parte del técnico si se deben cambiar o no, es decir que el costo debe ser cargado en su totalidad al mantenimiento ejecutado en su momento, sin embargo, puede presentarse piezas que aún están trabajando bien y cumplen su función, a pesar de esto, se deben cambiar, pero pueden ser almacenadas por el caso de una falla totalmente funcional y pueden ser cambiados en una situación fortuita.

7.1.3 Comparación de costos por mano de obra. Los costos de mano de obra para la ejecución del mantenimiento preventivo se contemplan entre dos partes, técnicos colaboradores de la compañía y técnicos externos, ambas partes representan un costo para la ejecución del mantenimiento preventivo, en el caso del técnico interno, se presenta como directo, ya que de acuerdo a la necesidad de tener el molde en operación y en un tiempo corto, a través de la estimación de tiempos se determina las horas hombre necesarias para ejecutar el mantenimiento preventivo en el menor tiempo posible, de este modo se calcula el costo de mano de obra para hacer el mantenimiento. Para los técnicos externos, determinar el costo no es posible al ser un tercero, sin embargo, para este apartado se tomará como ejemplo un mantenimiento ejecutado durante el 2019 y a partir del registro de horas se calculará el costo del mantenimiento ejecutado solo por técnicos colaboradores de Iberplast, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 15. Comparación de costos por mano de obra en el mantenimiento preventivo de moldes Husky

DESCRIPCION	HORAS CALCULADAS	COSTO APROX HORA TEC. EXTERNO	TRM PROM 2019	VALOR HORA PESOS	VALOR TOTAL EN COP x SERV. TÉCNICO	VALOR TOTAL EN COP x TÉCNICO DE IBERPLAST
HOT RUNNER 23,6 gr (96)	80	USD 140	3.200	448.000	35.840.000	2.548.148
HOT RUNNER 23,6 gr (96)	80	USD 140	3.200	448.000	35.840.000	2.548.148
HOT RUNNER 40.5 gr (96)	80	USD 140	3.200	448.000	35.840.000	2.548.148
HOT RUNNER 23,6 gr (72)	64	USD 140	3.200	448.000	28.672.000	2.038.519
HOT RUNNER 26 gr (48)	48	USD 140	3.200	448.000	21.504.000	1.528.889
					157.696.000	11.211.852
TOTAL						

Fuente: elaboración propia

7.1.4 Indicadores financieros. A partir de la optimización del proyecto los costos relacionados con mano de obra por servicio técnico externo serán disminuidos, ya que, la optimización y estructuración del plan de mantenimiento permitió administrar información sobre el desarrollo de los mantenimientos, manejo de estadísticas relacionadas con el funcionamiento del molde, control de repuestos y capacidad para desarrollar el mantenimiento preventivo por parte del personal técnico de la planta.

Posterior a la recolección de datos financieros sobre el desarrollo de un mantenimiento preventivo para los moldes de inyección de preforma, es posible determinar una TIR a través de las siguientes variables financieras.

Mediante el cálculo del VAN, es posible determinar cuan factible es usar la optimización del proyecto en cuanto a gastos destinados en técnicos externos se trata.

Ecuación 3. Valor actual neto

$$VAN = -158 + \frac{11,2}{1 + i}$$

Fuente: CONECCIONESAN. VAN y TIR: ¿para qué sirven y cuándo usarlos? [En línea] [Consultado:01.04.20] Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3430258https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/08/van-y-tir-para-que-sirven-y-cuando-usarlos/>

En la fórmula anterior se cita los gastos de en millones de pesos y se relaciona el costo de mano de obra de los técnicos externos, frente a los técnicos internos de la compañía, valor que fue considerado a futuro, de acuerdo a lo interpretado por la optimización del plan.

$$158 = \frac{11,2}{1 + TIR}$$

$$158 \times (1 + TIR) = 11,2$$

$$TIR = \frac{11,2}{158} - 1$$

$$TIR = 0,0708 \times 100\%$$

$$TIR = 7\%$$

Mediante el anterior cálculo es posible determinar que la tasa interna de retorno en un periodo de un año aproximadamente para el mantenimiento de un molde en un año aproximadamente. Interpretando es resultado de la TIR, es posible determinar que el proyecto se considera financieramente viable, puesto que la reducción de gastos en mano de obra es más del 93% en cada mantenimiento de los moldes.

7.1.5 Conclusiones. A partir de la optimización del mantenimiento preventivo ejecutado en los moldes, es posible optimizar los costos del mantenimiento mediante el control de insumos, repuestos y tiempo destinado para su ejecución. Los principales puntos que incrementan su eficiencia mediante la aplicación del PMO en el plan de mantenimiento son:

- Repuestos: a través de los formatos implementados para el mantenimiento y la hoja de vida de los moldes es posibles recolectar información sobre los posibles cambios de repuestos, con ayuda de las inspecciones, del mismo modo se disminuye los daños no esperados al intervenir el molde, ya que se implementó un formato para controlar los ciclos y proyectar cuando tomar el molde para mantenimiento.

Por medio de estas herramientas de control se incrementa la información recolectada y mejora el manejo del molde durante los mantenimientos, lo cual facilita las proyecciones sobre las necesidades para las intervenciones.

- Insumos: la distribución de insumos para realizar mantenimiento preventivo a través de envases permite reducir el costo inicial en la compra de los mismos, sin embargo, es necesario llevar registro del consumo de los mismos para validar su correcto uso.
- Mano de obra: el desarrollo de las tareas del plan de mantenimiento optimizado permite que se disminuya el tiempo de intervención, de este modo las horas hombre requeridas serán menores, reduciendo el tiempo extra u horas con recargos.

7.2 MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL

Para la evaluación del impacto ambiental se tendrán en cuenta los insumos necesarios para el mantenimiento de los moldes y la disposición final adecuada de los mismos, evaluando el impacto que genera al medio ambiente el uso de estos insumos e identificando factores a mejorar dentro del proceso actual de los mantenimientos preventivos en los moldes Husky.

7.2.1 Insumos utilizados durante el mantenimiento preventivo. Para desarrollar el mantenimiento preventivo básico y mayor en los moldes Husky, es necesario hacer uso de los siguientes insumos:

- Paños de limpieza Wypall
- Lija
- Hielo seco
- Grasa FLG – 2
- Grasa PARALIQ 343
- Brocas
- Aceite OKS 370
- Aerosol WD-40

Estos insumos se clasifican en dos familias, limpieza y lubricación, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Familias de insumos usados en el mantenimiento preventivo

Limpieza	Lubricación
Paños de limpieza Wypall	Grasa FLG-2 Grasa PARALIQ 343
Aerosol WD-40	
Brocas	
Lija	
Hielo seco	

Fuente: elaboración propia

Para ejecutar el mantenimiento preventivo básico se utilizan todos los implementos nombrados a excepción de las brocas, las cuales solo se usan cuando se limpia el canal caliente; en el mantenimiento preventivo mayor se usan todos los insumos nombrados. El uso de estos insumos está completamente direccionado a la limpieza y lubricación del molde durante el mantenimiento, por lo tanto en el siguiente apartado se tratará la disposición relacionada con el manejo de los mismos luego de desarrollar el mantenimiento.

7.2.2 Políticas de manejo de los insumos relacionados en Iberplast. Actualmente en Iberplast por toda la planta se tiene distribuidas un grupo de canecas para depositar diferentes residuos, ver figura 34. A través de la política basuras cero, dirigida por el área ambiental de la compañía se establecen las siguientes categorías de clasificación de residuos:

- Ordinarios
- Plástico
- Cartón Papel
- Metales
- Peligrosos

Mediante esta clasificación es posible dar una disposición más adecuada a los residuos presentados durante la operación de la planta. Respecto al mantenimiento preventivo, el uso de los insumos se puede ver optimizado a través del PMO mediante la correcta distribución de los mismos en las actividades realizadas, en la tabla 13, se determinan que objetos se deben incluir en el mantenimiento preventivo para hacer uso eficiente de los insumos; por otro parte la optimización se acopla a los lineamientos de la compañía frente el manejo y disposición de los mismos.

Figura 35. Punto ecológico



Fuente: elaboración propia

7.2.3 Matriz de impacto

MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL							
PROCESO	INSUMO	ASPECTO	IMPACTO	DESEMPEÑO	RECURSO	REGULARIDA	TIPO DE IMPACTO
MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MOLDES HUSKY	Paños de limpieza Wypall	Manejo, almacenamiento o y disposición de residuos		Clasificación de residuos mediante políticas internas de la compañía	N/A	Cada dos semanas Cada cuatro meses Cada año	Mejora calidad del trabajo
	Lijas	emisiones de polvo	Aire		N/A		
	Hielo seco	emisiones de polvo	Aire Ruido Ambiental	Trabajo en espacio ventilado	AIRE		
	Grasa FLG – 2	Manejo, almacenamiento o y disposición de residuos		Clasificación de residuos mediante políticas internas de la compañía	N/A		
	Grasa PARALIQ 343	Manejo, almacenamiento o y disposición de residuos			N/A		

Matriz de impacto ambiental. Continuación

	Aceite OKS 370	Emisiones de gases	Aire		N/A		
	Aerosol WD-40	Emisiones de gases	Aire		N/A		
	Brocas	Manejo, almacenamiento y disposición de residuos			N/A	Cada cuatro meses Cada año	

8. CONCLUSIONES

- El mantenimiento preventivo en el molde, tanto básico como mayor se debe ejecutar mediante un procedimiento y el equipo debe tener conocimiento sobre cada actividad relacionada, con el fin de no generar tiempos perdidos o muertos debido a esperas innecesarias.
- La recopilación de información sobre el histórico de mantenimiento preventivo mayor se debe ejecutar sin omitir observaciones sobre el estado funcional del molde y del mismo modo los trabajos que requiere.
- El control de cavidades anuladas en el molde durante su funcionamiento entre los lapsos de mantenimiento establecidos por el fabricante, se deben llevar diariamente para proyectar las necesidades al intervenir el molde, contemplando principalmente las razones de anulación en las cavidades.
- La distribución de herramientas especiales entre los equipos de trabajo debe ser acorde al orden en el cual se agrupan los técnicos para ejecutar las tareas colectivas del mantenimiento
- Durante la ejecución de tareas individuales presentes en el plan de mantenimiento el grupo restante de trabajo deberá usar el tiempo para el orden y limpieza de las partes tratadas en el mantenimiento y del mismo modo el área de trabajo.
- El encargado del mantenimiento de los moldes debe manejar un registro de información y presentar con anticipación las necesidades de repuestos para mantenimientos, puesto que, para tener las partes disponibles para un mantenimiento se requiere llevar a cabo un proceso de compra establecido por la compañía y posteriormente un proceso de importación.
- Se debe presentar semanalmente un informe sobre el avance de los ciclos en los moldes, contemplando las cavidades anuladas y el plan de acción para solucionar los problemas en el molde.

9. RECOMENDACIONES

- Ejecutar mantenimiento preventivo bajo un formato de actividades, permite controlar los puntos más susceptibles a fallas y adicionalmente tener un registro de todo tipo de eventos presentados o hallados durante el mantenimiento brinda información para futuros eventos de fallas.
- Registrar información y observaciones, posterior a una adecuada inspección permite proyectar de manera aproximada el comportamiento del molde y las posibles necesidades de repuestos e intervenciones.
- Manejar formatos para controlar ciclos de inyección en cada placa, cavidades anuladas en cada placa, mantenimientos preventivos rutinarios y generales, además de tener un inventario estructurado y una hoja de vida para registrar información, permitirá tener un manejo más adecuado de los moldes, así mismo es fundamental la formalización y socialización de todo este tipo de documentos para lograr ejecutar trabajos colectivos y no perder la trazabilidad de información.
- Fortalecer el manejo de información entre el equipo que ejecuta cambios de molde, el que realiza mantenimiento preventivo en máquina y en el molde, para un correcto manejo de los formatos, para el caso del registro de cavidades anuladas y los ciclos de inyección.
- Desarrollar trabajo en equipo es el fundamento principal para desarrollar de manera apropiada el mantenimiento preventivo, tanto rutinario como general. Todo el equipo de trabajo debe reconocer con claridad las actividades a realizar en cada sistema de funcionamiento y el manejo de herramientas especiales; de este modo es posible ejecutar s colectivas y consecutivas para lograr avanzar de manera eficiente y controlando así mismo la ejecución de actividades entre el equipo de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

ARATA, ANDREANI, Adolfo. Manual de gestión de activos y mantenimiento, RIL editores, 2005. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=4183534>.

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento, Ediciones Díaz de Santos, 2003. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3157912>.

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz Santos, S.A, 2003.

GARCÍA PALENCIA, Oliverio. El Sistema PMO: Optimización Real del Mantenimiento Planeado. (2007).

GUARÍN, GRISALES, Álvaro, and B., Gabriel Jaime Páramo. Estudio del estado de arte de moldes de inyección en Colombia, Red Universidad Eafit, 2006. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3165278>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153p

_____ Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía Para la separación en la fuente. GTC 24. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2009.

_____ Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso. GTC 104. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2009.

_____ Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008.

INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO. Guía técnica para la identificación de aspectos e impactos ambientales. PLE-GU01. Bogotá D.C.:2015

MEDRANO MÁRQUEZ, José Á., and Ajuech, Víctor L. González. Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales, Grupo Editorial Patria, 2017. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=5213557>.

MONTALVO, SOBERÓN, Luis Alberto. Plásticos industriales y su procesamiento, El Cid Editor, 2007. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3173587>.

MORA GUTIERREZ, Alberto. (2006). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Editorial AMG.

MOUBRAY, Jhon. RCM II. Reliability – centered Maintenance. Editorial Elsevier Science & Technology. 1999. ISBN: 9780750633581.

NAVARRO ELOLA, Luis, et al. Gestión integral de mantenimiento, Marcombo, 1997. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3185475>.

NOVO, SANJURJO, Vicente, et al. Optimización: casos prácticos, UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=4760502>.

PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento y Sistema de Información. ISBN 95498-0-2.

ROJAS MEDINA, Ricardo Alfredo. SISTEMA DE COSTOS (2007). Un proceso para su implementación. Universidad Nacional de Colombia. Editorial: Universidad Nacional de Colombia. ISBN: 978-958-8280-09-07

Taboada, Pirotte, Sandra, and García, Luis Adargoma Suárez. Desarrollo de un producto en material plástico por inyección (I), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica, 2015. ProQuest Ebook Central, Recuperado de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3430258>.

THIRIEZ, A., GUTOWSKI, T. "An environmental analysis of injection molding." 1-6. Recuperado de http://www.web.mit.edu/ebm/www/Publications/Thiriez_ISEE_2006.pdf (2006)

ANEXOS

ANEXO A

Formatos

Se presentan en carpeta "ANEXOS", dentro de subcarpeta "ANEXO A".

ANEXO B

Optimización de planes de mantenimiento de acuerdo al PMO

Se presentan en carpeta "ANEXOS", dentro de subcarpeta "ANEXO B".

